

## ДО ПИТАННЯ РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДИК ТА АЛГОРИТМІВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ БУДІВЕЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ

*Нині у процесах архітектурно-будівельного проектування широко застосовуються комп'ютерні інформаційні технології, що реалізовані за допомогою CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing / Computer Aided Engineering) систем, таких як ArchiCAD, Allplan, Revit, САПФІР, ЛІРА-САПР і т. д. Зазначені засоби отримали узагальнену назву BIM (Building Information Modeling), що означає будівельне інформаційне моделювання. Одну з базових його складових становить комп'ютерна графіка, реалізована на основі параметричного геометричного моделювання, перспективним подальшим розвитком якого є структурно-параметричне формоутворення. Тому вдосконалення відповідних методів, способів, прийомів та алгоритмів вважається важливою науково-технічною проблемою.*

*BIM-технології суттєвим чином сприяють підвищенню продуктивності праці, якості результатів роботи багатьох будівельних проектних організацій. У публікації виконано аналіз теперішнього стану належних автоматизованих систем із метою врахування наявних вимог користувачів стосовно комп'ютерного формоутворення, визначено деякі актуальні задачі його покращення. Запропоновані нові алгоритми спрямовані на вирішення окреслених питань, поліпшення обчислювальної ефективності програмних засобів, забезпечення проведення оптимізації отримуваних інженерних розв'язків у певних техніко-економічних аспектах. Напрацьований математичний апарат характеризується універсальністю, тобто незалежністю від змісту конкретних виробничих завдань. У дослідженні подано відповідні приклади використання. Відкритість сучасних комп'ютерних інформаційних систем дозволяє користувачам створювати свої власні програмні додатки, які ефективно вирішують спеціалізовані задачі. Це забезпечує гнучку адаптацію існуючих автоматизованих систем архітектурно-будівельного проектування до вимог практики. Тому питання розроблення нових продуктивних алгоритмів комп'ютерного структурно-параметричного моделювання є доволі актуальним. У статті визначено деякі напрямки подальших наукових розвідок розглянутого плану.*

*Ключові слова: будівельні об'єкти, життєвий цикл, BIM-технології, структурно-параметричне моделювання.*

## К ВОПРОСУ РАЗРАБОТКИ МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Сейчас в процессах архитектурно-строительного проектирования широко применяются компьютерные информационные технологии, реализованные с помощью CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing / Computer Aided Engineering) систем, таких как ArchiCAD, Allplan, Revit, САПФІР, ЛІРА-САПР и т. д. Указанные средства получили обобщенное название BIM (Building Information Modeling), что означает строительное информационное моделирование. Одной из базовых его составляющих является компьютерная графика, реализованная на основе*

*параметрического геометрического моделирования, перспективным дальнейшим развитием которого есть структурно-параметрическое формообразование. Поэтому совершенствование соответствующих методов, способов, приемов и алгоритмов считается важной научно-технической проблемой.*

*ВІМ-технологии существенным образом способствуют повышению производительности труда, качества результатов работы многих строительных проектных организаций. В публикации выполнен анализ нынешнего состояния подлежащих автоматизированных систем с целью учета имеющихся требований пользователей относительно компьютерного формообразования, определены некоторые актуальные задачи по его улучшения. Предложенные новые алгоритмы направлены на решение указанных вопросов, улучшение вычислительной эффективности программных средств, обеспечение проведения оптимизации получаемых инженерных решений в определенных технико-экономических аспектах. Нарботанный математический аппарат характеризуется универсальностью, то есть независимостью от содержания конкретных производственных задач. В исследовании представлены соответствующие примеры использования. Открытость современных компьютерных информационных систем дает возможность пользователям создавать свои собственные программные приложения, которые эффективно решают специализированные задачи. Указанная особенность обеспечивает гибкую адаптацию существующих автоматизированных систем архитектурно-строительного проектирования к требованиям практики. Поэтому вопрос разработки новых производительных алгоритмов компьютерного структурно-параметрического моделирования является довольно актуальным. В статье определены некоторые направления дальнейших научных исследований рассматриваемого плана.*

*Ключевые слова: строительные объекты, жизненный цикл, ВІМ-технологии, структурно-параметрическое моделирование.*

O.V. REGIDA

Kyiv National University of Construction and Architecture

### **TO THE QUESTION OF THE DEVELOPMENT OF TECHNIQUES AND ALGORITHMS OF STRUCTURAL-PARAMETRIC MODELING OF BUILDING OBJECTS**

