

## ФОРМУВАННЯ ЄДИНОЇ ПОВЕРХНІ ГЕОМЕТРИЧНОЇ МОДЕЛІ АРХІТЕКТУРНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕМЕНТІВ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ТА ТОПОЛОГІЧНОЇ ВАРІАЦІЇ

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна*

*Запропоновано новий підхід до формоутворення геометричної моделі архітектурного об'єкта, який полягає у формуванні моделі як однієї цілісної поверхні, складеної з геометрично-топологічних елементів. Також проведено аналіз топологічних особливостей характерних складових архітектурного об'єкта.*

**Постановка проблеми.** Сучасні системи автоматизованого архітектурного проектування базуються на конструктивному підході – предметом моделювання виступають окремі конструктивні елементи або керуючі конструкціями поверхні (конструктивні системи, збірки). Приміщення та логічні зв'язки між ними не є активними формоутворюючими елементами, що призводить до відсутності автоматичного підтримання цілісності функціональної структури об'єкта, а також до технічної можливості таких безглузких помилок, як приміщення без дверей, сходи, що ведуть у стіну тощо. Одним з найслабших місць сучасного програмного забезпечення, спрямованого на прикладне геометричне моделювання (в тому числі архітектурне) є автоматизація топологічно-залежного моделювання.

**Постановка задачі.** Логічні зв'язки між елементами функціональної схеми є одними з найбільш стабільних – їх топологія може залишатись сталою навіть при значних змінах геометричної моделі об'єкта проектування. Задачею дослідження є виявлення характерних топологічних особливостей моделі архітектурного об'єкта, необхідних для автоматизації складних змін його форми, в тому числі зі збереженням сталості функціональної схеми.

### **Основна частина.**

Будівля, як об'єкт фізичного світу, складається з великої кількості окремих об'ємів матерії – конструктивних елементів та зв'язуючих речовин, які утворюють цілісну сукупність твердих оболонок (конструкцій) навколо заповнених повітрям взаємопов'язаних просторів (приміщень). Повна інформаційна модель архітектурного об'єкта потребує врахування всіх складових для детального розрахунку міцності, підрахунків кількості та об'єму необхідних будівельних матеріалів та конструктивних елементів тощо.

Але людина сприймає лише зовнішню поверхню непрозорих об'єктів (якими є конструкції). Тому для проектувальника в процесі пошуку та розробки об'ємно-планувального та образного рішення достатньо, щоб відображалась лише зовнішня поверхня видимої частини об'єкта проектування.

У віртуальному просторі моделі архітектурного об'єкта можна виділити три варіанти відносного положення точки зору проектувальника: зовні об'єкта (екстер'єр), всередині об'єкта (інтер'єр) та моделювання на зрізах (планах,

розгортках, розрізах, вузлах), при якому видно як зовнішні, так і внутрішні складові. На основі сприйняття будівлі ззовні та зсередини, а також враховуючи товщину конструкцій, можна виділити зовнішню та внутрішню поверхні архітектурного об'єкта (схематичне зображення цих поверхонь приведено на Рис.1а). Ці поверхні фізично з'єднуються через віконні та дверні прорізи (Рис.1в), але після заповнення прорізів вікнами та дверима, з'єднання просторів перестає сприйматись візуально – прорізи починають сприйматись як заглиблення, елементи рельєфу стіни (Рис.1б).

Знаходячись ззовні об'єкта, спостерігач *гарантовано бачить* зовнішню поверхню, а також *може бачити* частину внутрішньої поверхні через відкриті прорізи або світлопрозорі конструкції. Знаходячись в інтер'єрі, спостерігач *гарантовано бачить* внутрішню поверхню приміщення, у якому знаходиться, *може бачити* внутрішню поверхню сусідніх приміщень, а також у деяких випадках може бачити фрагменти зовнішньої поверхні.

В процесі моделювання вікна та двері можна прийняти як „закритими” (Рис.1б), так і „відкритими” (Рис.1в). Все залежить від поставлених задач.

