

## Применение информационного моделирования при исследовании уникальных объектов параметрической архитектуры

*Г.М. Кравченко, Е.В. Труфанова, А.Ю. Манойленко, В.В. Литовка*

*Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** в статье рассмотрен вопрос интеграции трехмерной модели объекта параметрической архитектуры, созданного с помощью программы Autodesk Revit, и его конечно-элементной модели. Особенности IFC форматирования расширяют возможности по представлению проектных данных для решения задач по совмещению информационной и расчетной модели. Проиллюстрированы преимущества и недостатки данного подхода к моделированию уникальных высотных зданий, архитектурное решение которых представляет собой сложную геометрическую поверхность.

**Ключевые слова:** информационное моделирование, параметрическая архитектура, метод конечных элементов, архитектурная модель, расчетная модель, интеграция, IFC форматирование.

Информационное моделирование включает следующие принципы: интеллектуальная параметризация объектов; базы данных, соответствующие объектам; 3D-модель; IFC форматирование.

Анализ напряженно-деформированного состояния элементов каркаса здания основан на расчете методом конечных элементов, который является численным методом и требует итерационного подхода к решению задачи. Концепция и платформа данных в программных комплексах ЛИРА-САПР, SCAD, Autodesk Robot, Ing +, ANSYS и т.д., базирующихся на численном моделировании, заметно отличаются от тех, которые используют для построения физической модели, являющейся результатом работы архитектурных BIM-программ, к числу которых можно отнести ArchiCAD, Revit, Tekla BIMsight [1].

Главная отличительная особенность расчетной модели в сравнении с архитектурной состоит в абстрагировании соответствия геометрического образа и конечно-элементного представления. Однако, идеализация физической (архитектурной) модели методом конечных элементов наилучшим способом передает особенности напряженно-деформированного

---

состояния объекта. Архитектурная модель в точности воспроизводит геометрию объекта.

Эти два противоположных принципа, заложенные в построении модели, вызывают ряд сложностей при экспорте из архитектурной программы в расчетную. Во-первых, возникает топологическая несовместимость точной геометрической формы архитектурной модели и расчетной конечно-элементной. Во-вторых, возможно искажение информации об элементах каркаса здания (физико-механические характеристики материалов, типы сечений и т.д.) при экспорте в расчетную программу, что требует уточнения с помощью инструментов расчетных программ.

Для адаптации архитектурной информации об объекте в 1997 году был разработан формат данных Industry Foundation Classes (IFC), который позволил частично решить проблемы трансформации информационной модели. Несмотря на то, что IFC представляет собой стандартизированный язык программирования для обмена проектными данными, содержащими всю необходимую информацию о моделях, подходы к интеграции данных между расчетными и архитектурными моделями только начинают достигать практической жизнеспособности, и многие аспекты все еще нуждаются в дополнительном развитии [2].

С целью определения взаимосвязей и различий баз данных проведено исследование интеграции архитектурных и расчетных моделей на примере двух уникальных высотных зданий параметрической архитектуры. В соответствии с принципами параметрического моделирования разработано уникальное здание бизнес-центра высотой 120 м, поверхность которого образована поворотом этажей относительно друг друга (рис. 1а). Второй объект является многофункциональным комплексом высотой 220 м, архитектурное решение которого представляет собой совокупность

---

цилиндрического ядра жесткости и трех круговых циклических винтовых поверхностей с плоскостью параллелизма (рис. 1б) [3,4].

Архитектурные модели основных несущих конструкций уникальных высотных зданий построены с помощью программного комплекса Revit.

