

УДК 514.18

**КОНЦЕПТУАЛЬНІ ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ  
КОМПОЗИЦІЙНОГО МЕТОДУ ГЕОМЕТРИЧНОГО  
МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ФОРМУВАННІ ОПТИМАЛЬНОГО  
ПОРТФЕЛЮ ПРОЕКТІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В  
НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ**

Адоньєв Є.О., к.т.н.

*Запорізький національний університет (Україна)*

Верещага В.М., д.т.н.

*Мелітопольська школа прикладної геометрії,*

*Мелітопольський державний педагогічний університет ім.*

*Б. Хмельницького (Україна)*

*У статті запропоновані основні підходи до застосування композиційного методу геометричного моделювання для оцінки та оптимального відбору проектів з енергозбереження у навчальних закладах. Метод передбачає формалізацію вихідних факторів методами точкового БН-числення, зокрема, побудовою параболічних поверхонь відгуку (Б-поверхонь).*

*Ключові слова: точкове БН-числення, композиційний метод моделювання, Б-поверхня, вихідні фактори, формалізація, енергозбереження.*

**Постановка проблеми.** В сучасних умовах, однією з найбільш серйозних економічних проблем вищих навчальних закладів України є надмірні витрати на комунальні платежі. Крім високих тарифів, основною причиною цієї ситуації є невідповідність основних фондів (навчальних корпусів, адміністративних та господарських будівель, гуртожитків, тощо) діючим будівельним нормам та стандартам з енергоефективності будівель [6, 9]. Наприклад, у системах опалення навчальних закладів, технічний потенціал енергозбереження становить 80 %, якщо виходити з оцінок потенціалу, зроблених на основі показників енергоефективності нових будівель бюджетних фонду, які споруджуються з використанням нових норм щодо теплової ізоляції в Україні [10]. Вказана проблема вирішується шляхом комплексного впровадження різноманітних енергозберігаючих технологій, обладнання, матеріалів та організаційних заходів. Ця робота, зазвичай, проводиться в умовах недостатнього фінансування, тому визначення та обґрунтування саме оптимального портфелю енергозберігаючих проектів є надзвичайно актуальним.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Першим етапом в комплексі робіт з підвищення енергоефективності є енергоаудит, який проводиться відповідно до діючих нормативів [5, 9]. Що стосується саме закладів освіти, в НТУУ «КПІ» розроблена методика проведення енергетичного аудиту закладів освіти [4], яка дозволяє виявити основні проблеми та запропонувати заходи з енергозбереження.

Наступним кроком є вибір та техніко-економічні розрахунки проектів з енергозбереження. Враховуючи велику кількість вихідних даних, одним з основних інструментів тут є математичне моделювання. На теперішній час, у цій сфері існує значний доробок вітчизняних та зарубіжних вчених, зокрема, в роботах В.І. Дешко, А.В. Праховника розроблено методологію системи енергоменеджменту галузі освіти [8], в роботах вчених КНУБА О.Л. Підгорного, В.О. Плоского, О.В. Сергейчука наявний широкий спектр моделей енергоефективних процесів, оптимальні геометричні параметри будівель досліджені В.Л. Мартиновим [7], багатокритерійні моделі з використанням нечіткої логіки розроблені Є.А. Ячником [10].

Але, в процесі застосування моделей при виборі та обґрунтуванні енергозберігаючих проектів є два важливі моменти: необхідність враховувати велику кількість вихідних факторів різної природи, а також змінювати набори цих факторів при застосуванні раніше розробленої моделі до іншої будівлі. Враховуючи вищесказане, існуючі методи та моделі або дають недостатньо повну інформацію для прийняття обґрунтованого рішення, або є адекватними, але занадто складними та працемісткими при адаптації до нового об'єкту.

В цих умовах, на наш погляд, доцільним є застосування композиційного методу моделювання, розробленого на основі точкового числення Балюби-Найдиша [1, 2]. Цей метод дозволяє враховувати необмежену кількість вихідних факторів різної природи та змінювати набори цих факторів без зміни самої моделі.