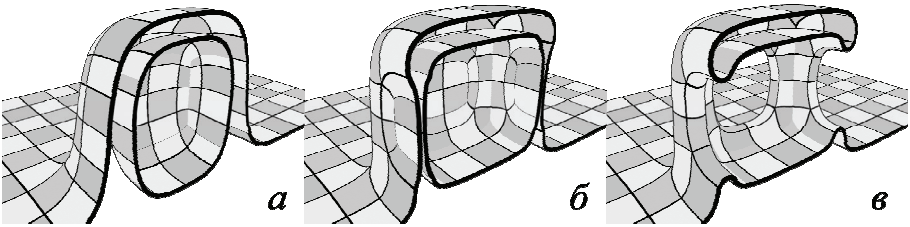


Рис. 1

З точки зору топології, геометричні моделі, зображені на Рис.1б та Рис.1в, принципово відрізняються.

У першому випадку (1б) зовнішня поверхня будівлі разом з поверхнею ландшафту утворює цілісну поверхню, яку можна назвати архітектурним ландшафтом або поверхнею екстер'єру. Окремо взята, вона відтворює об'єм будівлі монолітним, без приміщень, чого часто буває достатньо для пошуку загальної об'ємно-просторової композиції, візуалізації зовнішнього вигляду будівлі та для роботи на містобудівному рівні. Внутрішня поверхня у цьому випадку буде замкненою і відділятиме внутрішній простір від конструкцій. Її достатньо для проектування інтер'єру. Назвемо такий стан топологічно ізолюваним.

Стан, у якому прорізи між внутрішнім та зовнішнім просторами відкриті, називатимемо топологічно зв'язаним. У топологічно зв'язаному стані поділ простору на зовнішній та внутрішній є умовним – вони утворюють єдиний топологічно зв'язаний простір (Рис.1в). Те ж саме можна сказати про зовнішню та внутрішню поверхні.

Можна сказати, що поверхня екстер'єру утворюється з поверхні архітектурного ландшафту шляхом „вирощування”, витискання з неї об'єму

будівлі. З іншого боку, в топологічно ізолюваному стані вікна утворюються шляхом заглиблення у фасад. Тобто принципи утворення будівлі на ландшафті та вікон/дверей на фасаді будівлі є подібними, що дає змогу говорити про можливу фрактальність алгоритмів (принаймні часткову). Слід відзначити, що у розглянутому випадку обидві операції не змінили топологічного роду поверхні, а лише змінили її форму геометрично.

Можливі й інші випадки, наприклад тріумфальна арка – якщо її розглядати як варіацію поверхні ландшафту, то ця варіація діє як на геометричному, так і на топологічному рівні – вона додає одиницю до роду поверхні ландшафту.

Якщо представити поверхню ландшафту та пов'язаний з нею об'єкт вершинами графу, то стандартна будівля буде з'єднуватись із ландшафтом за допомогою одного ребра (Рис.2а), арка – за допомогою двох (Рис.2б). Якщо від'єднати поверхню будівлі від ландшафту, залишивши відкритими утворені розриви, ми отримаємо поверхні, кожна з яких у графі можна відтворити у вигляді вузла з приєднаною до нього половиною ребра. Від'єднана від ландшафту будівля буде представлена вузлом з одним приєднаним до нього напівребром (Рис.2в), арка – з двома напівребрами (Рис.2г). Кінці напівребер символізують місця контакту з поверхнею-партнером.

