

ДО ПИТАННЯ АРХІТЕКТУРНО-БУДІВЕЛЬНОЇ АДАПТАЦІЇ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧНОГО ФОРМОУТВОРЕННЯ

У наш час доволі поширені для автоматизованого проектування архітектурних об'єктів комп'ютерні засоби, що отримали узагальнену назву BIM (Building Information Modeling), тобто будівельного інформаційного моделювання. Перевагою даного підходу є комплексне врахування багатьох факторів, які мають місце протягом усього життєвого циклу різноманітних споруд. Це сприяє підвищенню якості, зменшенню витрат при зведенні та подальшій їх експлуатації.

Виконаний аналіз літературних джерел за окресленою тематикою показав, що однією з базових складових BIM-технологій є комп'ютерне геометричне моделювання. Останнє не тільки унаочнює створювані об'єкти, а й слугує основою для узгодження суперечливих вимог до них із боку великого числа фахових дисциплін, які задіяні у процесах будівництва. Тому належне вдосконалення засобів автоматизованого формоутворення постає актуальною задачею для подальшого розвитку архітектурного проектування.

Достатньо ефективно нині комп'ютерне параметричне геометричне моделювання. Головна його перевага полягає в забезпеченні гнучкості і продуктивних модифікацій розроблюваної споруди згідно з мінливими вимогами замовників, потребою оптимізації необхідних технічних або економічних характеристик тощо. Порівняно з попередніми непараметричними методами, зазначений підхід вельми прогресивний. Але й йому притаманні певні недоліки. Ці особливості визначають засади для покращення сучасного формоутворення.

Один із таких напрямків становить структурно-параметричне геометричне моделювання, що застосовується в машинобудуванні, зокрема у вітчизняній авіаційній галузі. З теоретичної точки зору воно є узагальненням параметричного підходу, оскільки являє собою одночасне використання кількох параметричних моделей опрацьовуваного об'єкта. При цьому досліджувані варіанти різняться складом і взаємодією своїх елементів, тобто структурою, та значеннями їх параметрів. Проведені наукові розвідки показали, що для раціонального архітектурно-будівельного застосування машинобудівні засоби формоутворення потребують адаптації, тобто розроблення відповідних нових способів і методик комп'ютерних побудов. Цим аспектам на прикладі проектування православних храмів присвячено дану публікацію.

Ключові слова: архітектурно-будівельне проектування, комп'ютерні

геометричні засоби; структурно-параметричне формоутворення; православні храми; BIM-технології.

Постановка проблеми. Нині для автоматизованого архітектурно-будівельного проектування досить популярні комп'ютерні засоби у вигляді BIM-технологій. Їх головна перевага полягає в розгляді багатьох факторів протягом усього життєвого циклу різноманітних споруд. Базовою складовою зазначеного підходу є параметричне геометричне моделювання, що забезпечує гнучкі та продуктивні модифікації розроблюваних об'єктів. Однак, незважаючи на прогресивний характер, даній методології притаманні й деякі недоліки. Їх усунення становить певну науково-прикладну проблему. Один із шляхів її вирішення полягає у використанні більш загального структурно-параметричного формоутворення, якому на прикладі православних храмів присвячено цю статтю.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Структурно-параметричне геометричне моделювання застосовується у вітчизняній авіаційній галузі з початку нинішнього століття, див., зокрема, видання [1]. Зазначений математичний апарат доволі універсальний, здатний відтворювати для проєктованих технічних об'єктів і процесів усілякі варіанти складу їх елементів, необхідні параметри та характеристики тощо, здійснювати структурно-параметричну оптимізацію. Належні загальні теоретичні положення викладено в роботі [2]. Працею [3] підтверджено, що параметричне геометричне моделювання, яке полягає у відповідному визначенні форми, розмірів і положення елементів виробів, спочатку отримало широке розповсюдження в машинобудуванні, що засвідчує й монографія [4], а в останні два десятиліття активно впроваджується при архітектурно-будівельному проектуванні. Головними напрямками підвищення ефективності автоматизованого формоутворення сучасних BIM-технологій є вирішення таких проблем як комплексне врахування суперечливих вимог різних дисциплін (архітектури, будівельної фізики, технології зведення споруд, економіки, екології і т. д.); розв'язування задач багатокритеріальної оптимізації; формалізація циклічного творчого процесу аналізу та синтезу діяльності архітекторів, конструкторів і технологів; відображення за допомогою геометричних моделей будівельних процесів та продуктивне керування ними; раціональний відбір проєктних альтернатив і т. д. Ці питання докладно проаналізовано в дослідженнях [5–7]. Для успішної практичної реалізації наведених завдань запропоновано впровадити в середовище BIM-технологій комп'ютерні геометричні засоби у вигляді структурно-параметричного формоутворення.