**Формування цілей статті.** Означити основні підходи до застосування композиційного методу моделювання при визначенні оптимального портфелю енергозберігаючих проектів, а також принципи систематизації та формалізації вихідних факторів моделі.

**Основна частина.** Візьмемо до уваги існуючі принципи та порядок розробки енергозберігаючих заходів у вищих навчальних закладах:

1. Проведення енергетичного аудиту. Порівняння фактичних і нормативних питомих величин енергоспоживання будівлі.
2. Визначення та систематизація відхилень від нормативів.
3. Визначення основних заходів з енергозбереження.

4. Визначення доступних енергозберігаючих технологій, матеріалів та обладнання.
5. Проведення техніко-економічних розрахунків, відбір проектів.
6. Прийняття обґрунтованого рішення щодо оптимального портфелю проектів при заданих обмеженнях та визначеній меті.

На всіх етапах людський фактор, експертна оцінка грають вирішальну роль. З метою підвищення якості, результативності та обґрунтованості цієї роботи доцільно використовувати відповідну інформаційну систему підтримки управлінських рішень у вигляді пакету комп'ютерних програм. В якості математичного апарату для цієї системи доцільно використати точкове БН-числення, а саме, композиційний метод геометричного моделювання.

Враховуючи поставлені цілі, а також особливості та можливості композиційного методу геометричного моделювання, пропонуємо наступну послідовність дій.

#### **I етап. Енергоаудит.**

1. Проведення енергоаудиту будівлі стандартними методами та засобами. Порівняння фактичних і нормативних (за ДБН та ДСТУ) питомих величин енергоспоживання будівлі.

2. Систематизація результатів енергоаудиту в якості вихідних факторів моделі.

3. Формалізація вихідних факторів в точковій формі у вигляді Б-поверхонь. З цього моменту і надалі модель використовує тільки геометричні образи, а не реальні фізичні показники.

4. Об'єднання вихідних Б-поверхонь по ієрархії за принципами:

- функціональним (система опалення, система холодного водопостачання, система гарячого водопостачання, система електропостачання та освітлення, система вентиляції та кондиціонування, тощо);
- структурним (будівельні, технічні характеристики аудиторії, поверху, всієї будівлі);
- організаційним (середня кількість студентів та співробітників, режим роботи, тощо)

5. Побудова результуючої Б-поверхні на найвищому рівні ієрархії як об'єднання результатів попередніх кроків за фактичними даними. Отримаємо так званий «фактичний геометричний образ будівлі» в точковій формі.

6. Побудова результуючої Б-поверхні, аналогічної п.5, але з використанням нормативних даних. Отримаємо так званий «нормативний геометричний образ будівлі» в точковій формі.

7. Суміщаємо Б-поверхні (5) та (6). Об'єм між ними – це і є потенціал енергозбереження за умови досягнення нормативних значень. Наша мета – мінімізація цього об'єму (рис. 1).