*At present, computer information technologies are widely used in architectural and construction design processes, which are implemented using CAD/CAM/CAE (Computer Aided Design / Computer Aided Manufacturing / Computer Aided Engineering) systems, such as ArchiCAD, Allplan, Revit, SAPPHIRE, LIRA-SAPR, etc. These tools received the generalized name BIM (Building Information Modeling), which means building information modeling. One of the main components of these programs is computer graphics, implemented on the basis of parametric geometric modeling. Structural-parametric shaping is its promising further development. Therefore, the improvement of relevant methods, techniques and algorithms is considered an important scientific and technical problem.*

*BIM-technologies significantly contribute to increasing labour productivity, the quality of the results of the work for many construction design organizations. The publication analyzes the current state of appropriate automated systems in order to take into account the existing requirements of users for computer design, identifies some urgent tasks for its improvement. The proposed new algorithms are aimed at solving the outlined issues, improving the computational efficiency of software, ensuring the optimization of the obtained engineering solutions in certain technical and economic aspects. The accumulated*

*mathematical apparatus is characterized by universality, i.e. independence from the content of specific production problems. The study presents relevant examples of its use. The openness of modern computer information systems allows users to create their own software applications that effectively solve specialized tasks. This provides a flexible adaptation of existing automated systems of architectural and construction design to the requirements of practice. Therefore, the question of developing new productive algorithms for computer structural-parametric modeling is quite relevant. The article identifies some directions of further scientific research in given area.*

*Keywords: construction objects, life cycle, BIM-technologies, structural-parametric modeling.*

### **Постановка проблеми**

Сучасне широке впровадження BIM-технологій у виробництво, з одного боку, сприяє суттєвому підвищенню продуктивності праці інженерів-проектувальників та якості результатів їх роботи, а з іншого, ставить актуальними задачі щодо ефективності використання самих цих засобів, їх подальшого вдосконалення. Окреслені завдання становлять важливу науково-прикладну проблему.

Успішно її вирішити можна застосуванням комплексного підходу до опрацювання математичного, інформаційного, методичного, програмного, технічного та інших забезпечень відповідних автоматизованих систем. Деяким аспектам перших трьох із наведених питань присвячено дану публікацію.

### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Провідну роль BIM-технологій протягом життєвого циклу будівельних об'єктів докладно обґрунтовано в монографії [1]. При цьому подано формування комп'ютерних інформаційних моделей будівель з урахуванням процесів їх спорудження, але тільки в аспекті змінювання напружено-деформованого стану конструкцій. Видання [2–6] описують можливості систем САПФР (Система Архітектурного Проектування, Формоутворення і Розрахунків), ЛПА-САПР, ArchiCAD, Allplan та Revit із точки зору реалізації параметричного моделювання будівельних об'єктів. У дослідженнях [7–10] наведено відомості стосовно структурно-параметричного формоутворення машинобудівної продукції. Виконаний аналіз наявних публікацій показав доцільність розповсюдження структурно-параметричного моделювання на будівельну галузь.

### **Мета дослідження**

Завдання статті полягає в розробці методики та деяких алгоритмів структурно-параметричного моделювання технологічних процесів, створенні належних елементів математичного, інформаційного та методичного забезпечення систем автоматизованого архітектурно-будівельного проектування.

### **Викладення основного матеріалу дослідження**

Відповідно до праць [7–10] структурно-параметрична модель деякого довільного об'єкта  $O$  визначається множиною:

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

де  $o_i$  – його елементи,  
 $N$  – їх число.

*Зауваження.* Оскільки динамічним, тобто змінюваним у часі, об'єктом  $O$  можна відтворювати процеси та явища, то, в загальному випадку, під позначенням  $O$  маються

на увазі як об'єкти, так і процеси та явища.

Проектні варіанти  $o_i$  визначаються кортежем:

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

де  $N_i$  – їх кількість,  
та векторами параметрів:

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

де  $N_{p_{ij}}$  – число параметрів  $j$ -го варіанта  $i$ -ї складової об'єкта  $O$ .

Структурні взаємозв'язки між різновидами  $n$ -го та  $m$ -го елементів відтворюють матриці суміжності:

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

де  $c_{nr}c_{ms}=1$  при взаємодії  $o_{nr}$  та  $o_{ms}$ ,  $c_{nr}c_{ms}=0$  – у протилежному випадку.

На підставі наведених формул маємо множину структурно-параметричних проектних варіантів об'єкта  $O$ :

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

Графові моделі для виразів (1) ... (5) зображено на рис. 1.

