

д. т. н., професор **Мартинов В. Л.**,  
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970

к. т. н., доцент **Чирва Т.Л.**,  
tetyana.chyrva@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6657-5443  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ОПТИМІЗАЦІЯ РОЗПОДІЛУ УТЕПЛЮВАЧА ПО ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІЙ ОБОЛОНЦІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ БУДІВЕЛЬ**

*У наш час гостро стоїть питання підвищення енергоефективності нових будівель та термомодернізації існуючого житлового фонду. Це можливо зробити за рахунок раціонального утеплення зовнішніх огорожувальних конструкцій, оптимального перерозподілу утеплювача по гранях будівель з урахуванням теплоенергетичного впливу оточуючого середовища.*

*Існуючі нормативні документи регламентують мінімальний рівень опору теплопередачі через огорожувальні конструкції будівель, але при цьому не враховуються такі особливості теплоенергетичного впливу навколишнього середовища, як рівень надходження тепла від сонячної радіації і вплив вітру. Так, правомірним залишається питання з оптимального перерозподілу нормативної кількості утеплювача між гранями теплоізоляційної оболонки будівлі з урахуванням теплового впливу навколишнього середовища з метою мінімізації тепловтрат через огорожувальні конструкції, що сприятиме підвищенню енергоефективності будівель.*

*Для розв'язання вищезазначеного питання в роботі запропоновано спосіб оптимізації опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій за різних умов та структуру оптимізації перерозподілу утеплювача між гранями огорожувальних конструкцій.*

*Ключові слова: енергоефективні будівлі; оптимальні параметри; оптимізація розподілу утеплювача; графічні моделі; геометричне моделювання; архітектурне проєктування.*

**Постановка проблеми.** На сьогодні в Україні є актуальним питання підвищення енергоефективності об'єктів будівництва, що досягається за рахунок проєктуванням енергоефективних будівель, удосконалення у тому

числі параметрів теплоізоляційної оболонки огорожувальних конструкцій, а саме параметрів опору теплопередачі світлопрозорих та непрозорих конструкцій при заданій кількості утеплювача. Проектувальнику в ході архітектурного проектування необхідно швидко визначати відповідні параметри будівлі.

Існуючі нормативні документи [1] регламентують мінімальний рівень опору теплопередачі через огорожувальні конструкції будівель, але при цьому не враховуються такі особливості теплоенергетичного впливу навколишнього середовища, як рівень надходження тепла від сонячної радіації і вплив вітру. Так, правомірним залишається питання з оптимального перерозподілу нормативної кількості утеплювача між гранями теплоізоляційної оболонки будівлі з урахуванням теплового впливу навколишнього середовища з метою мінімізації тепловтрат через огорожувальні конструкції, що сприятиме підвищенню енергоефективності будівель в цілому.

**Мета статті.** Для підвищення енергоефективності будівель запропонувати спосіб оптимізації опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій за різних умов та структуру оптимізації перерозподілу утеплювача між гранями огорожувальних конструкцій з урахуванням теплоенергетичного впливу оточуючого середовища.

**Аналіз основних досліджень і публікацій.** Існуючі нормативні документи [1] регламентують мінімальний рівень опору теплопередачі через огорожувальні конструкції будівель, але при цьому не враховуються такі особливості теплоенергетичного впливу навколишнього середовища, як рівень надходження тепла від сонячної радіації і вплив вітру.

У роботі [2] питання оптимізації параметрів утеплювача розглянуто в загальному вигляді без урахування гранної форми будівлі. У дослідженнях [3] досліджувалося залежність оптимальної форми тіла від характеристик теплового поля, у якому воно знаходиться. Таке тіло названо квазікулею. Питання оптимального розподілу утеплювача по теплоізоляційній оболонці не розглядалося.

У роботах [4, 5, 6] розглядалося питання визначення оптимальної та раціональної орієнтації світлопрозорих конструкцій з урахуванням теплового балансу конструкцій.