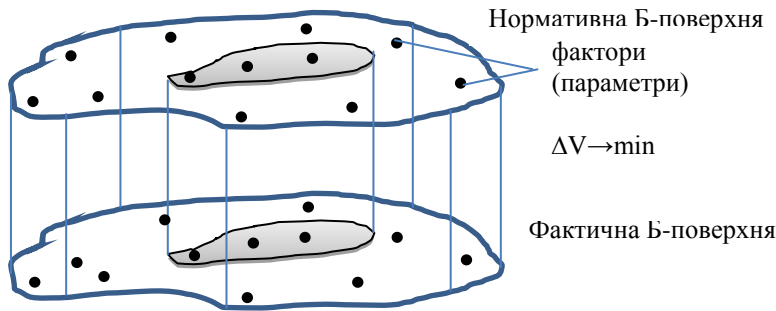


Рис. 1. Нормативна і фактична Б-поверхні

## II Етап. Проекти з енергозбереження.

1. Формування баз даних з характеристиками доступних енергозберігаючих технологій, обладнання та матеріалів. Систематизація цих даних у вигляді вихідних факторів моделі. Наприклад, одним із енергозберігаючих проектів є заміна старих дерев'яних вікон на металопластикові. Отже, визначаємо фактор «ВІКНО» і розглядаємо кожну доступну комерційну пропозицію металопластикового вікна зі своїми характеристиками як окремий фактор «ВІКНО 1», «ВІКНО 2» і т.д. зі своїми параметрами (табл. 1).

Таблиця 1

Фактор «ВІКНО», класифікація параметрів

№	Параметри	од. вим.
<b>1</b>	<b>Економічні</b>	
	1.1. Вартість вікна,	грн
	1.2. Вартість монтажу,	грн
	1.3. Загальна вартість,	грн
	1.4. Відповідність вимогам програми «теплих кредитів»	Так/Ні
	1.5. Економія на опаленні за сезон (теплова енергія)	Гкал
	1.6. Економія на кондиціюванні за сезон (електроенергія)	кВт·год
	1.7. Загальна економія енергії за рік	кВт·год
	1.8. Загальні втрати енергії за рік	кВт·год
	1.9. Експлуатаційні витрати за рік	грн
<b>2</b>	<b>Екологічні</b>	
	2.1. Зменшення викидів CO <sub>2</sub> за рік	кг
	2.2. Матеріал профілю (металопластик, дерево, алюміній)	назва
<b>3</b>	<b>Фізичні</b>	
	3.1. Тип вікна (кількість створок)	шт
	3.2. Ширина вікна	м
	3.3. Висота вікна	м
	3.4. Ширина профільної системи	мм
	3.5. Ширина склопакету	мм

Продовження таблиці 1

	3.6.	Кількість камер склопакету	шт
	3.7.	Товщина скла (якщо різні – вказати кожне)	мм
	3.8.	Ширина камери склопакету	мм
	3.9.	Наповнювач склопакету (повітря, аргон)	назва
	3.10.	Опір теплопередачі вікна $R_0$	$\text{м}^2 \text{К}/\text{Вт}$
	3.11.	Коефіцієнт теплопередачі вікна $U_w$	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$
	3.12.	Коефіцієнт теплопередачі склопакету $U_g$	$\text{Вт}/(\text{м}^2 \text{К})$
	3.13.	Сонячний фактор вікна $g$	%
	3.14.	Світлопропускання вікна	%
	3.15.	Клас шумоізоляції	№, дБ
	3.16.	Клас енергоефективності вікна (А ... Е)	літера
<b>4</b>	<b>Технологічні</b>		
	4.1.	Супутні матеріали	
	4.2.	Технологічне обладнання	
	4.3.	Додаткові технологічні роботи	
	4.4.	Інші технологічні параметри	
<b>5</b>	<b>Художньо-естетичні</b>		
	5.1.	Колір	
	5.2.	Фактурність	

2. Формалізація кожного фактору у вигляді Б-поверхні. Аналогічно етапу I, з цього моменту і надалі модель використовує тільки геометричні образи, а не фізичні показники (рис. 2).

