

DOI: 10.32347/2412-9933.2020.42.119-124

УДК 004.9:69

Регіда Олег ВіталійовичАспірант кафедри архітектурних конструкцій, orcid.org/0000-0003-2193-3240

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

Терещук Микола ОлександровичАспірант кафедри архітектурних конструкцій, orcid.org/0000-0002-4444-3677

Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ

**ДЕЯКІ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ СУЧАСНОГО КОМП'ЮТЕРНОГО
БУДІВЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ**

Анотація. Статтю присвячено подальшому розвитку автоматизованого архітектурно-будівельного проєктування, а саме: вдосконаленню такої його базової складової, як комп'ютерне параметричне геометричне моделювання опрацьовуваних об'єктів. Показано, що зазначене питання становить нині актуальну науково-прикладну проблему, оскільки суттєво впливає на ефективність практичної роботи багатьох проєктних організацій, значною мірою визначає якість та економічні показники у всій будівельній галузі. Виконано аналіз відповідних сучасних досліджень, окреслено деякі наявні проблеми, сформульовано новий підхід для їх вирішення. Зокрема, це стосується потреби більш реалістичного відображення в комп'ютерних геометричних моделях, які охоплюють усі стадії життєвого циклу будівлі, динамічних процесів її спорудження. Для розв'язання цієї задачі розроблено засади концепції автоматизованого формоутворення, що спирається на методологію структурно-параметричного геометричного моделювання. Наведено належні теоретичні відомості, розглянуто питання їх прикладного застосування у сфері будівництва та архітектури, описано запропоновану методику проєктування. Акцентовано увагу на її інваріантному характері по відношенню до модельованих об'єктів і процесів, можливості успішної реалізації в різноманітних сучасних комп'ютерних інформаційних системах, які є відкритими для написання користувачами своїх власних програмних додатків. Останнє допомагає продуктивно адаптувати необхідним чином наявні системи автоматизованого проєктування до конкретних вимог використання, суттєво підвищити їх ефективність. У зв'язку з цим вагомим постає завдання напрацювання нових методів, способів, прийомів та алгоритмів комп'ютерного моделювання, належних засобів математичного та інформаційного забезпечення. Важливим також є питання проведення комплексної, тобто в аспектах багатьох дисциплін, таких як архітектура, конструкція, технологія спорудження, експлуатація і т. д., оптимізації будівельних об'єктів протягом усього їх життєвого циклу. На основі викладеного матеріалу визначено перспективні напрями для подальших наукових досліджень та впровадження отриманих результатів у практику.

Ключові слова: BIM-технології; будівельні об'єкти; життєвий цикл; PLM-технології; структурно-параметричне геометричне моделювання

Постановка проблеми

Сучасний етап розвитку суспільства характеризується бурхливим розвитком комп'ютерних інформаційних технологій, які широко застосовуються в різноманітних сферах життєдіяльності людини, зокрема, в архітектурі та будівництві. Завдяки цьому кардинальним чином змінилися можливості відповідних проєктних організацій стосовно продуктивного опрацювання будівель і споруд, покращення їх якості, підвищення економічної та екологічної ефективності тощо впродовж усього життєвого циклу.

Для окреслених засобів автоматизації прийнято узагальнений термін BIM (Building Information Modeling), що означає будівельне інформаційне моделювання. Нині розглянутий напрям проєктування отримав свою практичну реалізацію у вигляді використання належних комп'ютерних систем.

Однак і тепер усе ще існують певні проблеми в цій галузі. Наприклад, це стосується не тільки дієвої інтеграції таких етапів життєвого циклу, як проєктування, будівництво та експлуатація, а й комплексного, тобто в аспекті багатьох дисциплін, розгляду зазначених питань. Наведені задачі доволі актуальні, оскільки значною мірою впливають на

