

## **СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНЕ ГЕОМЕТРИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ОПОРЯДЖУВАЛЬНИХ РОБІТ ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ САДИБНОГО ТИПУ**

*Нині доволі популярні одноквартирні малоповерхові будинки садибного типу, розташовані на окремих земельних ділянках і призначені для літнього використання. Це пов'язано з розширенням у ринкових умовах приватного будівництва, з прагненням людей у вільний час бути ближче до природи.*

*На практиці для замовників дуже важливим є максимальне врахування у створюваних архітектурних формах їх персональних побажань, які обмежуються лише відповідними фінансовими можливостями. Для проєктувальників описані обставини породжують необхідність проведення варіантних багатокритеріальних оптимальних модифікацій опрацьовуваних об'єктів, що становить певну проблему. Успішному її вирішенню сприяють BIM (Building Information Modeling) технології, тобто засоби автоматизованого інформаційного будівельного моделювання. Прикладами таких систем слугують вітчизняні САПФІР і ЛІРА-САПР, закордонні ArchiCAD, Allplan, Revit тощо, які підвищують якість проєктування, спорудження та експлуатації архітектурних об'єктів, зменшують витрати протягом усього їх життєвого циклу.*

*Це значною мірою досягається завдяки гнучкому, реалістичному і продуктивному комп'ютерному параметричному твердотільному формоутворенню елементів будівельних конструкцій. У багатьох дослідженнях обґрунтовуються переваги викладеного підходу, удосконалюються належні методи, способи, прийоми та алгоритми. Нині школа прикладної геометрії Київського національного університету будівництва і архітектури теж приділяє гідну увагу проаналізованим питанням. Так, зокрема, виконано ряд публікацій стосовно покращення поданої методології шляхом її узагальнення до структурно-параметричного геометричного моделювання. Останнє полягає у здійсненні комплексного, тобто в аспектах кількох дисциплін, наприклад, архітектури, конструкції, технології, експлуатації, економіки тощо, та інтегрального, тобто протягом усього життєвого циклу, оптимального проєктування технічного об'єкта завдяки ефективному поєднанню поміж собою кількох його варіантних параметричних моделей.*

*Стаття базується на раніш опублікованих працях за участю автора, присвячених методологічним і математичним основам структурно-параметричного формоутворення в будівництві, містить їх практичну реалізацію в системі Revit на прикладі опоряджувальних робіт житлового будинку садибного типу.*

*Ключові слова: будинок садибного типу; опоряджувальні роботи; структурно-параметрична геометрична модель; BIM-технології.*

## **СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТДЕЛОЧНЫХ РАБОТ ЖИЛОГО ДОМА УСАДЕБНОГО ТИПА**

*Сейчас довольно популярны одноквартирные малоэтажные дома усадебного типа, расположенные на отдельных земельных участках и предназначенные для*

летнего использования. Это связано с расширением в рыночных условиях частного строительства, стремлением людей в свободное время быть ближе к природе.

На практике для заказчиков очень важным является максимальный учет в создаваемых архитектурных формах их персональных пожеланий, которые ограничены только соответствующими финансовыми возможностями. Для проектировщиков описанные обстоятельства порождают необходимость проведения вариантных многокритериальных оптимальных модификаций технических объектов, что составляет определенную проблему. Успешному ее решению способствуют BIM (Building Information Modeling) технологии, то есть автоматизированное информационное строительное моделирование. Примерами таких систем служат отечественные САПФИР и ЛИРА-САПР, зарубежные ArchiCAD, Allplan, Revit и т. д., которые повышают качество проектирования, возведения и эксплуатации архитектурных объектов, уменьшают расходы в течение всего их жизненного цикла.