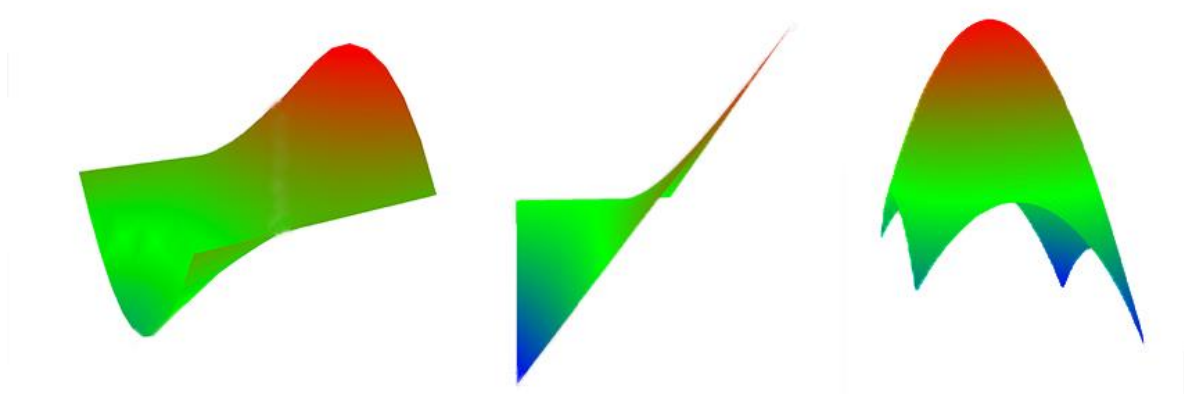


Рис. 2. Приклади формалізації параметрів для фактору «ВІКНО» у вигляді Б-поверхонь

3. Об'єднання Б-поверхонь – визначення інтегральних показників кожного фактору (наприклад, вікна) чи узагальненої характеристики усіх факторів. Таким чином отримуємо геометричний образ кожного конкретного проекту.

### III. Етап. Визначення оптимального портфелю проектів

1. Визначаємо проекти, які найкраще відповідають наявним обмеженням і поставленим цілям. Об'єднуємо ці проекти в результуючу Б-поверхню – отримуємо геометричний образ портфелю проектів.

2. Об'єднуємо цю результуючу Б-поверхню портфелю проектів з Б-поверхнями будівлі (I етап, рис. 1). Перевіряємо оптимальність обраного портфелю проектів щодо мінімізації об'єму між поверхнями (рис. 1). Тут, в залежності від поставленої мети, можуть вирішуватись дві задачі:

- досягнення нормативних (за ДБН та ДСТУ) показників з мінімально можливими витратами коштів та часу;
- досягнення максимально можливої енергоефективності при фіксованому бюджеті.

3. Результат: обгрунтована рекомендація щодо оптимального портфелю проектів з енергозбереження, який дозволяє досягти поставленої мети при заданих обмеженнях.

Таким чином, можемо зазначити **особливості застосування методу композиційного геометричного моделювання** для визначення оптимального портфелю проектів з енергозбереження, а саме:

- практично, з самого початку роботи, модель оперує геометричними образами вихідних даних;
- модель, розроблена для одної будівлі, може бути застосована для іншої будівлі з мінімальними затратами праці на адаптацію. Часткова зміна набору вихідних факторів, чи використання неповних вихідних даних не призводить до зміни моделі;
- моделі, розроблені за даним методом, можуть зручно об'єднуватися на вищі рівні – університет, муніципалітет, область, тощо;
- модель передбачає постійне, від проекту до проекту, поповнення вихідної бази даних новими енергозберігаючими технологіями, обладнанням та матеріалами, а також зберігання цієї інформації у формалізованому вигляді.

**Висновки.** Визначено основні засади застосування композиційного методу геометричного моделювання при виборі та оцінці проектів з енергозбереження будівель навчальних закладів. На прикладі вихідного фактору «Вікно» показані принципи систематизації вихідних факторів моделі, а також їх формалізації у вигляді параболічних Б-поверхонь.