У дослідженнях [7, 8] розглядалися питання оптимізації форми будівлі та розміру світлопрозорих будівель.

**Основна частина.** Для розв'язання вищезазначеного питання в роботі запропоновано спосіб оптимізації опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій за різних умов та структуру оптимізації перерозподілу утеплювача між гранями огорожувальних конструкцій (рис. 1).

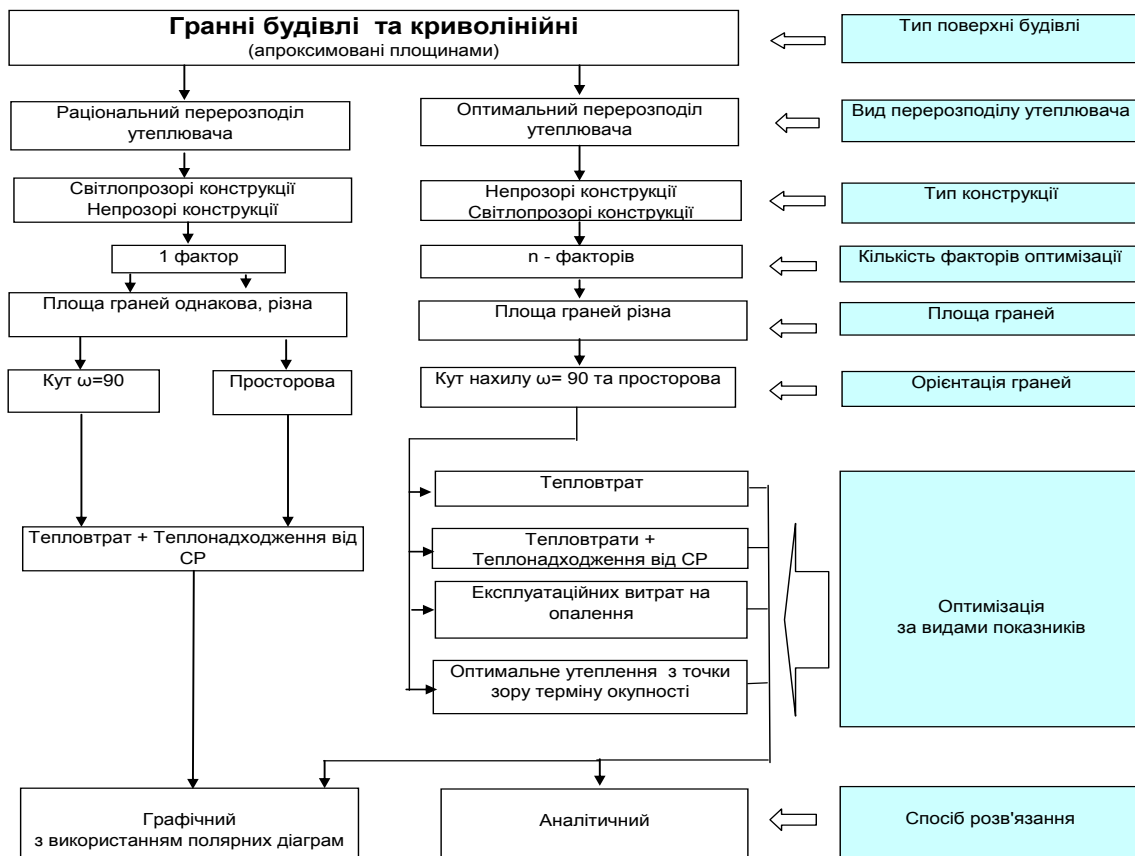


Рис.1 Структура оптимізації перерозподілу утеплювача між гранями огорожувальних конструкцій

### Оптимальний перерозподіл утеплювача між гранями огорожувальних конструкцій

Для визначення оптимального перерозподілу утеплювача у теплоізоляційній оболонці будівлі запропоновано аналітичний спосіб оптимізації опору теплопередачі огорожувальних конструкцій при незмінній загальній кількості утеплювача.