якість та економічні показники у всій будівельній галузі. Успішному розв'язанню проаналізованих завдань сприяють інтегровані CAD/CAM/CAE/PLM (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing / Computer Aided Engineering / Product Lifecycle Management) комп'ютерні інформаційні системи. За останні кілька десятиліть вони, завдяки розроблянню продуктивних технічних, програмних, математичних, інформаційних, організаційних та інших засобів, пройшли стрімкий шлях від примітивного на сьогодні 2D (2 Dimensional) формоутворення до сучасного 3D (3 Dimensional) *параметричного геометричного моделювання* опрацьовуваних об'єктів. Це свідчить, що в основі нинішніх систем автоматизованого проєктування лежать геометричні дані як узагальнюючі для застосовуваних моделей усіх інших дисциплін. Тому задачі подальшого вдосконалення комп'ютерного формоутворення становлять актуальну науково-прикладну проблему.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Використанню BIM-технологій упродовж життєвого циклу будівельних об'єктів присвячено роботи [1; 2]. У дослідженні [1] докладно описано методи та засоби автоматизації етапів життєвого циклу, показано, що архітектурно-будівельне проєктування для нього є базовим компонентом. Проаналізовано ряд задач з урахуванням змінювання напружено-деформованого стану будівель і споруд протягом їх життєвого циклу, описано запропоновану концепцію інформаційних моделей об'єктів будівництва. Висвітлено питання їх комп'ютерного формування з оглядом на процеси спорудження, але, на жаль, тільки в аспекті впливу останніх на напружено-деформований стан конструкцій. Працею [2] наведено приклад інтеграції системи САПФР (Система Архітектурного Проєктування, Формоутворення і Розрахунків) і ЛПРА-САПР [3], які розглядаються як практична основа для створення вітчизняних BIM-технологій. При цьому перша забезпечує 3D параметричне формоутворення та взаємодію з програмами розрахунків на міцність будівель і споруд, а друга – реалізує інформаційні зв'язки з більшістю сучасних популярних архітектурно-будівельних систем автоматизованого проєктування, наприклад, ArchiCAD [4], Allplan [5], Revit [6, 7] і т. д.

У публікаціях [8; 9] подано принципи параметризації будівельних об'єктів та розроблення їх узагальнених інформаційних моделей на базі методів інтеграції. Дослідженням [10] запропоновано новий підхід у вигляді *агентного моделювання* з метою ефективного відтворення складної взаємодії різноманітних *агентів* (людей,

машин, ресурсів тощо), які беруть участь у процесах опрацювання будівельних об'єктів на всіх етапах їх життєвого циклу шляхом застосування BIM-технологій. Працю [11] присвячено розробленню програмного забезпечення у вигляді компонента підсистеми інформаційної технології діагностики технічного стану будівель і споруд.

Таким чином, виконаний аналіз публікацій [1 – 11] свідчить про суттєві теоретичні і практичні результати у сфері комп'ютерного будівельного моделювання з використанням CAD/CAM/CAE/PLM-технологій. Однак при цьому існують і деякі проблеми, що й визначають напрями проведення подальших наукових досліджень. Так, цікавим є поширення на будівельні об'єкти наявної в машинобудуванні, зокрема вітчизняній авіаційній галузі, методології структурно-параметричного геометричного моделювання [12 – 16]. Це стосується автоматизованого модульного комбінаторно-варіаційного проєктування технічних виробів, комп'ютерного динамічного відтворення технологічних процесів їх виготовлення, комплексної оптимізації складної промислової продукції і т. д. Але при цьому виникають певні задачі науково-прикладного плану щодо ефективної адаптації напрацьованих здобутків з урахуванням специфіки архітектурно-будівельних умов та вимог.

Мета статті

Головним завданням дослідження є визначення перспектив подальшого розвитку комп'ютерного будівельного проєктування на основі впровадження методології структурно-параметричного геометричного моделювання в засоби BIM-технологій, подання теоретичних основ відповідної запропонованої концепції. Розв'язання окреслених задач дає змогу розробляти належні нові способи, прийоми та алгоритми автоматизованого динамічного формоутворення різноманітних будівельних об'єктів, наприклад, для реалістичного відображення в комп'ютерних геометричних моделях процесів їх спорудження, виконання структурно-параметричної оптимізації і т. д.

Виклад основного матеріалу

Відповідно до праць [12; 16] склад довільного об'єкта O подається упорядкованою множиною

$$O = (o_i)_1^N, \quad (1)$$

де o_i – його елементи (частини, компоненти тощо); N – їх кількість.

Можливі проєктні різновиди o_i визначаються кортежем варіантів

$$o_i = (o_{ij})_1^{N_i}, \quad (2)$$

де N_i – їх число,

та векторами параметрів

$$P_{ij} = (p_{ijk})_1^{Np_{ij}}, \quad (3)$$

де Np_{ij} – кількість параметрів j -го варіанта i -ї складової об'єкта O .

Структурний взаємозв'язок між різновидами n -го та m -го елементів відтворюють матриці суміжності (рис. 1, а)

$$C_{nm} = \|c_{nr}c_{ms}\|, \quad n \in N, \quad m \in N, \quad n \neq m, \\ r \in \{1, \dots, N_n\}, \quad s \in \{1, \dots, N_m\}, \quad (4)$$

де $c_{nr}c_{ms} \neq 0$ при можливій взаємодії варіантів o_{nr} та o_{ms} , $c_{nr}c_{ms} = 0$ – у протилежному випадку.