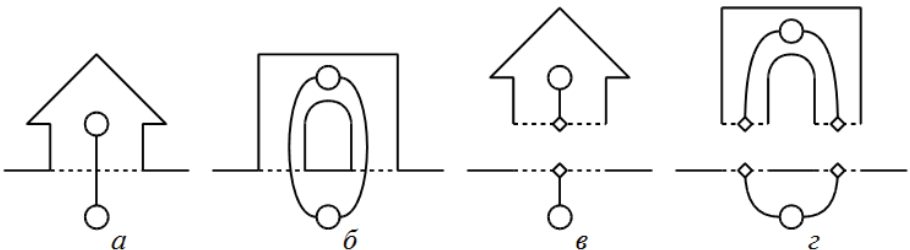


Рис. 2

З топологічної точки зору, тріумфальна арка є сферою без двох точок. З геометричної точки зору, вона є схожою на літеру П, а краї поверхні орієнтовані в один бік та лежать в одній площині. З цих властивостей випливає, що арка може бути приєднана до поверхні з двома краями за умови розташування цих країв певним чином, відповідно до геометричних вимог арки. Модель арки можна зробити достатньо гнучкою, щоб вона могла прилаштуватись до різної відстані, розміру країв базової поверхні, але якщо краї базової поверхні будуть розташовані з сильними відхиленнями від „вимог” арки (наприклад, один навпроти одного), то арка або не зможе до них прилаштуватись, або якщо зможе, то втратить свою властивість „бути аркою”. Таким чином, модель арки, яку ми розглянули, є змішаним, геометрично-топологічним елементом, що може бути з'єднаний з іншим елементом або елементами за виконання як геометричних, так і топологічних його умов. Наочно такий елемент (узагальнено) можна представити у вигляді геометричної поверхні з  $n$  краями,

всередині якої знаходиться топологічний „скелет” у вигляді зірки з  $n$  напівребер, що розходяться з центрального вузла (Рис.3а).

Геометрично-топологічні елементи відкривають можливості для моделювання нового типу – геометрично-топологічного вирощування. Однією з переваг такого підходу є можливість адаптивного керування деталізацією поточного відображення моделі на основі видимості її частин та їх розміру у полі зору. Іншою є моделювання на основі функціональної схеми – якщо приміщення представлені геометрично-топологічними елементами, у яких кількість півребер відповідає кількості комунікацій (дверей та вікон), тоді топологічна складова кожного приміщення (вузол з півребрами) є прямим відображенням приміщення як елемента функціональної схеми.

Зовнішню оболонку цегляної будівлі зі скатним дахом можна розкласти на вимощення та цоколь, цегляний масив, карниз та покрівлю. Перші три елементи є „трубчастими”, тобто мають по два півребра, дах є торцевим елементом, маючи лише одне.

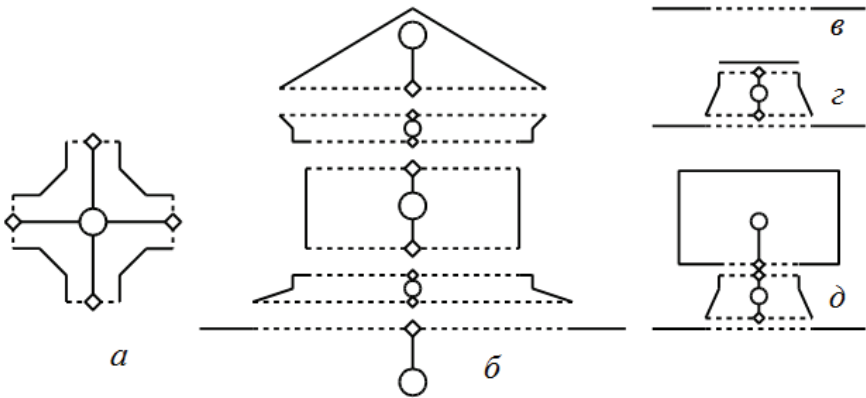


Рис. 3

Розглянемо приклад адаптивної деталізації. При віддаленні від будівлі, такі деталі, як карниз та цоколь, можуть зникати, у цьому випадку цегляний масив безпосередньо буде з'єднаний із ландшафтом та дахом. Якщо вікна будуть визначатись, як місця топологічної варіації поверхні фасаду (кожне вікно буде віднімати одну точку поверхні – Рис.3в), тоді перехід від топологічно ізольованого до топологічно зв'язаного стану може бути здійснений частково (для економії обчислювальних ресурсів): у топологічно ізольованому стані до віконного розриву приєднується елемент віконного прорізу (трубчастий), який закривається поверхнею вікна (Рис.3г). При переході до топологічно зв'язаного стану, до віконного прорізу замість поверхні вікна приєднується поверхня приміщення (Рис.3д).