Зокрема, оптимізуються одночасно декілька геометричних параметрів з метою зменшення (тепловтрат) огорожувальних конструкцій протягом опалювального періоду. Для цього складається математична модель теплового балансу  $\Delta Q_{\text{Гр}i}$  кожної грані будівлі, яка враховує опір теплопередачі непрозорих  $R_{\text{ст}i}$  і світлопрозорих  $R_{\text{в}i}$  конструкцій, площу конструкцій ( $S_{\text{в}i}$ ,  $S_{\text{ст}i}$ ), параметри розташування вікон на фасадах будівлі ( $A_{\text{в}i}$ ,  $\omega_{\text{в}i}$ ) та ін.

Загальну площу вікон можна визначити за формулою:

$$S_{\text{в}i} = f(S_{\text{п}} \cdot N_{\text{пов}} \cdot F \cdot P_i), \quad (1)$$

де  $S_{\text{п}}$  – площа підлоги поверху ( $\text{м}^2$ );  $N_{\text{пов}}$  – кількість поверхів будівлі;  $F$  – коефіцієнт співвідношення площі вікон до площі поверху (від 0,2 до

0,125), який беруть при попередніх розрахунках параметрів будівлі;  $P_i$  – коефіцієнт засклення світлопрозорих конструкцій стін будівлі (від 0 до 1).

Розв'язання даної задачі зводиться до оптимізації нелінійної функції з декількома змінними з використанням комп'ютерної техніки.

Математичну модель теплового балансу грані будівлі можна зобразити у вигляді:

$$\Delta Q_{ад_i} = \frac{S_{\text{ндо}_i}}{R_{\text{ндо}_i}} \cdot \left( t_{\text{а}_i} - \left( t_{\text{с}_i} + \frac{r_i \cdot I_{\text{сп}_i}}{\alpha_{\text{спдо}}} \right) \right) \cdot N_{\text{аа}} + \frac{S_{\text{а}_i} \cdot D_{d_i}}{R_{\text{а}_i}} - Q_{\text{ндо}_i} \cdot \hat{E}_i \cdot \zeta_i \cdot \varepsilon_{o_i} \cdot S_{\text{а}_i} . \quad (2)$$

Тепловий баланс (тепловтрати) огорожувальних конструкцій гранної будівлі мінімізується:

$$\Delta Q_{\text{Б}} = \sum \Delta Q_{\text{гр}_i} \rightarrow \min \quad (3)$$

#### *Система обмежень*

Оскільки загальна кількість утеплювача залишається незмінною та обмежуються параметри опору теплопередачі утеплювача, то

$$\sum R_i S_i = \text{const}, \quad (4)$$

$$1 \leq R_{\text{ст}_i} \leq 7, \quad 0,5 \leq R_{\text{в}_i} \leq 0,75. \quad (5)$$

Залежно від типу будівлі уточнюються параметри обмеження, де  $t_3$  – фактична температура зовнішнього повітря (град.);  $t_{\text{в}_i}$  – температура внутрішнього повітря (град.);  $r_i$  – альbedo поверхні грані будівлі;  $I_{\text{сп}_i}$  – енергетична освітленість короткохвильовою радіацією (Вт/м<sup>2</sup>);  $\alpha_{\text{зсті}}$  – коефіцієнт теплообміну між зовнішньою поверхнею огорожувальної конструкції та зовнішнім повітрям;  $R_{\text{ст}_i}$  – опір теплопередачі непрозорих огорожувальних конструкцій (м<sup>2</sup> · К/Вт);  $N_{\text{дiб}}$  – кількість діб опалювального періоду [1];  $R_{\text{в}_i}$  – опір теплопередачі світлопрозорих огорожувальних конструкцій (м<sup>2</sup> · К/Вт) [1];  $D_{d_i}$  – кількість градусо-дiб опалювального періоду [1];  $S_{\text{ст}_i}$  – площа непрозорої грані огорожувальних конструкцій (м<sup>2</sup>);  $Q_{\text{сп}_i}$  – кількість сонячної радіації, що надходить протягом опалювального періоду (кВт год/м<sup>2</sup>);  $K_i$  – коефіцієнт дійсних умов хмарності, що впливають на надходження сонячної радіації [1];  $\zeta_i$  – коефіцієнт, що враховує затiнення віконного прорізу непрозорими