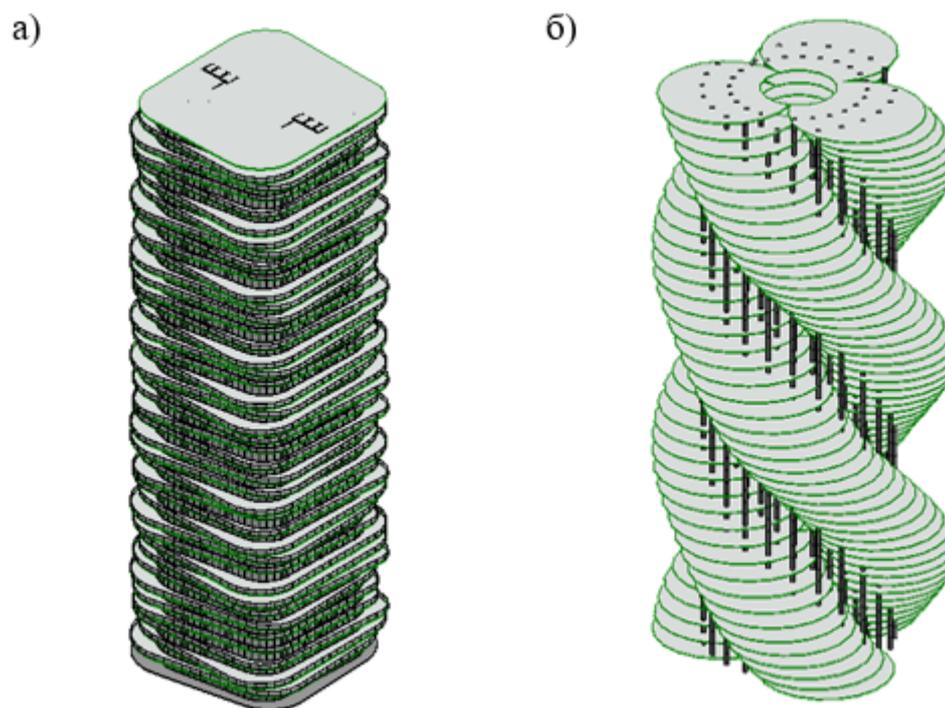


Рис. 1. – Архитектурные модели несущих конструкций: а) бизнес-центр; б) многофункциональный комплекс высотой

Для корректного формирования IFC файла в программе Revit при построении элементов каркаса необходимо правильно назначать для каждого из них “семейства” и материалы, из которых состоят конструкции, а также исключить из схемы все ненесущие элементы. Иначе, при экспорте моделей из архитектурной программы в расчетную может возникнуть ряд сложностей с некорректно созданными конструкциями [5-7].

В данном исследовании принятый порядок перемещения и обработки файла в программных комплексах выглядит следующим образом: Autodesk Revit – ПК САПФИР – ПК ЛИРА САПР.

На рисунке 2 представлены конечно-элементные модели исследуемых объектов, разработанных в ПК САПФИР. Плиты перекрытий аппроксимированы плоскими треугольными конечными элементами, колонны – пространственными стержнями. При сгущении сетки конечных элементов выполнена триангуляция с шагом 1 м.