Цілі та завдання статті полягають в адаптації структурно-параметричного геометричного моделювання до специфіки архітектурно-будівельної галузі на прикладі проектування православних храмів.

Основна частина. Певну адаптацію проаналізованого вище

машинобудівного формоутворення виконано, зокрема в публікації [8], де подано новий алгоритм оптимізації для графових структурно-параметричних геометричних моделей (СПГМ) із незалежними вершинами, кількість та порядок яких є сталими, див. рис.1, а. Запропоновану методику проілюстровано на прикладі опрацювання таких опоряджувальних робіт (ОР) будинку садибного типу як штукатурення (ШТК), облицювання (ОБЛ) плиткою та фарбування (ФРБ) стін відповідно кухні (кух), ванної (ван) кімнати і вбиральні (вбр). Для кухні можливе виконання мокрого (ШМ) або сухого (ШС) штукатурення.

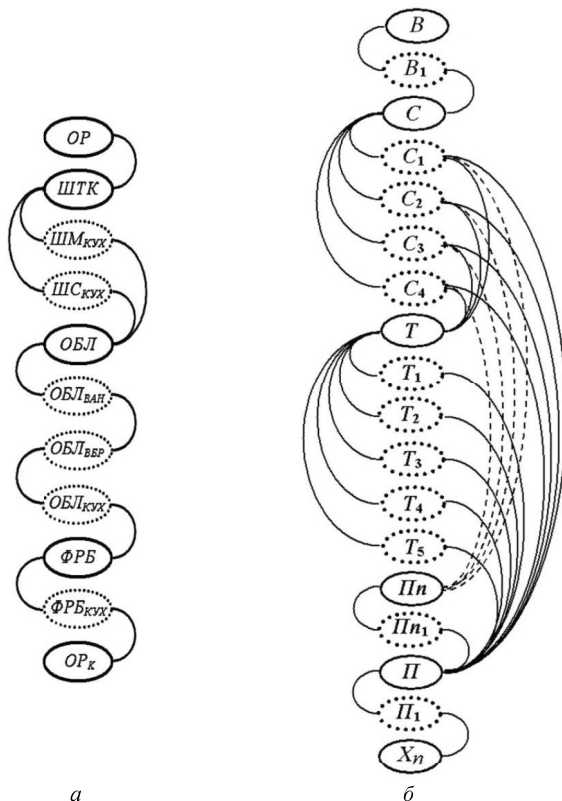


Рис. 1. Архітектурно-будівельні СПГМ:

а – виконання опоряджувальних робіт садового будинку; б – варіантного компонування православного храму

Цей алгоритм дозволяє не тільки визначати екстремальні шляхи у графі рис. 1, а, а й ефективно скорочувати неперспективні проектні варіанти OP_k , тобто загальне їх число N_{OP} ,

$$OP = (OP_k)_1^{N_{OP}}. \quad (1)$$

Зауважимо, що ребра розглянутої СПГМ кратні, тому здатні відображувати одночасно кілька властивостей, наприклад, уподобання замовників, потребу в матеріалах, трудомісткість, вартість робіт і т. д., які обчислюються на підставі описів багатьох дисциплін (технології будівництва, економіки та ін.). В окреслений спосіб вирішуються проблемні питання сучасних ВІМ-технологій щодо комплексного врахування суперечливих вимог різних спеціалістів, раціонального відбору проектних альтернатив, відображення за допомогою геометричних моделей будівельних процесів і продуктивного керування ними; розв'язування задач багатокритеріальної оптимізації.