У загальному випадку можна стверджувати, що поверхня ландшафту при встановленні будівлі втрачає  $m$  точок, де  $m \geq 1$  – це кількість окремих місць

контакту будівлі з ландшафтом. Поверхня будівлі також втратить  $m$  точок. Склеюючи поверхню ландшафту з поверхнею будівлі в місцях утворених  $m$  розривів, отримаємо поверхню  $(l + b + m - 1)$  роду, де  $l$  – це рід поверхні ландшафту без будівлі, а  $b$  – рід поверхні будівлі без ландшафту. Отримана в результаті склеювання поверхня є поверхнею архітектурного ландшафту або поверхнею екстер'єру.

Якщо представити функціональну схему будівлі у вигляді графа, вершини якого позначають приміщення (включаючи комунікації – коридори, сходи, ліфти), а ребра – просторові зв'язки між ними (прорізи), тоді топологічний рід поверхні внутрішнього простору в топологічно ізольованому стані буде дорівнювати цикломатичному числу  $c$  графа функціональної схеми (у випадку, якщо функціональна схема є кількісно формалізованою, тобто кожному ребру графа відповідає один фізичний проріз, а кожному вузлу – одне окреме приміщення). Якщо граф функціональної схеми приміщень є деревом ( $c = 0$ ), то поверхня внутрішнього простору гомеоморфна сфері. Кожна окрема колона в інтер'єрі збільшує значення топологічного роду на 1. Залежність приросту топологічного роду поверхні внутрішнього простору від кількості вертикальних комунікацій визначається за формулою  $s(v - 1)$ , де  $s$  – кількість поверхів, а  $v$  – кількість вертикальних комунікацій. Таким чином, якщо у будівлі лише одна вертикальна комунікація, топологічний рід внутрішньої поверхні залежить від планування поверхів і не залежить від їх кількості. Якщо комунікацій більше, кожна „зайва” комунікація збільшує цикломатичне число і, як наслідок, рід поверхні на величину, рівну кількості поверхів. У випадку, якщо планування всіх поверхів є деревоподібним, окремо стоячі колони відсутні, а вертикальна комунікація – лише одна, увесь внутрішній простір будівлі буде гомеоморфним сфері незалежно від кількості приміщень та поверхів.

Поверхня внутрішнього простору (інтер'єру) та поверхня екстер'єру в топологічно зв'язному стані втрачають по  $n$  точок, де  $n$  – це кількість прорізів (віконних та дверних), які сполучають внутрішній простір будівлі із зовнішнім. При склейці поверхонь інтер'єру та екстер'єру отримаємо єдину архітектурну поверхню, топологічний рід якої буде  $(ex + in + n - 1)$ , де  $ex$  – рід поверхні екстер'єру,  $in$  – рід поверхні інтер'єру. Підставляючи значення з попередніх формул, отримаємо:

$$Arch = [(l + b + m - 1) + (c + s(v - 1)) + n - 1]$$

Визначаючи топологічний рід за цикломатичним числом, ми спиралися на кількісно формалізовану функціональну схему, яку можна отримати в процесі геометричної формалізації логічної функціональної схеми. В окремому випадку фізична кількість приміщень та прорізів може співпадати з кількістю логічних приміщень та логічних зв'язків відповідно. Але функціональні особливості, конструктивні обмеження, закони ергономіки та естетичні вимоги можуть спонукати до розшарування одного логічного приміщення або зв'язку на декілька фізичних, або ж злиттю декількох логічних елементів у один фізичний (злиття зв'язків відбувається при створенні приміщень комунікації, коли одне приміщення втілює у собі одночасно декілька зв'язків між іншими). На прикладі віконних прорізів можна сказати, що функціональними вимогами