### *Література*

1. Адоньєв Є.О. Композиційний метод утворення поверхонь: суть, особливості та перспективи використання у моделюванні багатофакторних процесів / Є.О. Адоньєв, В.М. Верещага, А.В. Найдиш // Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-практичної конференції «Обухівські читання» (21 березня 2017 року) / Національний університет біоресурсів і природокористування України. – К., 2017. – С. 94–99.
2. Балюба И.Г. Точечное исчисление [учебное пособие] // И.Г. Балюба, В.М. Найдыш; под ред. Верещаги В.М. – Мелітополь: Изд-во МГПУ ім. Б. Хмельницького, 2015. – 234 с.
3. Верещага В.М. Монофакторний принцип побудови моделі багатофакторних задач термореновації будівель [Текст] / В.М. Верещага, Є.О. Адоньєв // Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького; гол. ред. кол. А.В. Найдиш. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2016. – Вип. 7. – С. 24–31.
4. Методика проведення енергетичного аудиту закладів освіти. Загальні положення. Порядок проведення. / [В.І. Дешко, А.В. Праховник, В.В. Прокопенко та ін.] – К.: НТУУ «Київський політехнічний інститут», Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, 2009. – 75 с.
5. ДСТУ-НБА.2.2-5:2007 «Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції» [Чинний від 2008-07-01]. – К.: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2008. – 43 с.
6. Конструкції будинків і споруд. Теплова ізоляція будівель: ДБН В.2.6-31 :2006 (на заміну СНиП II-3-79). – [Чинний від 2007-04-01]. – К.: Державне підприємство «Укрархбудінформ», 2007. – 60 с.
7. Мартинов В.Л. Моделювання оптимальних геометричних параметрів енергоефективних будівель гранної форми. [Текст]: дис.... докт. техн. наук: 05.01.01 / Вячеслав Леонідович Мартинов – Кременчук: Кременчуцький національний університет ім. М. Остроградського, 2014. – 352 с.
8. Розробка моделей та методів інтегрованих систем управління ефективністю енерговикористання об'єктів галузі освіти: звіт про НДР (заключ.) НТУУ «КПІ»; кер. роб. В. Дешко. – К., 2014. – 195 с. + CD-ROM. – Д/б №2667-п [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/12664>
9. Фаренюк Г.Г. Розвиток нормативної бази з енергоефективності будівель [Електронний ресурс] / Г.Г. Фаренюк // ЭСКО. Города и

здания. – 2013. – Вип. 6. – С. 48-58. – Режим доступа до журн.: [http://journal.esco.co.ua/cities/2013\\_6/art132.pdf](http://journal.esco.co.ua/cities/2013_6/art132.pdf).

10. Ячник Є.А. Розробка багатокритерійних моделей та засобів управління енерговикористанням у навчальних закладах. [Текст]: дис.... канд. техн. наук: 05.14.01 / Євген Анатолійович Ячник. – К.: НТУУ «Київський політехнічний інститут», 2011. – 232 с.

**КОНЦЕПТУАЛЬНЫЕ ОСНОВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ  
КОМПОЗИЦИОННОГО МЕТОДА ГЕОМЕТРИЧЕСКОГО  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ  
ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ  
ПРОЕКТОВ В УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЯХ**

Адоньев Е.А., Верещага В.М.

*В статье предложены основные подходы к применению композиционного метода геометрического моделирования для оценки и оптимального отбора энергосберегающих проектов в учебных заведениях. Метод предусматривает формализацию исходных факторов методами точечного БН-исчисления, в частности, построением параболических поверхностей отклика (Б-поверхностей).*

*Ключевые слова: точечное БН-исчисление, композиционный метод моделирования, Б-поверхность, исходные факторы, формализация, энергосбережение.*

**CONCEPTUAL BASES OF USING THE COMPOSITE METHOD  
OF GEOMETRICAL MODELING IN THE FORMATION OF THE  
OPTIMAL PORTFOLIO OF ENERGY-SAVING PROJECTS IN  
EDUCATIONAL INSTITUTIONS**

Adoniev E., Vereshchaga V.

*The article suggests the main approaches to the application of the composite method of geometric modeling for the assessment and optimal selection of energy-saving projects in educational institutions. The method provides for the formalization of the initial factors by the methods of point BN-calculus, in particular, by construction of parabolic response surfaces (B-surfaces).*

*Key words: point BN-calculus, composite modeling method, B-surface, initial factors, formalization, energy saving.*