На рис. 1, б показано викладену у виданні [9] СПГМ для варіантного компонування православного храму X із таких типізованих елементів як вівтар (B), середня частина (C), трапезна (T), папєрть ($Пн$) і притвор ($П$). До даної моделі можна застосувати авіаційну методологію структурно-параметричного формоутворення, але неможливо скористатися перевагами проаналізованого вище алгоритму. Це обумовлено змінним складом вершин

$$\begin{aligned} X_S^{(1)} = (B, C, П) = (X_{S_1}, X_{S_2}, X_{S_3}), \quad X_S^{(2)} = (B, C, Пн, П) = (X_{S_1}, X_{S_2}, X_{S_5}, X_{S_3}), \\ X_S^{(3)} = (B, C, T, П) = (X_{S_1}, X_{S_2}, X_{S_4}, X_{S_3}), \end{aligned} \quad (2)$$

де

$$X_S = (X_{S_i})_1^{N_{X_S}} = (B, C, П, T, Пн) \quad (3)$$

є множиною базових елементів структури храму.

Загальне число його проектних варіантів

$$X = (X_n)_1^{N_X} = (X_n)_1^{28},$$

причому для різновидів (2) маємо

$$N_{X(1)} = 4; \quad N_{X(2)} = 4; \quad N_{X(3)} = 20, \quad (4)$$

тобто

$$N_X = N_{X(1)} + N_{X(2)} + N_{X(3)}. \quad (5)$$

З наведеної ситуації пропонується виходити за допомогою запропонованого способу *декомпозиції та інтеграції СПГМ*. Сутність останнього полягає в наступному.

Модель вигляду рис. 1, б зі змінним складом вершин, у даному разі відповідно до кортежів (2), подається належною кількістю моделей вигляду рис. 1, а зі сталою структурою вершин, іншими словами виконується *декомпозиція* вихідної СПГМ. Отримані нові моделі опрацьовуються з використанням переваг алгоритму [8]. У результаті одержуємо варіанти типу (1) для величин (4). Далі проводимо *інтеграцію*

цих моделей із дотриманням співвідношення (5) у результуючу СПГМ (рис. 2, а). Загальному випадку відповідає рис. 2, б.

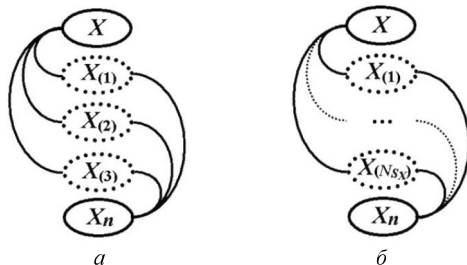


Рис. 2. Результат застосування способу декомпозиції та інтеграції СПГМ: а – до моделі рис. 1, б; б – у загальному випадку

На показаних зображеннях вжито позначення

$$X_{(1)} = (X_{(1)_i})_1^{N_{X(1)}} = (X_{(1)_i})_1^4, \quad X_{(2)} = (X_{(2)_i})_1^{N_{X(2)}} = (X_{(2)_i})_1^4,$$

$$X_{(3)} = (X_{(3)_i})_1^{N_{X(3)}} = (X_{(3)_i})_1^{20}, \quad X_{(N_{Sx})} = (X_{(N_{Sx})_i})_1^{N_{N_{Sx}}},$$

де величина $N_{N_{Sx}}$ – це число послідовностей вершин вигляду (2), які опосуються множиною

$$X_S^* = (X_S^{(j)})_1^{N_{N_{Sx}}}. \quad (6)$$

Компоненти $X_S^{(j)}$ кортежу (6), сформовані на основі базових елементів структури (3) храму, здатні включати не тільки різне число, а й порядок останніх. Тобто можливою є складова з номером $k \in (1 \dots N_{N_{Sx}})$ формату

$$X_S^{(k)} = (C, B, T, P),$$

де тепер початковою вершиною моделі є середня частина, а не вівтар храму.

У вигляді рис. 2, б СПГМ зручно додаються до різних моделей вищого ієрархічного рівня.

Отже, акцентовані особливості не тільки належним чином адаптують комп'ютерні геометричні засоби структурно-параметричного формування для архітектурно-будівельного проектування, а й суттєво підвищують при цьому їх обчислювальну та дослідницьку ефективність.