може бути встановлено мінімальні, бажані та максимальні значення для площі, ширини та висоти вікна, які можуть бути пов'язані залежностями з товщиною стіни та орієнтацією вікна відносно сторін світу: приміщення „виводить” на фасад своє вікно з поки що не визначеною формою, але відомими обмежувачими характеристиками. Проектувальник або композиція фасаду визначає бажані розміри та форму цього вікна. Форма узгоджується з функціональними вимогами площі і якщо вона менша за площу, ніж потрібно, тоді логічне вікно розбивається на два або більше фізичних, які розміщуються на фасаді. Якщо ж не вдається узгодити функціональні вимоги з естетичними шляхом зміни кількісно-якісних характеристик, такий конфлікт може бути вирішений шляхом зміни обмежуючих умов – вікно „тисне” на композицію фасаду, змінюючи її, якщо це дозволяють інші пов'язані з нею приміщення та їх вікна, або приміщення „шукає” собі інше місце, у якому композиція фасаду є більш сприятливою, обмінюючись місцем з іншим приміщенням, якому підходить залишене місце.

Можна помітити, що сполучення внутрішнього простору будівлі із зовнішнім простором через посередництво прорізів топологічно подібне до сполучення об'ємів перекриттів через посередництво колон. В обох випадках результатом сполучення є цілісна поверхня, топологічний рід якої напряму залежить від кількості сполучень. Відмінність полягає лише у виді матерії, яка наповнює простори, що сполучаються. Також в обох випадках є подібними геометричні алгоритми формування поверхонь з'єднуючих „мостів”: формування капітелей та баз колон так само, як і формування віконних укосів, проходить шляхом протягування профілю вздовж контуру перерізу з'єднуючого елемента. Окрім цього, конструктивні вимоги, які стосуються геометричних параметрів колон, є подібними до функціональних вимог до вікон – вони визначають площу перерізу та її залежність від навантаження, висоти колони та співвідношення сторін її перерізу, матеріалу, напрямку колони відносно напрямку гравітації. Вибір же конкретної форми перерізу, кількості колон та їх розташування (в припустимих межах) визначається проектувальником або іншими факторами – зручністю планування, композицією, міркуваннями раціональності.

**Висновки.** Моделювання шляхом геометрично-топологічної варіації дозволить суттєво розширити можливості адаптивного відображення на основі умов видимості та зробити функціональну схему активним формоутворюючим суб'єктом, що дозволить суттєво підвищити ефективність та зручність процесу архітектурного проектування, особливо при внесенні суттєвих змін до проекту.

### Література:

- 1 Терстон У. Трехмерная геометрия и топология. Перев. с англ. /С. Леви -М.: МЦНМО, 2001.-312 с.
- 2 Френсис Дж. Книжка с картинками по топологии. Перев. с англ. /Н.Ю. Нецветаева, -М «Мир», 1991
- 3 Frédéric Cazals —Marc Pouget Topology driven algorithms for ridge

extraction on meshes: Rapport de recherche n° 5526 — Mars 2005— 29 pages, INRIA, France [<http://hal.inria.fr/docs/00/07/04/81/PDF/RR-5526.pdf>]

4 *Christopher Carner, Miao Jin, Xianfeng Gu, and Hong Qin* Topology-driven Surface Mappings with Robust Feature Alignment – Stony Brook University

5 *Gioacchino Noris, Alexander Hornung, Robert W. Sumner, Maryann Simmons, Markus Gross* Topology-Driven Vectorization of Clean Line Drawings.

## **ФОРМИРОВАНИЕ ЕДИНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АРХИТЕКТУРНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕМЕНТОВ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ И ТОПОЛОГИЧЕСКОЙ ВАРИАЦИИ**

*A. A. Фролов*

Предложен новый подход к формообразованию геометрической модели архитектурного объекта, заключающийся в формировании модели как одной целостной поверхности, составленной из геометрически-топологических элементов. Также проведен анализ топологических особенностей характерных составляющих архитектурного объекта.

## **GENERATION OF SINGLE SURFACE FOR GEOMETRIC MODEL OF ARCHITECTURAL OBJECT USING ELEMENTS OF GEOMETRIC AND TOPOLOGICAL VARIATION**

*A. A. Froloff*

New modeling method of surface generation for geometric model of architectural object is proposed. It consists of combining geometric-topological elements into single, integral surface. Also analysis of topological characteristics of architectural elements carried out.