

Київський національний університет будівництва і архітектури

## **БАГАТОПАРАМЕТРИЧНА ОПТИМІЗАЦІЯ ФОРМИ ТА ТОВЩИНИ УТЕПЛЮВАЧА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОЇ ПРИБУДОВАНОЇ БУДІВЛІ ІЗ ЗАДАНОЮ КІЛЬКІСТЮ ГРАНЕЙ**

*При новому будівництві енергоефективних будівель та реконструкції для розрахунків оптимальних параметрів прибудованих будівель розроблено математичну модель та методика з оптимізації форми та опору теплопередачі для непрозорих та прозорих конструкцій при визначеній незмінній кількості граней, об'ємі будівлі та кількості утеплювача з метою мінімізації теплового балансу огорожувальних конструкцій з навколишнім середовищем протягом опалювального періоду*

*У ході розрахунків визначаються геометричні параметри світлопрозорих, непрозорих конструкцій в теплоізоляційної оболонці будівель з урахуванням тепловтрат, теплонадходження від сонячної радіації за критерієм забезпечення мінімальних тепловтрат через огорожувальні конструкції, визначаються раціональні параметри (будівель, опір теплопередачі) розташування вікон в огорожувальних конструкціях.*

*Приведену методика та математичні моделі доцільно використовуватися у подальшому при проектуванні енергоефективних будівель при реконструкції та термомодернізації будівель. Це сприятиме підвищенню їх енергоефективності та відповідно класу енергоефективності будівель.*

*Для досліджуваної гранної прибудованої будівлі у вигляді трикутної піраміди скорочення тепловтрат становило 14,82 відсотка тільки за рахунок оптимізації форми та перерозподілу утеплювача. Аналогічні результати були отримані також і для інших початкових форм.*

*Уперше запропоновано комп'ютеризований спосіб, розроблено алгоритм і ППП Optiparam багатопараметричної оптимізації форми та утеплення світлопрозорих і непрозорих конструкцій для прибудованих будівель із заданою кількістю довільно розташованих граней.*

*Ключові слова: енергоефективні будівлі; оптимальні параметри; світлопрозорі конструкції; графічні моделі; геометричне моделювання; архітектурне проектування; реконструкція будівель.*

**Постановка проблеми.** У практиці проектування сучасних будівель та реконструкції існуючих будівель достатньо часто виникають задачі підвищення енергоефективності прибудованого нового будівельного об'єму (будівлі) до вже існуючої будівлі. При цьому гранна теплоізоляційна оболонка прибудованої будівлі має світлопрозорі та непрозорі конструкції, які межують з оточуючою атмосферою, існуючою будівлею та землею. Блокування однією або декількома гранями (рис.1) з існуючими будівлями, може зменшити тепловтрати прибудови. Також можливо додатково підвищити енергоефективність даної прибудови за рахунок оптимізації її форми, опору теплопередачі огорожувальних конструкцій з метою використання позитивного теплоенергетичного впливу навколишнього середовища.