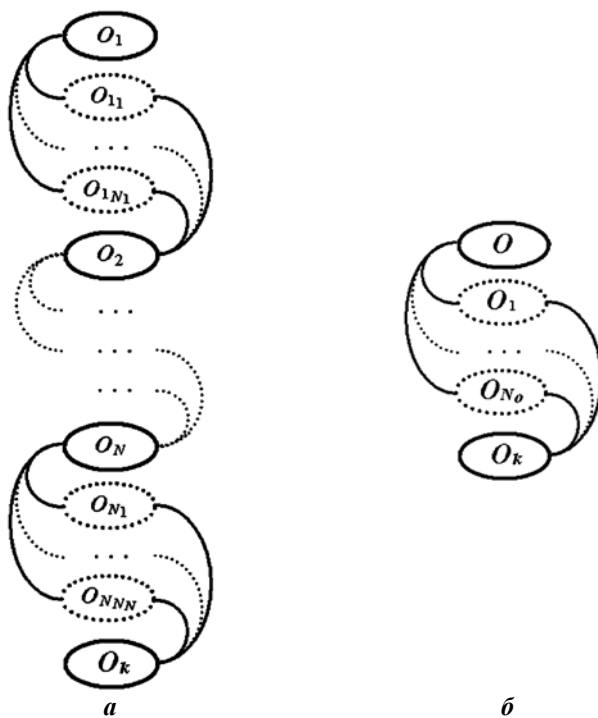


Рис. 1. Структурно-параметрична модель об'єкта  $O$ :  
а – граф структури; б – граф варіантів.

У дослідженнях [9, 10] описано структурно-параметричне моделювання виробів

машинобудування та належні алгоритми [10, 11], що дозволяють, зокрема, визначати число варіантів  $No$  об'єкта  $O$ , їх склад, знаходити екстремальні ланцюги в показаному на рис. 1,  $a$  графі і т. д.

Розглянемо запропоновану методику використання проаналізованого математичного апарату для будівельних об'єктів. Нехай для кухні та санітарного вузла (ванної кімнати і вбиральні) одноквартирного житлового будинку потрібно опрацювати варіанти опоряджувальних робіт (штукатурення, облицювання та фарбування).

Визначаємо модельовані опоряджувальні роботи:

$$OP = (OP_i)_1^{N_{OP}} = (OP_1, OP_2, OP_3), \quad (6)$$

де  $OP_1 = \{\text{Штукатурення}\} = \{\text{ШТК}\}$ ,  
 $OP_2 = \{\text{Облицювання}\} = \{\text{ОБЛ}\}$ ,  
 $OP_3 = \{\text{Фарбування}\} = \{\text{ФРБ}\}$ .

Формуємо склад елементів (6) та їх структуру:

$$\text{ШТК} = (\text{ШТК}_i)_1^{N_{\text{ШТК}}} = (\text{ШТК}_1, \text{ШТК}_2), \quad (7, a)$$

де  $\text{ШТК}_1 = \{\text{Мокре}\} = \{\text{ШМ}\}$ ,  
 $\text{ШТК}_2 = \{\text{Сухе}\} = \{\text{ШС}\}$ ,

$$\text{ШМ} = (\text{ШМ}_i)_1^{N_{\text{ШМ}}} = (\text{ШМ}_1, \text{ШМ}_2), \quad (7, б)$$

$\text{ШМ}_1 = \{\text{Одношарове}\} = \{\text{ШМО}\}$ ,  
 $\text{ШМ}_2 = \{\text{Багатошарове}\} = \{\text{ШМБ}\}$ ,  
 $\text{ШМБ} = (\text{ШМБ}_i)_1^{N_{\text{ШМБ}}} = (\text{ШМБ}_1, \text{ШМБ}_2, \text{ШМБ}_3) = (\text{Просте}, \text{Полішене}, \text{Високоякісне})$ ,

$$\text{ШС} = (\text{ШС}_i)_1^{N_{\text{ШС}}} = (\text{ШС}_1, \text{ШС}_2), \quad (7, в)$$