Як свідчить публікація [10], для здійснення комплексної оптимізації, зокрема православних храмів, із точки зору ВІМ-технологій вагомим є напрямок, що визначається запропонованим способом поєднання СПГМ та комп'ютерних графічних засобів візуалізації проектних аналітичних залежностей.

У наведеній праці його практичне використання проілюстровано на прикладі варіантних обчислень витрат припливного повітря аерації середньої частини храму для видалення надлишків теплоти від людей і згоряння свічок. Окреслено перспективи цих досліджень стосовно вряування й інших параметрів мікроклімату вказаних будівель.

Таким чином, для адаптації геометричних засобів структурно-параметричного моделювання до специфіки архітектурно-будівельної галузі на прикладі проектування православних храмів важливою є розробка належних нових способів, прийомів, алгоритмів і методик формоутворення. Це дозволяє покращувати наявний математичний апарат та комп'ютерне програмне забезпечення.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Даною публікацією висвітлено деякі питання архітектурно-будівельної адаптації структурно-параметричного формоутворення. Акцентовано провідну роль при розроблянні різноманітних будівель і споруд сучасних ВІМ-технологій та такої їх базової складової як комп'ютерне геометричне моделювання. Наголошено, що останнє не тільки унаочнює опрацьовувані об'єкти, а й слугує основою для узгодження суперечливих вимог до них із боку багатьох фахових дисциплін, задіяних у процесах будівництва. Тому вдосконалення засобів автоматизованого формоутворення постає актуальною проблемою для подальшого розвитку архітектурного проектування.

У виконаному дослідженні проаналізовано запропонований спосіб декомпозиції та інтеграції структурно-параметричних моделей, який не тільки необхідним чином адаптує існуючі комп'ютерні геометричні засоби структурно-параметричного формоутворення до архітектурно-будівельного проектування, а й суттєво підвищує при цьому їх обчислювальну та дослідницьку ефективність. Підкреслено важливість його спільного застосування з подібними іншими, наприклад, способом поєднання структурно-параметричних моделей і комп'ютерних графічних засобів візуалізації проектних аналітичних залежностей.

Дійсною працею також визначено деякі перспективи наукових розвідок із розглянутої тематики.

Література

1. Ванін В.В., Вірченко Г.А., Ванін В.В. Структурно-параметричні геометричні моделі як інваріантна складова комп'ютерних інформаційних технологій підтримки життєвого циклу виробів машинобудування. *Праці Таврійської державної агротехнічної академії*. Мелітополь: ТДАТА, 2007. Вип. 4. Т. 36. С. 16–21.
2. Ванін В.В., Вірченко Г.А. Визначення та основні положення структурно-параметричного геометричного моделювання. *Геометричне та комп'ютерне моделювання*. Харків: ХДУХТ, 2009. Вип. 23. С. 42–48.

3. *Талапов В.В.* Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. Москва: ДМК Пресс, 2011. 392 с.
4. *Барабаш М.С.* Программные комплексы САПФИР и ЛИРА-САПР – основа отечественных BIM-технологий. Москва: Юрайт, 2013. 366 с.
5. *Плюский 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*. Київ: КНУБА, 2018. Вип. 37. С. 37–46.
6. *Регіда О.В.* Деякі проблемні питання автоматизованого архітектурно-будівельного геометричного моделювання. *Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні технології промислового комплексу – 2020»*. Херсон: ХНТУ, 2020. С. 411–412.
7. *Регіда О.В., Терещук М.О.* Деякі перспективи розвитку сучасного комп'ютерного будівельного моделювання. *Управління розвитком складних систем*. Київ: КНУБА, 2020. Вип. 42. С. 119–124. doi: 10.32347/2412-9933.2020.42.119-124.
8. *Регіда О.В.* До питання розроблення методик та алгоритмів структурно-параметричного моделювання будівельних об'єктів. *Прикладні питання математичного моделювання*. Херсон: ХНТУ, 2020. Том 3, № 1. С. 178–186. doi: 10.32782/2618-0340/2020.1-3.18
9. *Tereschuk M.* Variant planning orthodox churches in an integrated computer environment Excel-Dynamo-Revit. *Danish Scientific Journal*. Copenhagen, Denmark: POYS, 2020. № 42. Vol. 1. P. 3–7.
10. *Терещук М.О.* Застосування комп'ютерного геометричного моделювання для оптимізації мікроклімату православних храмів. *Матеріали XI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Сучасні виклики і актуальні проблеми науки, освіти та виробництва: міжгалузеві диспути»*. Київ: Open Science Laboratory, 2020. С. 573–582. URL: https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/12/suchasni-vikliki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva_2020_12_11_tezy.pdf