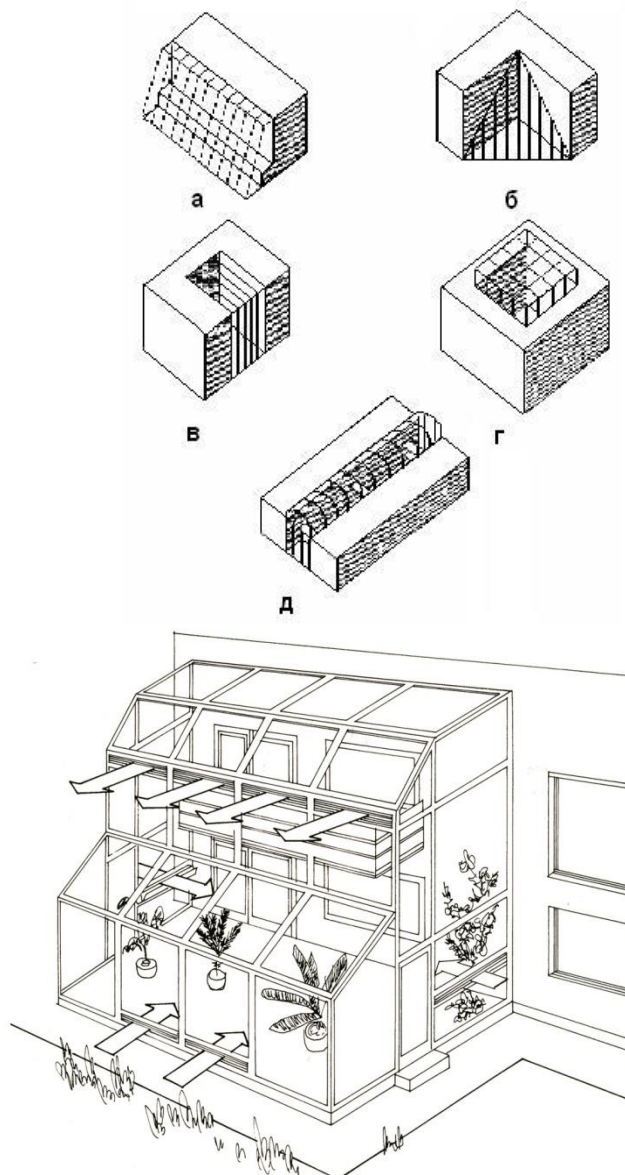


Рис. 1 Прибудовані об'єми до існуючої будівлі

**Мета статті.** Розробити геометричні моделі та методику з визначення оптимальних параметрів світлопрозорих та непрозорих

конструкцій та розміру і орієнтації граней та їх геометричних параметрів для використання під час архітектурного проектування.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** У роботі [1] питання оптимізації параметрів утеплювача розглянуто в загальному вигляді без урахування гранної форми будівлі. У дослідженнях [2] досліджувалося залежність оптимальної форми тіла від характеристик теплового поля, у якому воно знаходиться. Таке тіло названо квазікулею. У статтях [3, 4, 5, 6] розглядалося питання визначення оптимальної та раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій з урахуванням теплового балансу конструкції.

Але питання визначення оптимальних параметрів прибудованої будівлі з урахуванням світлопрозорих та непрозорих конструкцій у роботах не вирішувалося.

**Основна частина.** Зокрема, для розрахунків оптимальних параметрів прибудованих будівель розроблено математичну модель та методику з оптимізації форми та опору теплопередачі утеплювача при визначеній незмінній кількості граней, об'ємі будівлі та кількості утеплювача з метою мінімізації теплового балансу огорожувальних конструкцій з навколишнім середовищем протягом опалювального періоду, яку наведено далі.

#### *Математична модель*

При оптимізації форми прибудови змінними параметрами є координати вершин граней  $n_{ij}(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$ , які мають три ступеня вільності зміни положення, та параметри опору теплопередачі непрозорих  $R_{ctij}$  і світлопрозорих  $R_{vij}$  огорожувальних конструкцій.

#### *Цільова функція*

Для розрахунку теплового балансу грані з урахуванням теплонадходження від сонячно́ї радіації (СР) та впливу вітру використовується формула наведена в [7]. А тепловий баланс теплоізоляційної оболонки будівлі в цілому розраховується як сума балансів всіх граней і мінімізуються для інтервалу часу – протягом опалювального періоду, а саме:

$$\Delta Q_B = \sum \Delta Q_{gr_i} \quad \Delta Q_B \rightarrow \min \quad . \quad (1)$$

#### *Система обмежень*

При оптимізації параметрів прибудови кількість утеплювача залишається незмінною, обмежуються геометричні параметри опору теплопередачі огорожувальних конструкцій за умови дотримання існуючих нормативних вимог з теплоізоляції будівель наприклад для другої температурної зони:

$$\sum R_{cti} \cdot S_{cti} + \sum R_{bi} \cdot S_{bi} = \text{const} \quad . \quad (2)$$

$$0,6 \leq R_{bi} \leq 0,75 \quad (3)$$

$$2,8 \leq R_{cti} \leq 7 \quad (4)$$

При цьому площа вікон  $S_{vi}$ , розташованих на кожній грані, залишається також незмінною:

$$S_{vi} = \text{const}, \quad (5)$$

де  $S_{гри} = f(x_{ij}, y_{ij}, z_{ij})$  – площа грані непрозорої конструкції, яка визначається за координатами вершин грані.