Это в значительной степени достигается благодаря гибкому, реалистическому и продуктивному компьютерному параметрическому твердотельному формообразованию элементов строительных конструкций. Во многих исследованиях обосновываются преимущества изложенного подхода, совершенствуются надлежащие методы, способы, приемы и алгоритмы. Сейчас школа прикладной геометрии Киевского национального университета строительства и архитектуры уделяет должное внимание проанализированным вопросам. Так, в частности, выполнен ряд публикаций по улучшению представленной методологии путем ее обобщения до структурно-параметрического геометрического моделирования. Последнее заключается в осуществлении комплексного, т. е. в аспектах нескольких дисциплин, и интегрального, т. е. на протяжении всего жизненного цикла, оптимального проектирования технического объекта благодаря эффективному объединению между собой нескольких его вариантных параметрических моделей.

Статья базируется на ранее опубликованных работах с участием автора, посвященных методологическим и математическим основам структурно-параметрического формообразования в строительстве, содержит их практическую реализацию в системе Revit на примере отделочных работ дома усадебного типа.

Ключевые слова: дом усадебного типа, отделочные работы, структурно-параметрическая геометрическая модель, BIM-технологии.

O.V. REGIDA

Kyiv National University of Construction and Architecture

## **STRUCTURAL-PARAMETRIC GEOMETRIC MODELING OF THE FINISHING CONSTRUCTION WORKS OF THE MANOR-TYPE HOUSES**

*One-apartment low-rise manor houses located on separate plots of land and intended for summer use, are very popular today. This is due to the expansion of private construction in market conditions, the wish of people to be closer to nature in their free time.*

*The desire of many customers of architectural forms to take into account their personal requirements, which are limited only by the relevant financial capabilities, is particularly important. The described circumstances require designers to carry out multi-criteria optimal modifications of the processed objects. This is a certain problem. BIM (Building Information Modeling) technologies, i.e. means of automated building information modeling, contribute to its successful solution. Examples of such systems are domestic SAPFIR and LIRA-SAPR, foreign ArchiCAD, Allplan, Revit, etc., which improve the quality of design, construction and operation of architectural objects, reduce costs throughout their entire life cycle.*

*Flexible, realistic and productive computer parametric solid-state shaping of building structures ensures the achievement of this goal. Many scientific researches substantiate the advantages of the described approach and make better its methods, techniques and algorithms. Now the School of Applied Geometry of the Kyiv National University of Construction and Architecture also pays appropriate attention to the analyzed issues. So, in particular, a number of publications have been made to improve the presented methodology by generalizing it to structural-parametric geometric modeling. The latter consists in the implementation of a comprehensive, i.e. in the aspect of several disciplines, for example, such as architecture, construction, technology, operation, economics, etc., and integrated, i.e. throughout the entire life cycle, optimal design of a technical object due to an effective combination of several its variant parametric models.*

*The article is based on previously published works with the author's participation, devoted to the methodological and mathematical foundations of structural-parametric shaping in construction, contains their real practical implementation in the Revit system on the example of finishing works of a manor-type house.*

*Keywords: manor-type house, finishing works, structural-parametric geometric model, BIM-technologies.*

### **Постановка проблеми**

У наш ринковий час доволі популярні одноквартирні малоповерхові будинки садибного типу, розташовані у приміській або сільській місцевості, які використовуються для проживання влітку. Важливою особливістю їх розроблення є максимальне врахування побажань замовників стосовно створюваних для них об'єктів. Це спонукає проєктувальників до повторюваних варіантних багатокритеріальних оптимальних модифікацій опрацьовуваних будинків, що становить певну проблему. Успішному її вирішенню сприяють BIM-технології (Building Information Modeling), тобто автоматизоване інформаційне будівельне моделювання. Прикладами таких систем слугують вітчизняні САПФІР і ЛІРА-САПР, закордонні ArchiCAD, Allplan, Revit тощо, які підвищують якість проєктування, спорудження та експлуатації архітектурних об'єктів, зменшують витрати протягом усього їх життєвого циклу.