елементами [1];  $\varepsilon_{o_i}$  – коефіцієнт відносного надходження сонячної радіації для світлопрозорих конструкцій [1];  $g = \zeta_i \cdot \varepsilon_{o_i}$  – фактор засклення вікон.

Розв'язання даної задачі зводиться до оптимізації нелінійної функції з використанням комп'ютера за декількома змінними методом Хука–Дживса за таким алгоритмом (рис. 2).

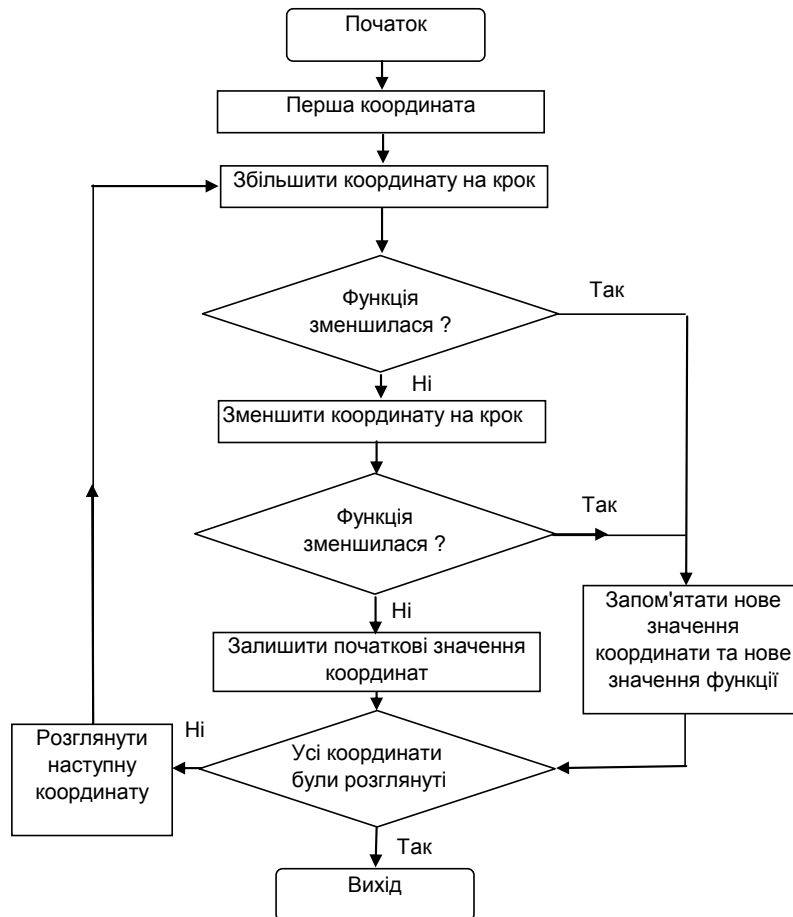


Рис. 2 Алгоритм оптимізації перерозподілу утеплювача за методом Хука–Дживса

При цьому визначення значень функції у базисних точках здійснюється за алгоритмом, представленим на рис. 3.