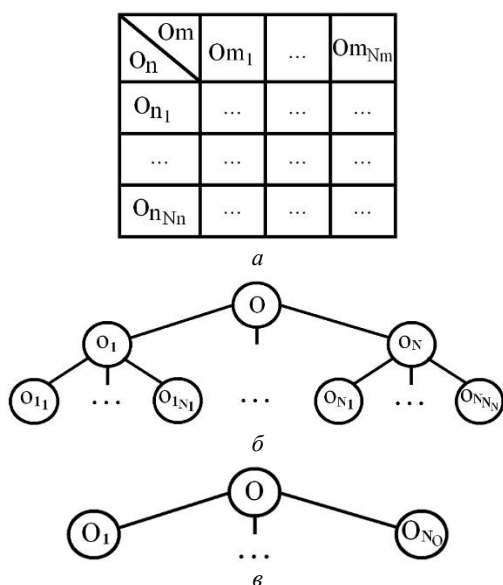


Рисунок 1 – Складові структурної моделі об'єкта O : а – матриця суміжності різновидів елементів O_n та O_m ; б – граф структури; в – граф варіантів

Під час комп'ютерного моделювання зображена на рис. 1, а таблиця зазвичай використовується у вигляді багатовимірного масиву для зберігання різноманітних значень параметрів моделі, її атрибутів, потрібних розрахункових аналітичних формул тощо.

Вирази (1) ... (4) та графи рис. 1 у математичній формі відображають перші два етапи створення структурно-параметричної геометричної моделі довільного об'єкта O (1. Аналіз об'єкта, формування складу його елементів. 2. Визначення зв'язків між виділеними частинами, розроблення структури об'єкта). Зауважимо, що оскільки динамічними, тобто змінюваними в часі, об'єктами можна подавати певні процеси та явища, то в загальному випадку під O розуміється також деякий процес або явище.

На рис. 2 показано граф, який є результатом третього етапу структурно-параметричної побудови об'єкта O . (3. Опрацювання порядку синтезу об'єкта,

формування його інтегральних параметрів і характеристик, забезпечення включення цієї моделі до складу геометричних та інших систем більш високого рівня)

Четвертий етап (4. Застосування наявних або створення нових математичних моделей для наявних елементів і зв'язків між ними) полягає в доповненні, на підставі використання принципу комплексного підходу, опрацьовуваної моделі описами інших дисциплін проєктованого об'єкта O .

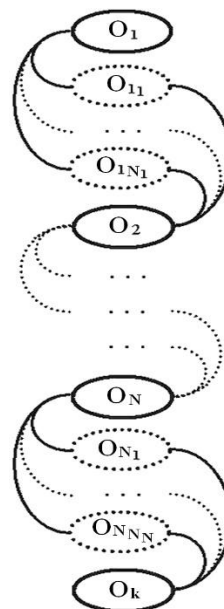


Рисунок 2 – Граф синтезу структурно-параметричного об'єкта O

Зазначимо, що в теорії структурно-параметричного геометричного моделювання застосовуються ще й такі принципи: системного підходу, варіантності, універсальності та уніфікації, відкритості та розвитку, інтеграції, динамічного формоутворення та оптимальності.

Граф рис. 2 відображує варіанти можливого синтезу об'єкта O . Згідно з формулою (1) вершинами цього графа є складові елементи цього об'єкта, а ребрами – моделі, що реалізують значення параметрів (3).

Як результат (див. рис. 1, в) маємо множину структурно-параметричних проєктних варіантів опрацьовуваного об'єкта O

$$O = (o_k)_1^{N_o}. \quad (5)$$

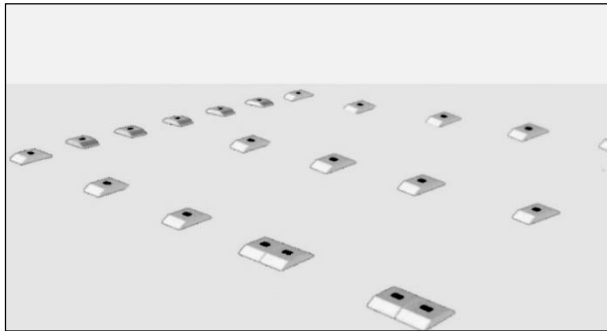
Заключний етап (5. Проведення оптимального формоутворення для визначених умов) полягає в організації пошуку оптимальних варіантів досліджуваного об'єкта. Ця задача розв'язується математичними методами оптимізації на графах.