*Об'єм прибудови також залишається незмінним:*

$$V_B = \text{const}. \quad (6)$$

При цьому обмежуються можливості зміни координат точок  $n_{ij}$  вершин граней залежно від конкретних умов задачі:

$$\min < x_{ij} < \max, \quad \min < y_{ij} < \max, \quad \min < z_{ij} < \max. \quad (7)$$

Наприклад, обмеження зміни параметра  $Z$  зумовлює приналежність грані  $KED$  до горизонтальної площини підлоги:

$$Z_K = 0, \quad Z_E = 0, \quad Z_D = 0. \quad (8)$$

У цілому багатопараметрична оптимізація форми прибудови та геометричних параметрів утеплювача відбувається з використанням методу Хука–Дживса.

На рис. 2 наведено приклади оптимізації геометричних параметрів прибудованих будівель багатогранників з геометричною формою у вигляді тетраедра, призми та куба.

	Вихідна форма	Оптимізована форма		Вихідна форма	Оптимізована форма
	Баланс	$\Delta=0$		Баланс	$\Delta=0$
		$\Delta=Q_r \cdot Q_{sp}$			$\Delta=Q_r \cdot Q_{sp}$
Тетраедр			Куб		
Змінні параметри	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}$	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}$	Змінні параметри	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}, R_{дах}$	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}, R_{дах}$
Баланс	$\Delta=0$	$\Delta=Q_r \cdot Q_{sp}$	Баланс	$\Delta=0$	$\Delta=Q_r \cdot Q_{sp}$
Тетраедр			Куб		
Змінні параметри	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}, R_{дах}$	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}, R_{дах}$	Змінні параметри	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}, R_{дах}$	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}, R_{дах}$
Баланс	$\Delta=0$	$\Delta=Q_r \cdot Q_{sp}$			
Призма					
Змінні параметри	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}, R_{дах}$	$X_i, Y_i, Z_i, R_n, R_{cti}, R_{дах}$			

Рис. 2 Оптимізація форми та опору теплопередачі конструкцій прибудованої будівлі

Саме за рахунок оптимізації форми прибудови значно збільшується площа дотичних граней до існуючих будівель і, відповідно, підвищується енергоефективність прибудованої частини будівлі. У кінцевому підсумку тепловтрати через огорожувальні конструкції зменшуються до 25 відсотків.

Далі розглянемо один з випадків оптимізації геометричних параметрів будівлі більш детально на прикладі оптимізації параметрів прибудови у вигляді трикутної піраміди, яка суміщена однією гранню з існуючою будівлею (рис. 3).

Вихідні дані для розрахунку:

- інтервал часу – опалювальний період;
- географічна широта – 50-й градус північної широти;
- об'єм  $V_B$  прибудови – 96 м<sup>3</sup>;
- будівля зорієнтована таким чином, що вісь  $Y'$  у системі координат  $X'Y'Z'$  збігається з напрямком на північ;
- існуючі координати вершин  $D(-6, 0, 0)$ ,  $E(0, -8, 0)$ ,  $S(0, 0, 6)$ ,  $K(6, 0, 0)$ ;
- існуючий опір теплопередачі непрозорих конструкцій граней  $R_{SDE} = 2,8$  м<sup>2</sup>К/Вт,  $R_{SEK} = 2,8$  м<sup>2</sup>К/Вт,  $R_{SKD} = 2,8$  м<sup>2</sup>К/Вт,  $R_{DEK} = 3,5$  м<sup>2</sup>К/Вт.