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

Застосування комп'ютерного моделювання в будівництві докладно розглянуто в монографії [1]. Публікації [2–5] присвячено опису відповідних можливостей автоматизованих систем САПФІР, ЛІРА-САПР, ArchiCAD, Allplan та Revit. У дослідженні [6] обґрунтовано базову роль параметричного формоутворення для підвищення ефективності BIM-технологій. Здійснено комп'ютерне ескізне проєктування одноквартирного мансардного будинку садибного типу, визначено необхідні плани поверхів, фасади, реалізовано параметричне твердотільне геометричне моделювання елементів конструкції. Викладено методику комплексного врахування різноманітних вимог до технічних об'єктів протягом усього їх життєвого циклу. Висвітлено деякі проблемні питання, зокрема, відсутність у сучасних комп'ютерних інформаційних системах засобів для оцінки функціональної ефективності виконуваних користувачами варіювань параметрів. Тобто, внаслідок існуючих протиріч між архітектурою, технологією, експлуатацією, економікою тощо, отримувані нові варіанти опрацьовуваного будинку досить часто в комплексному інтегральному плані будуть гіршими за попередні. Це недоцільно для автоматизованого проєктування. Зазначено, що окреслена актуальна задача потребує свого наукового розв'язання. У виданні [7] сформульовано новий підхід до моделювання будівельних об'єктів і процесів на основі використання методології структурно-параметричного формоутворення, наведено

відповідну концепцію. На підставі цього в публікації [8] запропоновано інваріантну методику, прийоми та алгоритми архітектурного проектування, які проілюстровано на прикладі опоряджувальних робіт одноквартирного житлового будинку.

### Мета дослідження

Завдання статті полягає в поданні комп'ютерної структурно-параметричної геометричної моделі опоряджувальних робіт будинку садибного типу, що створена в інтегрованому середовищі систем Autodesk Revit і Microsoft Excel із застосуванням додаткових програмних засобів, що дозволяють користувачам реалізовувати свої власні алгоритми автоматизованого проектування.

### Викладення основного матеріалу дослідження

Загальний вид опрацьовуваного житлового будинку показано на рис. 1, а; план першого поверху – на рис. 1, б.

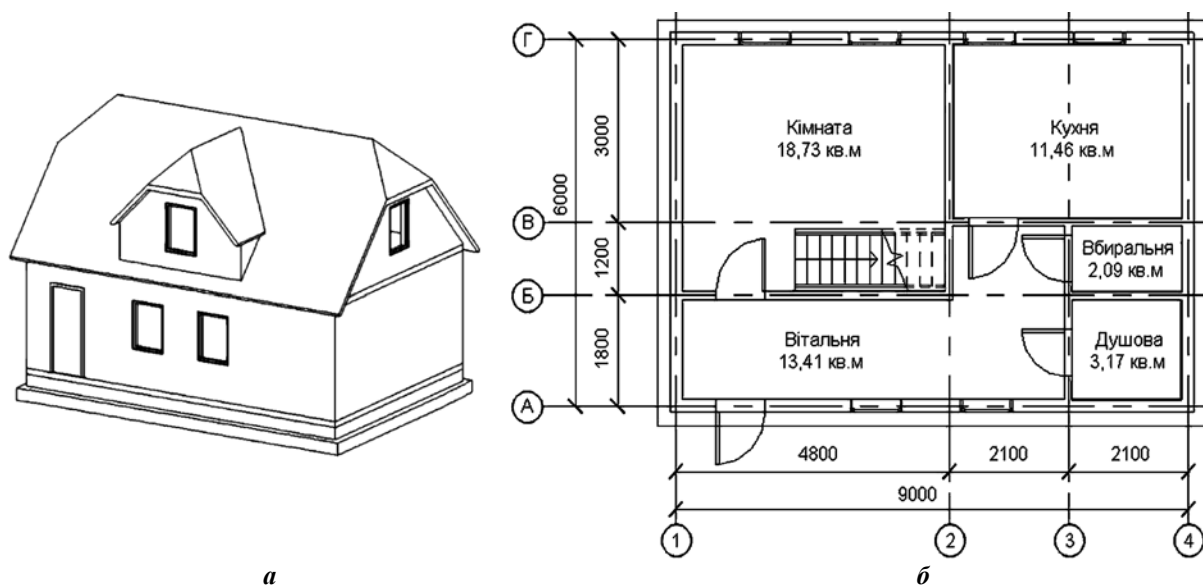


Рис. 1. Житловий будинок садибного типу:  
а – аксонометричний вид; б – план першого поверху.