На основі викладених теоретичних відомостей у галузі машинобудування виконано, зокрема, комп'ютерне варіантне структурно-параметричне

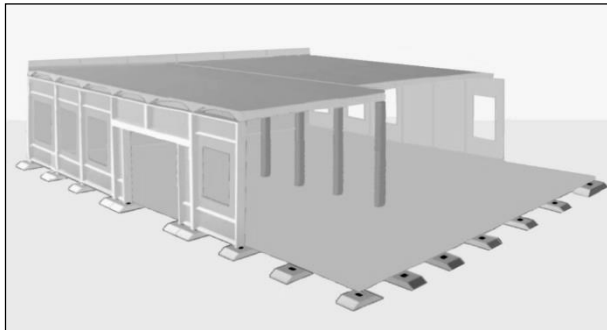
моделювання зовнішніх обводів агрегатів планера літака, опрацьовано конструкцію й технологію виготовлення відповідних вузлів [13; 15; 16].

Пропонованою публікацією поширюється розглянутий структурно-параметричний підхід на архітектурно-будівельне проектування в середовищі BIM-технологій. Підставою для цього є той факт, що варіантні динамічні процеси будівництва теж можна подавати згідно з проаналізованим вище порядком.

На рис. 3 показано фрагменти технологічного процесу зведення промислової будівлі, які включають встановлення її фундаменту (рис. 3, а), монтаж наземних конструкцій (рис. 3, б), будівлю після виконання оздоблювальних робіт (рис. 3, в). Зауважимо, що ці рисунки мають суто ілюстративний характер для запропонованої методики комп'ютерного варіантного архітектурно-будівельного проектування засобами BIM-технологій.



а



б



в

Рисунок 3 – Фрагменти процесу будівництва промислового об'єкта:

а – встановлення фундаменту; б – монтаж наземних конструкцій; в – завершена будівля

Як бачимо, етапи зведення будівлі можна формалізувати множинами вигляду (1) ... (5). Це стосується як усього технологічного процесу, що аналізується, так і окремих його складових. Наприклад, виконання земляних робіт, формування різних проектних варіантів фундаменту, конструкції та монтажу колон, балок і плит покриття, панелей стін, полів, вікон та дверей, покрівельних, штукатурних, облицювальних, малярних робіт і т. д.

Отже, під час практичної реалізації комп'ютерного варіантного архітектурно-будівельного моделювання на засадах структурно-параметричного формоутворення потрібно ретельно враховувати:

- фахову архітектурно-будівельну специфіку модельованих об'єктів;
- наявні математичні засоби структурно-параметричного проектування;
- наявні реальні можливості ефективного виконання двох наведених вище особливостей у конкретних застосовуваних CAD/CAM/CAE/PLM-системах (САПФІР, ArchiCAD, Allplan, Revit і т. д.).

На поточний момент, без проведення належних якісних досліджень щодо опрацювання зазначених трьох аспектів практичної реалізації структурно-параметричного підходу, здійснити успішне його впровадження в середовище BIM-технологій є доволі проблематичним. Окреслене протиріччя визначає напрями подальших розвідок у цій галузі науки та виробництва.

Висновки

У публікації виконано аналіз сучасного стану комп'ютерного будівельного моделювання, визначено деякі наявні проблеми. На основі цього сформульовано новий підхід для їх вирішення шляхом застосування методології структурно-параметричного формоутворення складних технічних об'єктів. Зокрема це стосується більш реалістичного відображення в комп'ютерних геометричних моделях, що охоплюють усі стадії життєвого циклу будівлі, динамічних процесів її спорудження. Подано відповідні теоретичні відомості у вигляді запропонованої нової концепції, розглянуто практичні приклади на базі напрацьованої методики моделювання. Показано її інваріантний характер, тобто можливість поширення на різноманітні промислові та цивільні будівлі як житлового, так і соціального призначення, інженерні споруди. Наведений матеріал допомагає розробляти нові способи, прийоми та алгоритми автоматизованого динамічного формоутворення будівельних об'єктів, виконувати їх структурно-параметричну оптимізацію, обґрунтовано визначати перспективні напрями для проведення подальших наукових досліджень.