$\text{ШС}_1 = \{\text{Безкаркасне}\} = \{\text{ШСБ}\}$ ,  
 $\text{ШС}_2 = \{\text{Каркасне}\} = \{\text{ШСК}\}$ ;

$$\text{ОБЛ} = (\text{ОБЛ}_i)_1^{N_{\text{ОБЛ}}} = (\text{ОБЛ}_1), \quad (8)$$

де  $\text{ОБЛ}_1 = \{\text{Керамічною плиткою}\} = \{\text{ОБЛКП}\}$ ;

$$\text{ФРБ} = (\text{ФРБ}_i)_1^{N_{\text{ФРБ}}} = (\text{ФРБ}_1), \quad (9)$$

де  $\text{ФРБ}_1 = \{\text{Водними фарбами}\} = \{\text{ФВД}\}$ ,  
 $\text{ФВД} = (\text{ФВД}_i)_1^{N_{\text{ФВД}}} = (\text{ФВД}_1, \text{ФВД}_2, \text{ФВД}_3) = (\text{Клейовими}, \text{Ванярними}, \text{Емульсійними})$ .

Наведені роботи виконуються на завершальному етапі зведення будинку для забезпечення необхідних естетичних і санітарно-гігієнічних вимог. У даному випадку полягають у покритті частини стінових конструкцій кухні мокрою чи сухою штукатуркою (гіпсокартонними листами), облицюванні стін ванної кімнати, вбиральні та решти стін кухні керамічною плиткою, фарбуванні оштукатурених стін кухні.

Згідно з виразами (7,  $a$ ) ... (7,  $в$ ) маємо структурні варіанти штукатурення кухні:

$$ШМ_{КУХ} = (ШМ_{КУХ_i})_1^{N_{ШМ_{КУХ}}} = (ШМ_{КУХ_i})_1^4, ШС_{КУХ} = (ШС_{КУХ_i})_1^{N_{ШС_{КУХ}}} = (ШС_{КУХ_i})_1^2. \quad (10)$$

Відповідно до множини (8) облицювання ванної, вбиральні та кухні реалізується кортежами:

$$ОБЛ_{ВАН} = (ОБЛ_{ВАН_i})_1^{N_{ОБЛ_{ВАН}}} = (ОБЛ_{ВАН_i})_1^{10}, ОБЛ_{ВБР} = (ОБЛ_{ВБР_i})_1^{N_{ОБЛ_{ВБР}}} = (ОБЛ_{ВБР_i})_1^{10},$$

$$ОБЛ_{КУХ} = (ОБЛ_{КУХ_i})_1^{N_{ОБЛ_{КУХ}}} = (ОБЛ_{КУХ_i})_1^{10}. \quad (11)$$

Згідно з вектором (9) фарбування кухні:

$$ФРБ_{КУХ} = (ФРБ_{КУХ_i})_1^{N_{ФРБ_{КУХ}}} = (ФРБ_{КУХ_i})_1^{10}. \quad (12)$$

За аналогією з множиною (5) отримуємо:

$$ОР = (ОР_k)_1^{N_{ОР}}. \quad (13)$$

Залежності (6) ... (13) відображають аналіз процесу життєвого циклу будівельного об'єкта в аспекті ВІМ-технологій, формування складу елементів і зв'язків між ними, тобто наведеної на рис. 2 інформаційної моделі.