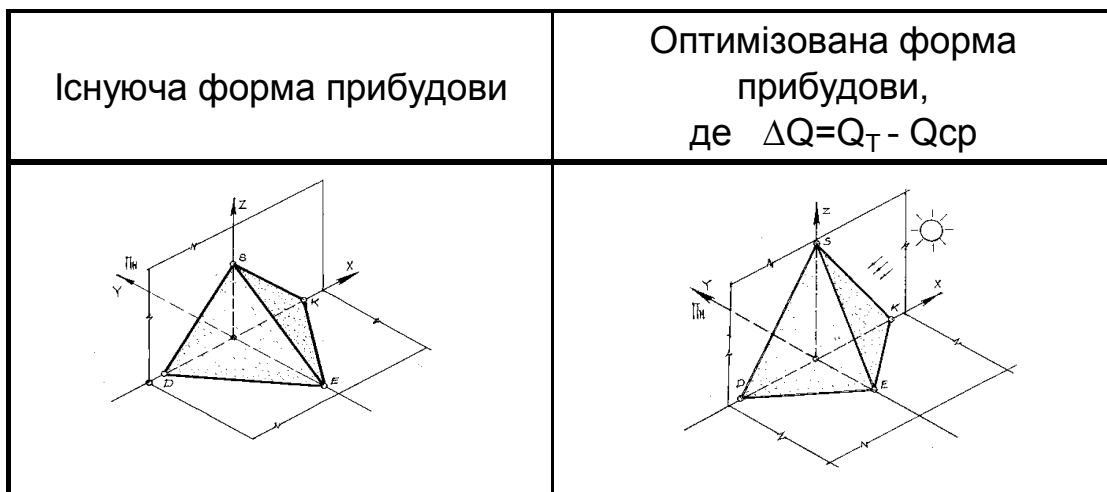


Рис.3 Оптимізація форми та опору теплопередачі прибудованої трикутної піраміди

(а – вихідні дані, б – оптимізована форма при  $\Delta Q = Q_T - Q_{CP}$ )

Після оптимізації геометричні параметри становлять:

- оптимізовані координати вершин  $D(-6,43, 6, 0)$ ,  $E(0,-4,91, 0)$ ,  $S(0, 0, 9,12)$ ,  $K(6,43, 0, 0)$ ;
- оптимальний опір теплопередачі непрозорих конструкцій граней  $R_{SDE} = 2,8$  м<sup>2</sup>К/Вт,  $R_{SEK} = 2,8$  м<sup>2</sup>К/Вт,  $R_{SKD} = 0,1$  м<sup>2</sup>К/Вт,  $R_{DEK} = 4,89$  м<sup>2</sup>К/Вт.

Отже, для гранної прибудованої будівлі (рис. 3) у вигляді трикутної піраміди скорочення тепловтрат становило 14,82 відсотка через огорожувальні конструкції за рахунок оптимізації форми та

перерозподілу утеплювача. Аналогічні результати були отримані також і для інших початкових форм.

Таким чином, уперше запропоновано комп'ютеризований спосіб, розроблено алгоритм і ППП *Optimparam* багатопараметричної оптимізації форми та утеплення світлопрозорих і непрозорих конструкцій для прибудованих будівель із заданою кількістю довільно розташованих граней.

**Висновки та перспективи.** Проведено дослідження та розроблено геометричні моделі та методику з визначення оптимальних параметрів світлопрозорих та непрозорих конструкцій та їх геометричних параметрів граней будівлі (розміру, опору теплопередачі, орієнтації) для використання під час архітектурного проектування.

Для досліджувальної гранної прибудованої будівлі у вигляді трикутної піраміди скорочення тепловтрат становило 14,82 відсотка тільки за рахунок оптимізації форми та перерозподілу утеплювача. Аналогічні результати були отримані також і для інших початкових форм.