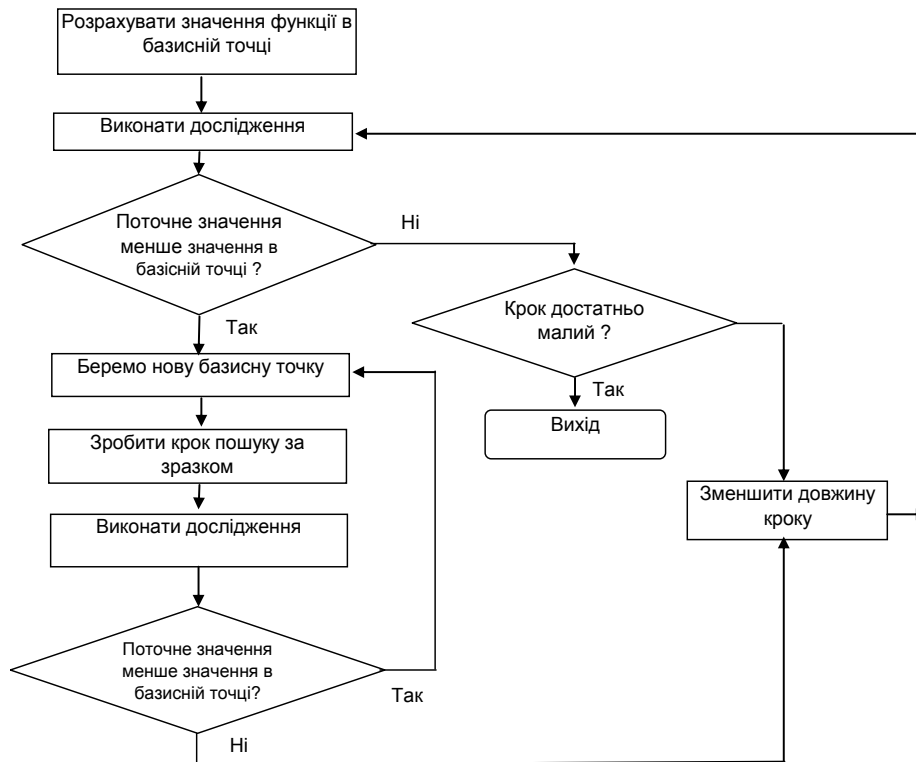


Рис.3 Алгоритм визначення функції у базисних точках

**Висновки та перспективи.** Для підвищення енергоефективності будівель запропоновано аналітичний спосіб оптимізації опору теплопередачі світлопрозорих і непрозорих огорожувальних конструкцій за різних умов та структуру оптимізації перерозподілу утеплювача між гранями огорожувальних конструкцій з урахуванням теплоенергетичного впливу оточуючого середовища.

Наведені дослідження доцільно використовувати при проектуванні енергоефективних будівель.

### Література

1. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2006. [Чинні від 2007-04-01] / Мінбуд України. Київ : Укрархбудінформ, 2006. 65 с. (Державні будівельні норми України).
2. *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.
3. *Сергейчук О. В.* Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будинків : Автореферат дис. ...

доктора техн. наук : 05.01.01 / Сергейчук Олег Васильович. Київ, 2008. 341 с.

4. *Мартинов 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.

5. *Мартинов В. Л.* Раціональна орієнтація віконних прорізів енергоефективних будівель / *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ : КНУБА, 2013. Вип. 4. С. 185–189.

6. *Мартинов 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.

7. *Sergeychuk O., Martynov V. Virchenko G., Usenko I.* Optimization of forms and size of windows for energy conservation *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2) (2018) 399-403 <https://DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27278>

8. *Sergeychuk O., Martynov V., Usenko I.* The definition of the optimal energy-efficient form of the building *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (3.2) (2018) 667-671. DOI: [10.14419/ijet.v7i3.2.14611](https://DOI: 10.14419/ijet.v7i3.2.14611)

## References

1. Теплова ізоляція будівель : ДБН В.2.6-31:2006. [Чинні від 2007-04-01] / *Мінбуд України*. Київ : *Ukrarkhbudinform*, 2006. 65 с. (Державні будівельні норми України).