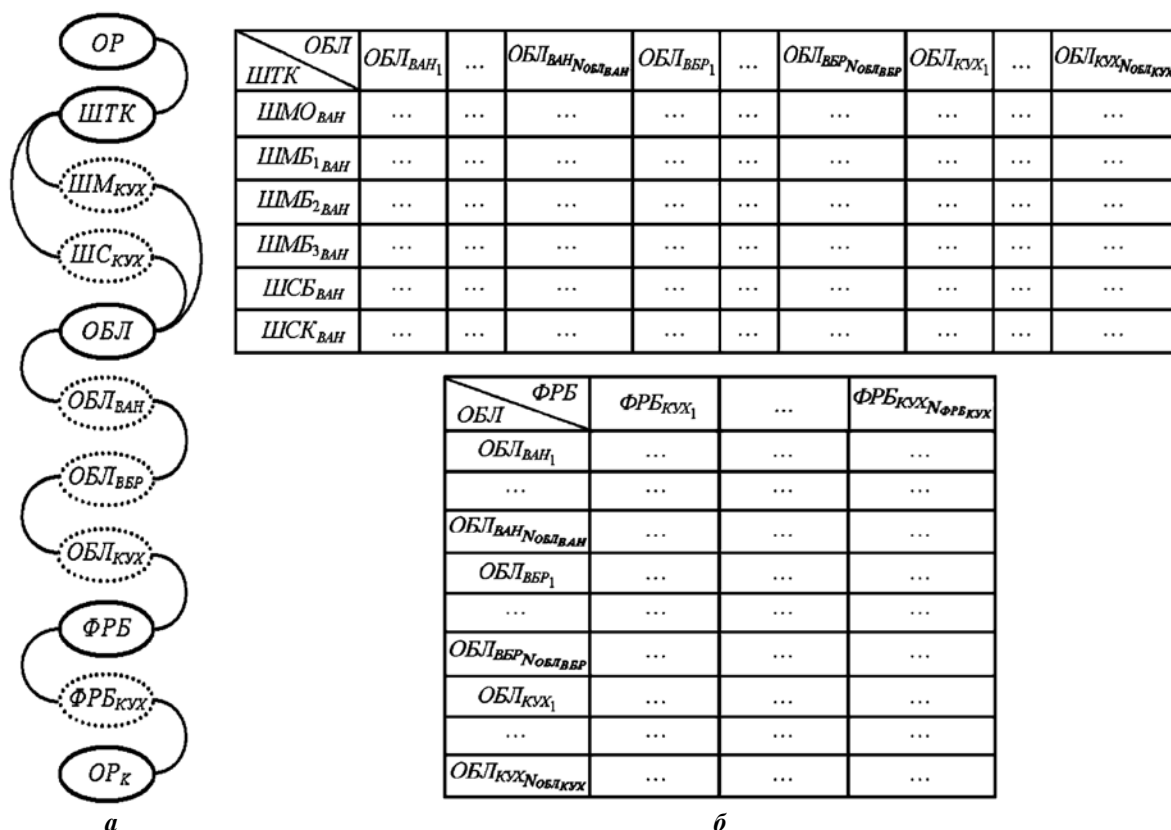


Рис. 2. Структурно-параметрична модель опоряджувальних робіт: а – граф структури; б – матриці суміжності варіантів елементів.

Показана на рис. 2 структурно-параметрична модель визначає порядок виконання розглянутих опоряджувальних робіт, формування їх інтегральних параметрів і характеристик, забезпечення включення в подібному до рис. 1, б вигляді

до складу систем більш високого рівня. Ребра її графа кратні, оскільки можуть одночасно відтворювати кілька проектних параметрів і характеристик, наприклад, вподобання замовників, потребу в матеріалах, трудомісткість, тривалість робіт, їх вартість і т. д., що розраховуються з використанням описів різноманітних інших дисциплін, таких як технологія будівництва, економіка і т. д.

Подамо деякі міркування стосовно дефініції оптимальних варіантів опрацьовуваних робіт. Ця задача для продукції машинобудування [11] розв'язується, зокрема, методом індексації вершин графа структурно-параметричної моделі. Зазначений підхід гарантує визначення екстремальних, тобто мінімальних або максимальних, ланцюгів графа, які сполучають його початкову та кінцеву вершину. Головним недоліком є велике число елементів кортежів індексів у вершинах графа. Наприклад, якщо всі комірочки матриць суміжності рис. 2, *б* є одиницями (відповідає найбільшій кількості варіантів), то у вершині *ФРБ* буде 10 компонентів кортежу індексів, в *ОБЛ* – 10 тис., *ШТК* – 60 тис. Звісно, це граничний випадок. Однак, навіть при зменшенні числа досліджуваних різновидів у виразах (10) ... (12) вдвічі, маємо для вершини *ФРБ* – 5 компонентів кортежу індексів, *ОБЛ* – 625, *ШТК* – 1875.

Коли вибір варіантів у вершині графа структурно-параметричної моделі та величини їх характеристик не залежать від попередніх даних, що відповідає проаналізованому випадку опоряджувальних робіт, то пропонується така модифікація методу індексації вершин.

У передостанній вершині графа формується кортеж із векторами-трійками, які містять довжину ребра графа, що відповідає значенню характеристики, яка оптимізується, належні номери варіанта поточної та наступної вершини з матриць суміжності. Кортеж індексів упорядковується за значеннями перших компонентів векторів. За потреби зменшення числа опрацьовуваних варіантів, без втрати оптимальних із них, скорочується частина неперспективних індексів. Далі формується аналогічний кортеж індексів попередньої вершини додаванням до упорядкованих його компонентів нових, що отримані опрацюванням декартового добутку початкового кортежу поточної вершини та кортежу наступної вершини шляхом підсумовування належних величин довжин ребер. Можливе зменшення числа опрацьовуваних варіантів здійснюється описаним вище прийомом. Виконання алгоритму закінчується в першій вершині структурно-параметричної моделі. Викладення конкретних результатів його роботи становить перспективний матеріал для подальшої публікації.