References

1. *Vanin V.V., Virchenko G.A., Vanin V.V.* Strukturno-parametrychni heometrychni modeli yak invariantna skladova kompiuternykh informatsiynykh tekhnolohii pidtrymky zhyttievoho tsykladu vyrobiv mashynobuduvannia. *Pratsi Tavriiskoi derzhavnoi ahrotekhnichnoi akademii*. Melitopol: TDATA, 2007. Vyp. 4. T. 36. P. 16–21. {in Ukrainian}
2. *Vanin V.V., Virchenko G.A.* Vyznachennia ta osnovni polozhennia strukturno-parametrychnoho heometrychnoho modeliuvannia. *Heometrychne ta kompiuterne modeliuvannia*. Kharkiv: KhDUKhT, 2009. Vyp. 23. P. 42–48. {in Ukrainian}
3. *Talapov V.V.* Osnovy BIM: vvedenie v informatsionnoe modelirovanie zdaniy. Moskva: DMK Press, 2011. 392 p. {in Russian}

4. Barabash M.S. Programmnye kompleksi SAPFIR i LIRA-SAPR – osnova otechestvennykh BIM-tehnologiy. Moskva: Yurayt, 2013. 366 p. {in Russian}
5. Ploskyi V.O., Rehida O.V., Tereshchuk M.O. Kompiuterne heometrychne modeliuвання yak zasib pidvyshchennia efektyvnosti arkhitekturno-budivelnogo proektuvannya. *Shliakhy pidvyshchennia efektyvnosti budivnytstva v umovakh formuvannya rynkovykh vidnosyn.* Kyiv: KNUBA, 2018. Vyp. 37. P. 37–46. {in Ukrainian}
6. Rehida O.V. Deiaki problemni pytannia avtomatyzovanoho arkhitekturno-budivelnogo heometrychnoho modeliuвання. *Materialy VI mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Suchasni tekhnolohii promysloвого kompleksu – 2020».* Kherson: KhNTU, 2020. P. 411–412. {in Ukrainian}
7. Rehida O.V., Tereshchuk M.O. Deiaki perspektyvy rozvytku suchasnoho kompiuternoho budivelnogo modeliuвання. *Upravlinnia rozvytkom skladnykh system.* Kyiv: KNUBA, 2020. Vyp. 42. P. 119–124. doi: 10.32347/2412-9933.2020.42.119-124. {in Ukrainian}
8. Rehida O.V. Do pytannia rozroblennia metodyk ta alhorytmiv strukturno-parametrychnoho modeliuвання budivelnikh ob'ektiv. *Prykladni pytannia matematychnoho modeliuвання.* Kherson: KhNTU, 2020. Tom 3, № 1. P. 178–186. doi: 10.32782/2618-0340/2020.1-3.18. {in Ukrainian}
9. Tereshchuk M. Variant planning orthodox churches in an integrated computer environment Excel-Dynamo-Revit. *Danish Scientific Journal.* Copenhagen, Denmark: POYS, 2020. № 42. Vol. 1. P. 3–7. {in English}
10. Tereshchuk M.O. Zastosuvannya kompiuternoho heometrychnoho modeliuвання dlia optymizatsii mikroklimatu pravoslavnykh khramiv. *Materialy XI Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi internet-konferentsii «Suchasni vyklyky i aktualni problemy nauky, osvity ta vyrobnytstva: mizhhaluzevi dysputy».* Kyiv: Open Science Laboratory, 2020. P. 573–582. URL: https://openscilab.org/wp-content/uploads/2020/12/suchasni-viklyki-i-aktualni-problemi-nauki-osviti-ta-virobnictva_2020_12_11_tezy.pdf {in Ukrainian}

Терещук М.О.

nikolatereschuk@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4444-3677

Киевский национальный университет строительства и архитектуры

К ВОПРОСУ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНОЙ АДАПТАЦИИ СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

В наше время довольно распространены для автоматизированного проектирования архитектурных объектов компьютерные средства, получившие обобщенное название BIM (Building Information Modeling), т.е. строительного информационного моделирования. Преимуществом данного подхода является комплексный учет многих факторов, которые имеют место на протяжении всего жизненного цикла различных

сооружений. Это способствует повышению качества, уменьшению затрат при возведении и дальнейшей их эксплуатации.