Уперше запропоновано комп'ютеризований спосіб, розроблено алгоритм і ППП *Optimparam* багатопараметричної оптимізації форми та утеплення світлопрозорих і непрозорих конструкцій для прибудованих будівель із заданою кількістю довільно розташованих граней.

## Література

1. *Сергейчук О.В.* Оптимізація розподілу утеплювача по поверхні будівлі при заданому класі його ефективності / *Матеріали VI Міжнародної Кримської науково-практичної конференції «Геометричне та комп'ютерне моделювання: енергозбереження, екологія, дизайн».* Сімферополь, 2009. С. 44–49.
2. *Сергейчук О. В.* Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків : Автореферат дис. ... доктора техн. наук : 05.01.01 / Сергейчук Олег Васильович. Київ, КНУБА, 2008. 341 с.
3. *Мартинів В. Л.* Визначення допустимої зони розташування світлопрозорих конструкцій на фасадах енергоекономічних будівель / *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського.* Вип. 1/2011(66), ч. 1. С. 104–108.
4. *Мартинів В. Л.* Раціональна орієнтація віконних прорізів енергоефективних будівель / *Енергоефективність в будівництві та архітектурі.* Київ : КНУБА, 2013. Вип. 4. С. 185–189.
5. *Мартинів В. Л.* Оптимальне розташування вікон в огорожувальних конструкціях енергоефективних будівель для п'яти кліматичних районів України / *Енергоефективність в будівництві та архітектурі :* наук.-техн. зб. Київ : КНУБА, 2014. Вип. 6. С. 192–198.

6. *Мартинов В. Л.* Моделирование оптимальных параметров теплоизоляционной оболочки зданий заданного класса энергоэффективности / *Інтегровані енергоефективні технології в архітектурі та будівництві «Енергоінтеграція–2017»* : матеріали сьомої міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2017. С. 34.
7. *Мартинов В. Л.* Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.01.01 / Київський національний університет будівництва і архітектури. Київ, 2015. 39 с.

## References

1. *Serheichuk O.V.* Optymizatsiia rozpodilu uteplivvacha po poverkhni budivli pry zadanomu klasi yoho efektyvnosti / *Materialy VI Mizhnarodnoi Krymskoi naukovopraktychnoi konferentsii «Heometrychne ta kompiuterne modeliuвання: enerhozberezhennia, ekolohiia, dizain»*. Simferopol, 2009. P. 44–49.
2. *Serheichuk O. V.* Heometrychne modeliuвання fizychnykh protsesiv pry optymizatsii formy enerhoefektyvnykh budynkiv : Avtoreferat dys. ... doktora tekhn. nauk : 05.01.01 / Serheichuk Oleh Vasylovych. Kyiv, KNUBA, 2008. 341 p.
3. *Martynov V. L.* Vyznachennia dopustymoi zony roztashuvannia svitloprozorykh konstruksii na fasadakh enerhoekonomichnykh budivel / *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho*. Vyp. 1/2011(66), ch. 1. P. 104–108.
4. *Martynov V. L.* Ratsionalna oriientatsiia vikonnykh proriziv enerhoefektyvnykh budivel / *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi*. Kyiv : KNUBA, 2013. Vyp. 4. S. 185–189.
5. *Martynov V. L.* Optymalne roztashuvannia vikon v ohorodzhualnykh konstruksiiakh enerhoefektyvnykh budivel dlia piaty klimatychnykh raioniv Ukrainy / *Enerhoefektyvnist v budivnytstvi ta arkhitekturi* : nauk.-tekhn. zb. Kyiv : KNUBA, 2014. Vyp. 6. P. 192–198.
6. *Martynov V. L.* Modelyrovanye optymalnykh parametrov teployzoliatsyonnoi obolochky zdanyi zadannoho klasa enehoeffektyvnosti / *Intehrovani enerhoefektyvni tekhnolohii v arkhitekturi ta budivnytstvi «Enerhoıntehratsiia–2017»* : materialy somoi mizhnar. nauk.-prakt. konf. Kyiv, 2017. P. 34.
7. *Martynov V. L.* Modeliuвання optymalnykh heometrychnykh parametriv enerhoefektyvnykh budivel hranoi formy : avtoref. dys. ... dokt. tekhn. nauk : 05.01.01 / Kyivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva i arkhitektury. Kyiv, 2015. 39 p.