2. *Serheichuk O.V.* 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.

*Serheichuk O. V.* Геометричне моделювання фізичних процесів при оптимізації форми енергоефективних будівель : Автореферат дис. ... доктора техн. наук : 05.01.01 / *Serheichuk Oleh Vasylovych*. Київ, 2008. 341 с.

4. *Martynov V. L.* Визначення допустимої зони розташування світлопрозорих конструкцій на фасадах енергоекономічних будівель / *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Вип. 1/2011(66), ч. 1. С. 104–108.

5. *Martynov V. L.* Раціональна орієнтація віконних прорізів енергоефективних будівель / *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. Київ : КНУБА, 2013. Вип. 4. С. 185–189.

6. *Martynov V. L.* Оптимальне розташування вікон в огорожувальних конструкціях енергоефективних будівель для п'яти кліматичних районів

УДК 514.18

д. т. н., профессор **Мартынов В. Л.**,  
arx.martynov@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0822-1970

к. т. н., доцент **Чирва Т.Л.**,  
tetyana.chyrva@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6657-5443

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

## **ОПТИМИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УТЕПЛИТЕЛЯ ПО ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОЙ ОБОЛОЧКЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ**

*В настоящее время остро стоит вопрос повышения энергоэффективности новых зданий и термомодернизации существующего жилого фонда. Это возможно сделать за счет рационального утепления наружных ограждающих конструкций, оптимального перераспределения утеплителя по граням зданий с учетом теплоэнергетического воздействия окружающей среды.*

*Существующие нормативные документы регламентируют минимальный уровень сопротивления теплопередаче через ограждающие конструкции зданий, но при этом не учитываются такие особенности теплоэнергетического воздействия окружающей среды, как уровень тепла от солнечной радиации и влияние ветра. Так, правомерным остается вопрос по оптимальному перераспределению нормативного количества утеплителя между гранями теплоизоляционной оболочки здания с учетом теплового воздействия окружающей среды с целью минимизации теплопотерь через ограждающие конструкции, что будет способствовать повышению энергоэффективности зданий. Для решения вышеупомянутого вопроса в работе предложен способ оптимизации сопротивления теплопередаче светопрозрачных и непрозрачных ограждающих конструкций при разных условиях и структуре оптимизации перераспределения утеплителя между гранями ограждающих конструкций.*

*Ключевые слова: энергоэффективные здания; оптимальные параметры; оптимизация распределения утеплителя; графические модели; геометрическое моделирование; архитектурное проектирование.*



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

Ph.D., Associate Professor **Chyrva T.**,  
tetyana.chyrva@gmail.com, ORCID: 0000-0002-6657-5443  
Kyiv National University of Construction and Architecture

## **OPTIMIZATION OF DISTRIBUTION OF INSULATION ON THERMAL INSULATION SHELL OF ENERGY EFFICIENT BUILDINGS**

*Nowadays, the issue of improving the energy efficiency of new buildings and thermal modernization of existing housing is acute. This can be done due to the rational insulation of external enclosing structures, the optimal redistribution of insulation on the edges of buildings, taking into account the thermal energy impact of the environment.*

*Existing regulations regulate the minimum level of heat transfer resistance through the enclosing structures of buildings, but do not take into account such features of thermal energy impact of the environment as the level of heat from solar radiation and wind. Thus, the issue of optimal redistribution of the normative amount of insulation between the faces of the building's thermal insulation shell remains legitimate, taking into account the thermal impact of the environment in order to minimize heat loss through enclosing structures, which will increase energy efficiency of buildings.*

*To solve the above problem, the method of optimizing the heat transfer resistance of translucent and opaque enclosing structures under different conditions and the structure of optimizing the redistribution of insulation between the faces of enclosing structures is proposed.*

*Key Words: energy efficient buildings; optimal parameters; optimization of insulation distribution; graphic models; geometric modeling; architectural design.*