Граф проаналізованої в дослідженні [8] структурно-параметричної геометричної моделі опоряджувальних робіт стін кухні та санітарного вузла (душової і вбиральні) зображено на рис. 2, а; один із варіантів їх виконання – на рис. 2, б.

Опоряджувальні роботи визначаються множиною:

$$OP = (OP_i)_1^{N_{op}} = (\text{Штукатурення, Облицювання, Фарбування}) = (\text{ШТК, ОБЛ, ФРБ}). \quad (1)$$

Структура складових (1):

$$\text{ШТК} = (\text{ШТК}_i)_1^{N_{штк}} = (\text{Мокре}) = (\text{ШМ}), \quad (2)$$

де ШМ =  $(\text{ШМ}_i)_1^{N_{шм}}$  = (Просте, Поліпшене, Високоякісне);

$$\text{ОБЛ} = (\text{ОБЛ}_i)_1^{N_{обл}} = (\text{Керамічною плиткою}), \quad (3)$$

$$\PhiРБ = (\PhiРБ_i)_1^{N_{\PhiРБ}} = (\text{Водне емульсійне поліпшене}). \quad (4)$$

Згідно з виразами (2) ... (4) отримуємо кортеж проектних варіантів опоряджувальних робіт:

$$OP = (OP_k)_1^{N_{OP}}, \quad (5)$$

які відтворює показана на рис. 2, а структурно-параметрична геометрична модель.

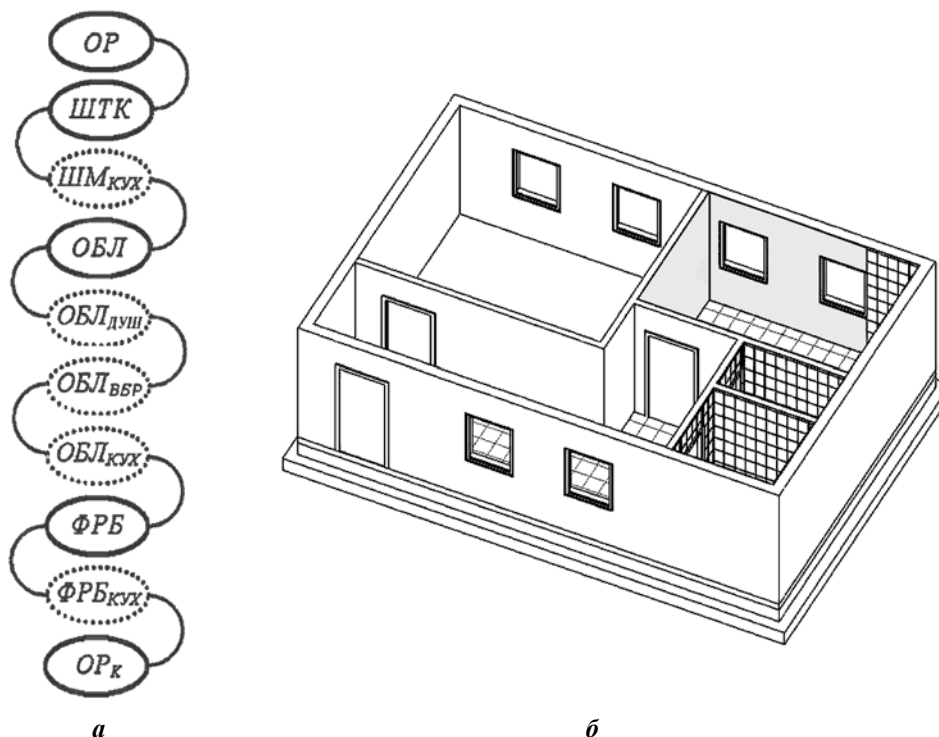


Рис. 2. Опоряджувальні роботи стін кухні та санітарного вузла:  
а – граф моделі; б – поточний варіант.