Doctor of Technical Sciences, Professor **V. Martynov**,  
[arx.martynov@gmail.com](mailto:arx.martynov@gmail.com), ORCID: 0000-0002-0822-1970

Kyiv National University of Construction and Architecture

## **MULTIPARAMETRIC OPTIMIZATION OF THE SHAPE AND THICKNESS OF INSULATED ENERGY EFFICIENT CONSTRUCTED BUILDING WITH A SPECIFIC NUMBER OF FACES**

*To calculate the optimal parameters of outbuildings, a mathematical model and method for optimizing the shape and resistance of heat transfer for opaque and transparent structures with a certain constant number of faces, building volume and amount of insulation to minimize the thermal balance of enclosing structures with the environment during the heating period. In the course of calculations the geometrical parameters of translucent, opaque structures in the heat-insulating shell of buildings are determined taking into account heat losses, heat influx from solar radiation by the criterion of ensuring minimum heat losses through enclosing structures, rational parameters (buildings)*

*The given technique and mathematical models should be used in the future in the design of energy efficient buildings in the reconstruction and thermal modernization of buildings. This will increase their energy efficiency and, accordingly, the energy efficiency class of buildings.*

*For the research faceted attached building in the form of a triangular pyramid, the reduction in heat loss was 14.82 percent only due to the optimization of the shape and redistribution of the insulation. Similar results were obtained for other initial forms.*

*For the first time, a computerized method was proposed, an algorithm and application package Optimparam for multiparameter shape optimization and insulation of translucent and opaque structures for outbuildings with a given number of arbitrarily arranged faces were developed.*

*Keywords: energy efficient buildings, optimal parameters, translucent structures, graphic models, geometric modeling, architectural design, reconstruction of buildings .*



Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## **МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ ФОРМЫ И ТОЛЩИНЫ УТЕПЛИТЕЛЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ПРИСТРОЕННЫХ ЗДАНИЙ С ЗАДАНЫМ КОЛИЧЕСТВОМ ГРАНЕЙ**

*При новом строительстве энергоэффективных зданий и реконструкции существующих зданий для расчетов оптимальных параметров пристроенных зданий разработана математическая модель и методика по оптимизации формы и сопротивления теплопередаче для непрозрачных и прозрачных конструкций при определенном неизменном количестве граней, объеме здания и количества утеплителя с целью минимизации теплового баланса ограждающих конструкций с окружающей средой в течение отопительного периода*

*В ходе расчетов определяются геометрические параметры светопрозрачных, непрозрачных конструкций в теплоизоляционной оболочке зданий с учетом теплопотерь, теплопоступления от солнечной радиации по критерию обеспечения минимальных теплопотерь через ограждающие конструкции, определяются рациональные параметры (граней, сопротивление теплопередаче) расположение окон в ограждающих конструкциях. Приведенную методику и математические модели целесообразно использовать в дальнейшем при проектировании энергоэффективных зданий при реконструкции и термомодернизации зданий. Это будет способствовать повышению их энергоэффективности и соответственно класса энергоэффективности зданий.*

*При исследовании гранного пристроенного здания в виде треугольной пирамиды сокращение теплопотерь составило 14,82 процента только за счет оптимизации формы и перераспределения утеплителя. Аналогичные результаты были получены и для других начальных форм. Впервые предложено компьютеризированный способ, разработан алгоритм и ППП Optiragat многопараметрической оптимизации формы и утепление светопрозрачных и непрозрачных конструкций для пристроенных зданий с заданным количеством произвольно расположенных граней.*

*Ключевые слова: энергоэффективные здания; оптимальные параметры; светопрозрачные конструкции; графические модели; геометрическое моделирование; архитектурное проектирование; реконструкция зданий.*