Список літератури

1. Барабаш М.С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства: Монография. Киев: Издательство Сталь, 2014. – 301 с.
2. Барабаш М.С. Программные комплексы САПФИР и ЛИРА-САПР – основа отечественных BIM-технологий: Монография. Москва: Издательство Юрайт, 2013. – 366 с.
3. Городецкий А.С., Стрелец-Стрелецкий Е.Б., Журавлев А.В., Водопьянов Р.Ю. ЛИРА-САПР. Книга I. Основы. Издательство Liraland, 2019. – 154 с.
4. Ланцов А.Л. Компьютерное проектирование в архитектуре. ArchiCAD 11. Москва: ДМК-Пресс, 2009. – 800 с.
5. Некрасов А.В., Срыбных М.А. Allplan 2014. Первый проект от эскиза до презентации. Екатеринбург: Уралкомплект-наука, 2014. – 250 с.
6. Ланцов А.Л. Revit 2010: Компьютерное проектирование зданий. Архитектура. Инженерные сети. Несущие конструкции. Москва: Фойлис, 2009. – 628 с.
7. Aubin P.F. (2015). *The Aubin Academy Revit Architecture, covers Version 2016 and beyond*. Oak Lawn: G3B Press, 801 p.
8. Киевская Е.И., Барабаш М.С. Принципы параметрического моделирования строительных объектов. Современное строительство и архитектура. – 2016. – Вып. 1. – С. 16 – 22. doi: 10.18454/mca.2016.01.4.
9. Барабаш М.С., Київська К.І. Використання методів інтеграції для створення узагальненої інформаційної моделі будівельного об'єкта. Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 25. – С. 114 – 120.
10. Чернишев Д.О., Київська К.І., Цюцюра С.В., Цюцюра М.І., Гоц В.В. Впровадження технології моделювання інформаційних об'єктів на етапах життєвого циклу. Управління розвитком складних систем. – 2019. – № 40. – С. 140 – 146. doi: 10.6084/m9.figshare.11969076.
11. Терентьев О.О., Київська К.І., Доля О.В., Бородиня В.В. Розроблення програмного забезпечення підсистеми інтелектуальної інформаційної технології діагностики технічного стану екологічних будівель. Управління розвитком складних систем. – 2020. – № 41. – С. 101 – 108. doi: 10.32347/2412-9933.2020.41.101-108.
12. Ванін В.В., Вірченко Г.А. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання. Геометричне та комп'ютерне моделювання. – 2009. – Вип. 23. – С. 42 – 48.
13. Шамбина С.Л., Вірченко В.Г. Модульное вариантное геометрическое моделирование сложных технических объектов. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия инженерные исследования. – 2013. – № 2. – С. 5 – 8.
14. Вірченко С.Г. Застосування структурно-параметричного підходу для динамічного формування технічних об'єктів. Технічна естетика і дизайн. – 2017. – Вип. 13. – С. 47 – 51.
15. Вірченко С.Г. Деякі аспекти комп'ютерного динамічного геометричного моделювання процесів фрезерування. Сучасні проблеми моделювання. – 2017. – Вип. 10. – С. 31 – 35.
16. Vanin V., Virchenko G., Virchenko S., Nezenko A. Computer variant dynamic forming of technical objects on the example of the aircraft wing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – № 6/7 (90). – P. 67 – 73. doi: 10.15587/1729-4061.2017.117664.

Стаття надійшла до редколегії 30.04.2020

Regida Oleg

Postgraduate student, Department of Architectural Constructions, orcid.org/0000-0003-2193-3240
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

Tereschuk Mykola

Postgraduate student, Department of Architectural Constructions, orcid.org/0000-0002-4444-3677
Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv

SOME PROSPECTS FOR THE DEVELOPMENT OF MODERN COMPUTER CONSTRUCTION MODELING

Abstract. The article is devoted to the further development of automated architectural and construction design, namely, the improvement of its basic component such as computer parametric geometric modeling of the processed objects. It is shown that this issue is currently a topical scientific and applied problem, as it significantly affects the effectiveness of the practical work of many design organizations, largely determines the quality and economic performance in the entire construction industry. The publication analyzes the current relevant research, outlines some existing problems, and formulates a new approach for their successful solution. In particular, this applies to the need for a more realistic reflection in computer geometric models, which cover all stages of the life cycle of the building, the dynamic processes of its construction. To solve this problem, the principles of the concept of automated shaping, based on the methodology of structural-parametric geometric modeling, have been developed. The necessary theoretical information is given, the issues of their application in the field of construction and architecture are considered, the proposed design methodology is described. Emphasis is placed on its invariant nature in relation to the simulated objects and processes, the possibility of successful implementation in various modern computer information systems, which are open for users to write their own software applications. The latter allows you to productively adapt the existing computer-aided