Роботи (5) проводяться на завершальному етапі зведення будинку з метою реалізації належних санітарно-гігієнічних та естетичних вимог. Полягають у покритті частини стінових конструкцій кухні мокрою штукатуркою, облицюванні стін душової, вбиральні, решти стін кухні керамічною плиткою, фарбуванні оштукатурених стін кухні. Порядок здійснення робіт відповідає рис. 2, а; комп'ютерне моделювання яких виконується наступним чином.

У Microsoft Excel формується база даних норм матеріальних, трудових, фінансових витрат та вподобань замовників щодо опоряджувальних робіт, фрагменти якої наведені на рис. 3. На її підставі за отриманою з Autodesk Revit за допомогою програмного пакета Dynamo інформацією про опрацьовувані площі стін кухні, душової, вбиральні, розміри застосованої керамічної плитки і т. д., обчислюються довжини кратних ребер мультиграфа, зображеного на рис. 2, а. Це можуть бути вартість матеріалів, трудомісткість робіт, сумарні фінансові витрати, значення спеціалізованих цільових функцій оптимізації, які компромісно враховують, наприклад, фінансові витрати та вподобання замовників тощо. Подальше визначення раціональних проектних варіантів опоряджувальних робіт реалізується за методикою та алгоритмами, викладеними в публікації [8].

Штукатурення мокре							
№	Вид	Одиниця виміру	Матеріал		Праця		Уподобання
			Витрати	Вартість	Витрати	Вартість	замовників
			розчин, кг	грн.	люд.-год.	грн.	%
1	Просте, товщина 5 мм	1 кв. м поверхні	9	12	0,8	54	60
2	Поліпшене, товщина 7 мм		12,8	18	1,2	90	80
3	Високоякісне, товщина 12 мм		22	32	1,8	150	70

*a*

Облицювання керамічною плиткою										
№	Плитка	Одиниця виміру	Матеріал				Праця		Уподобання	
			Довжина	Висота	Вартість	Витрати	Вартість	Витрати	Вартість	замовників
			мм	мм	грн.	розчин, кг	грн.	люд.-год.	грн.	%
1	Golden Tile, біла, моноколор	1 кв. м поверхні	200	300	170	12	35	2	210	80
2	Golden Tile, бежева, камінь		200	300	150	12	35	2	210	80
3	АТЕМ, бежева, бетон		200	300	180	12	35	2	210	0
4	Golden Tile, світло-блакитна, мрамор		200	300	190	12	35	2	210	90
5	Golden Tile, зелена, штукатурка		200	300	160	12	35	2	210	60

*b*

Фарбування водне емульсійне поліпшене								
№	Фарба	Одиниця виміру	Матеріал			Праця		Уподобання
			Витрати	Ємність	Вартість	Витрати	Вартість	замовників
			кг	кг	грн./ємн.	люд.-год.	грн.	%
1	Farbex, акрилова	1 кв. м поверхні	0,2	1,4	90	0,2	25	70
2	Siltek, латексна		0,15	1,35	155	0,2	25	70
3	Ceresit, латексна		0,2	4,35	465	0,2	25	0
4	EcoCristal, латексна		0,15	1,35	150	0,2	25	70
5	Alpina, акрилова		0,2	1,5	170	0,2	25	60

*в*

**Рис. 3. Фрагменти бази даних у Microsoft Excel норм матеріальних, трудових, фінансових витрат та вподобань замовників для опоряджувальних робіт стін: *a* – штукатурення; *b* – облицювання керамічною плиткою; *в* – фарбування.**

Подані вище норми штукатурних робіт, крім таких їх основних складових як провішування поверхонь, нанесення набризку, ґрунту з розрівнюванням, накривного шару, затирання, оброблення кутів, також враховують очищення поверхонь, їх змочування, перелопачування розчину, переміщення матеріалів тощо. Подібний докладний зміст характерний і для норм облицювання керамічною плиткою та фарбування, але на цьому зупинятися більш не будемо.