Выполненный анализ литературных источников по очерченной тематикой показал, что одной из базовых составляющих BIM-технологий является компьютерное геометрическое моделирование. Последнее не только визуализирует создаваемые объекты, но и служит основой для согласования противоречивых требований к ним со стороны большого числа профессиональных дисциплин, которые задействованы в процессах строительства. Поэтому совершенствование средств автоматизированного формообразования является актуальной задачей для дальнейшего развития архитектурного проектирования.

Достаточно эффективное ныне компьютерное параметрическое геометрическое моделирование. Главное его преимущество заключается в обеспечении гибких и продуктивных модификаций разрабатываемого здания или сооружения в соответствии с изменчивыми запросами заказчиков, необходимостью оптимизации требуемых технических или экономических характеристик и т. д. По сравнению с предыдущими непараметрическими методами, указанный подход весьма прогрессивен. Но и ему присущи определенные недостатки. Эти особенности определяют базис для улучшения современного формообразования.

Одно из таких направлений составляет структурно-параметрическое геометрическое моделирование, которое применяется в машиностроении, в частности в отечественной авиационной отрасли. С теоретической точки зрения является обобщением параметрического подхода, поскольку представляет собой одновременное использование нескольких различных параметрических моделей обрабатываемого объекта. При этом исследуемые варианты отличаются составом и взаимодействием своих элементов, то есть структурой, и значениями их параметров.

Проведенные научные исследования показали, что для рационального архитектурно-строительного применения машино-строительные средства формообразования требуют адаптации, то есть разработки соответствующих новых способов и методик компьютерных построений. Этим аспектам на примере проектирования православных храмов посвящена данная публикация.

Ключевые слова: архитектурно-строительное проектирование, компьютерные геометрические средства; структурно-параметрическое формообразование; православные храмы; BIM-технологии.

TO THE QUESTION OF ARCHITECTURAL AND CONSTRUCTION ADAPTATION OF STRUCTURAL-PARAMETRIC SHAPING

Nowadays, computer means that have received the general name BIM (Building Information Modeling) are quite common for the automated design of architectural objects, i.e. building information modeling. The advantage of this approach is the comprehensive consideration of many factors that take place throughout the entire life cycle of various buildings. This helps to improve quality, reduce costs during construction and their further operation.

The performed analysis of literary sources on the outlined topics showed that one of the basic components of BIM-technologies is computer geometric modeling. Computer geometric modeling not only visualizes the created objects, but also serves as a reliable basis for the coordination of conflicting requirements for them from a large number of professional disciplines that are involved in construction processes. Therefore, the proper improvement of the means of automated shaping is an urgent task for the further development of architectural design.

Computer parametric geometric modeling is quite effective now. Its main advantage lies in providing flexible and productive modifications of the developed building or structure in accordance with the changing requirements of customers, the need to optimize the various technical or economic characteristics, etc. This approach is very progressive in comparison with the previous nonparametric methods. But it also has certain disadvantages. These features define the foundations for improving modern shaping.

One of such directions is structural-parametric geometric modeling, which is used in mechanical engineering, in particular in the domestic aviation industry. From a theoretical point of view, it is a generalization of the parametric approach, since it is the simultaneous use of several different parametric models of analyzed object or process. At the same time, the studied variants differ in the composition and interaction of their elements, i.e. the structure, and the values of their parameters. As scientific research has shown, for the rational architectural and construction application the machine-building means of shaping require proper adaptation, i.e. the development of appropriate new methods and techniques of computer modeling. This publication is devoted to these aspects on the example of the designing of orthodox churches.

Key words: architectural and construction design, computer geometric means; structural-parametric shaping; orthodox churches; BIM-technologies.