### Висновки

У статті запропоновано методику та алгоритми структурно-параметричного моделювання виробничих процесів, що дозволяє підвищувати ефективність математичного, інформаційного і програмного забезпечення систем автоматизованого проектування в будівництві.

### Список використаної 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. Ланцов А. Л. Компьютерное проектирование в архитектуре. ArchiCAD 11. Москва: ДМК-Пресс, 2009. 800 с.
4. Некрасов А. В., Срыбных М. А. Allplan 2014. Первый проект от эскиза до презентации. Екатеринбург: Уралкомплект-наука, 2014. 250 с.



5. Aubin P. F. The Aubin Academy Revit Architecture, covers Version 2016 and beyond. Oak Lawn: G3B Press, 2015. 801 p.
6. Киевская Е. И., Барабаш М. С. Принципы параметрического моделирования строительных объектов. *Современное строительство и архитектура*. 2016. Вып. 1. С. 16–22.
7. 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.
8. Вірченко С. Г. Застосування структурно-параметричного підходу для динамічного формоутворення технічних об'єктів. *Технічна естетика і дизайн*. 2017. Вип. 13. С. 47–51.
9. 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.
10. Вірченко Г. А. Узагальнення структурно-параметричного підходу до геометричного моделювання об'єктів машинобудування: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.01.01. Київ: Політехніка, 2011. 41 с.
11. Ванін В. В., Вірченко Г. А., Ванін І. В. Деякі питання розробки обчислювальних алгоритмів структурно-параметричного-моделювання складних геометричних об'єктів. *Прикладна геометрія та інженерна графіка*. 2006. Вип. 76. С. 17–23.

#### References

1. Barabash, M. S. (2014). *Kompyuternoe modelirovanie protsessov zhiznennogo tsikla ob'ektov stroitelstva*: Monografiya. Kiev: Izdatelstvo Stal.
2. Barabash, M. S. (2013). *Programmnyie kompleksyi SAPFIR i LIRA-SAPR – osnova otechestvennyih BIM-tehnologiy*: Monografiya. Moskva: Izdatelstvo Yurayt.
3. Lantsov, A. L. (2009). *Kompyuternoe proektirovanie v arhitekture*. ArchiCAD 11. Moskva: DMK-Press.
4. Nekrasov, A. V., & Sryibnyih, M. A. (2014). *Allplan 2014. Pervyyi proekt ot eskiza do prezentatsii*. Ekaterinburg: Uralkomplekt-nauka.
5. Aubin, P. F. (2015). *The Aubin Academy Revit Architecture, covers Version 2016 and beyond*. Oak Lawn: G3B Press.
6. Kievskaya, E. I., & Barabash, M. S. (2016). Printsipyi parametricheskogo modelirovaniya stroitelnykh ob'ektov. *Sovremennoe stroitelstvo i arhitektura*. **1**, 16–22.
7. Vanin, V. V., & Virchenko, G. A. (2009). Vyznachennia ta osnovni polozhennia struktorno-parametrychnoho heometrychnoho modeliuвання. *Heometrychne ta kompiuterne modeliuвання*. **23**, 42–48.
8. Virchenko, S. G. (2017). Zastosuvannia struktorno-parametrychnoho pidkhodu dlia dynamichnogo formoutvorennia tekhnichnykh ob'ektiv. *Tekhnichna estetyka i dizain*, **13**, 47–51.
9. Vanin, V., Virchenko, G., Virchenko, S., & Nezenko, A. (2017). Computer variant dynamic forming of technical objects on the example of the aircraft wing. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, **6/7 (90)**, 67–73.
10. Virchenko, G. A. (2011). Uzahalnennia struktorno-parametrychnoho pidkhodu do heometrychnoho modeliuвання ob'ektiv mashynobuduvannia: avtoref. dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.01.01. Kyiv, Politekhnikha.
11. Vanin, V. V., Virchenko, G. A., & Vanin, I. V. (2006). Deiaki pytannia rozrobky obchysluvalnykh alhorytmiv struktorno-parametrychnoho-modeliuвання skladnykh heometrychnykh ob'ektiv. *Prykladna heometriia ta inzhenerna hrafika*. **76**, 17–23.



Регіда Олег Віталійович – аспірант кафедри архітектурних конструкцій Київського національного університету будівництва і архітектури, e-mail: regidatatyana@gmail.com. ORCID: 0000-0003-2193-3240.