Дані про вартість матеріалів та оплату праці мають ілюстративний характер, оскільки в ринкових умовах постійно змінюються, залежать від регіону будівництва, часу здійснення і т. д. Наведені величини враховують витрати на доставляння матеріалів, використання технологічного обладнання, оснащення та інструменту, податкові відрахування тощо. За потреби гнучко й оперативно можуть змінюватися користувачами автоматизованої системи.

Стовпець із процентом уподобань замовників дозволяє формально оцінити їх побажання. Нульове значення свідчить про відмову від застосування даного елемента опоряджувальних робіт.

Особливість обчислення кількості та вартості керамічної плитки полягає в тому, що розраховану за площею стін її величину варто збільшувати на певний процент, наприклад 2 ... 10 %, але не менш ніж на 5 ... 10 штук. Це дозволяє мати резерв для подолання непередбачуваних виробничих випадків і подальшої експлуатації будинку. Для фарби характерне постачання в ємностях, на що обов'язково необхідно зважати

при визначенні належних їй обсягів та вартості. Оскільки площі душової і вбиральні менші за 5 кв. м, то подані в базі даних величини трудомісткості збільшуються на 20 відсотків.

Можливість використання проаналізованої комп'ютерної твердотільної структурно-параметричної моделі для динамічного, тобто в часі, відображення будівельних процесів показано рис. 4, де приведено деякі стадії виконання розглянутих опоряджувальних робіт. Завершальний їх вигляд містить рис. 2, б.

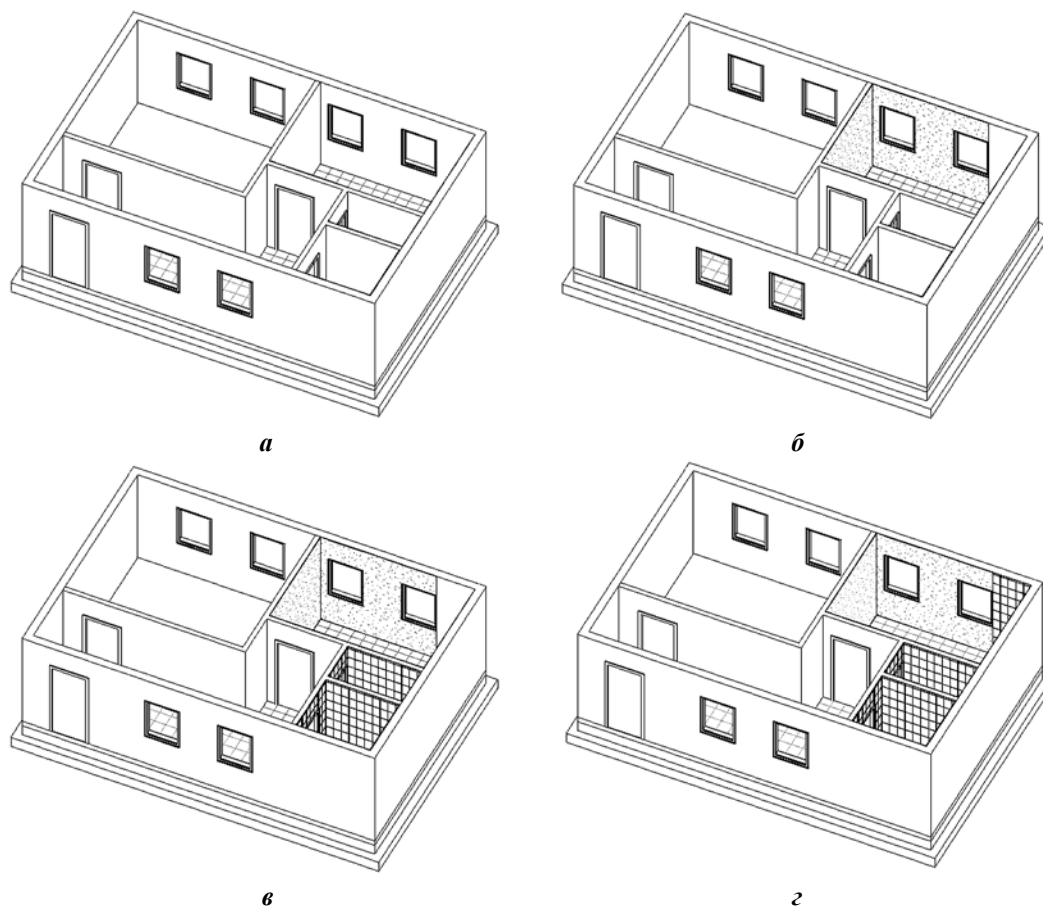


Рис. 4. Стадії опоряджувальних робіт стін кухні та санітарного вузла:  
*а* – початковий стан; *б* – оштукатурені стіни кухні;  
*в* – облицьований санітарний вузол; *г* – облицьована кухня.

Таким чином, нами викладено основи запропонованої методики варіантного структурно-параметричного формоутворення на прикладі опоряджувальних робіт житлового будинку садибного типу.

### Висновки

У статті описано комп'ютерну структурно-параметричну геометричну модель опоряджувальних робіт проєктованого будинку садибного типу, виконану в інтегрованому середовищі систем Autodesk Revit і Microsoft Excel із застосуванням програмного пакета Dynamo. Обґрунтовано на конкретних прикладах, що такий підхід дає користувачам можливість успішно реалізовувати свої власні алгоритми автоматизованого проєктування. Це дозволяє підвищувати ефективність наявних BIM-технологій, забезпечуючи їх гнучку адаптацію до вимог практики. Окреслений напрямок є перспективним і тому потребує проведення подальших відповідних науково-прикладних досліджень.

### Список використаної літератури

1. Барабаш М. С. Компьютерное моделирование процессов жизненного цикла объектов строительства: Монография. Киев: Сталь, 2014. 301 с.
2. Барабаш М. С. Программные комплексы САПФИР и ЛИРА-САПР – основа отечественных BIM-технологий: Монография. Москва: 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. Плоский В. О., Регіда О. В., Терещук М. О. Комп'ютерне геометричне моделювання як засіб підвищення ефективності архітектурно-будівельного проектування. *Шляхи підвищення ефективності будівництва в умовах формування ринкових відносин*. 2018. Вип. 37. С. 37–46.
7. Регіда О. В., Терещук М. О. Деякі перспективи розвитку сучасного комп'ютерного будівельного моделювання. *Управління розвитком складних систем*. 2020. Вип. 42. С. 111–116.
8. Регіда О. В. До питання розроблення методик та алгоритмів структурно-параметричного моделювання будівельних об'єктів. *Прикладні питання математичного моделювання*. 2020. Том 3, № 1. С. 178–186. DOI: <https://doi.org/10.32782/2618-0340/2020.1-3.18>

### References

1. Barabash, M. S. (2014). *Kompyuternoe modelirovanie protsessov zhiznennogo tsikla ob'ektov stroitelstva*: Monografiya. Kiev: Stal.
2. Barabash, M. S. (2013) *Programmnyie komplekseyi SAPFIR i LIRA-SAPR – osnova otechestvennyih BIM-tehnologiy*: Monografiya. Moskva: 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. Ploskyi, V.O., Rehida, O.V, & Tereshchuk, M.O. (2018). *Kompiuterne heometrychne modeliuвання yak zasib pidvyshchennia efektyvnosti arkhitekturno-budivelnogo proektuvannia*. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannia rynkovykh vidnosyn*. **37**, 37–46.
7. Rehida, O. V, & Tereshchuk, M. O. (2020). *Deiaki perspektyvy rozvytku suchasnoho kompiuternogo budivelnogo modeliuвання*. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system*. **42**, 111–116.
8. Rehida, O. V. (2020). *Do pytannia rozroblennia metodyk ta alhorytmiv strukturno-parametrychnogo modeliuвання budivelnikh ob'ektiv*. *Prykladni pytannia matematychnogo modeliuвання*. **3**, 1, 178–186. DOI: <https://doi.org/10.32782/2618-0340/2020.1-3.18>

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