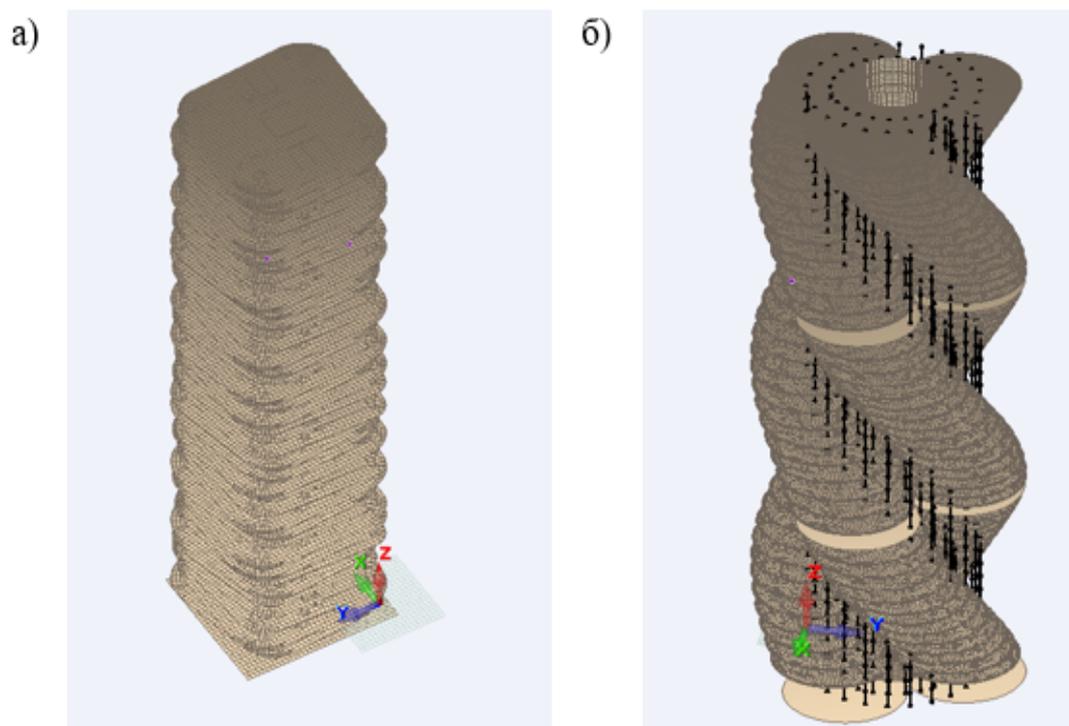


Рис. 2. – Расчетные модели несущих конструкций в ПК САПФИР: а) бизнес-центр; б) многофункциональный комплекс

Несмотря на то, что IFC формат позволяет экспортировать сразу в ПК ЛИРА, при сложной геометрии здания удобно разбивать его на конечные элементы в ПК САПФИР, редактировать модель с учетом топологии и конечно-элементной сетки, затем экспортировать файл в ПК ЛИРА [8].

Для выполнения статического расчета необходимо задать дополнительную информацию, соответствующую граничным условиям задачи. В рамках данного исследования для каждого здания рассчитывалась

только надземная часть каркаса [9]. После проведения общего статического расчета получены вертикальные перемещения, мозаика которых представлена на рисунке 3.

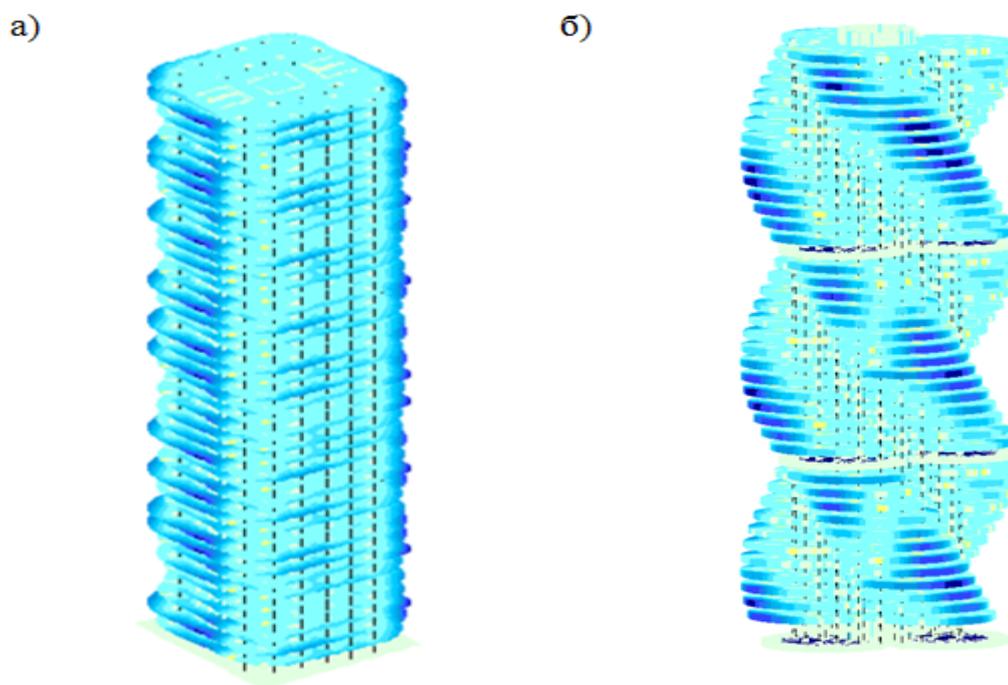


Рис. 3. – Мозаика вертикальных перемещений в ПК ЛИРА: а) бизнес-центр; б) многофункциональный комплекс

Максимальные перемещения на мозаике отмечены темно-синим цветом: для здания бизнес-центра максимальные перемещения составляют 62,3 мм, для здания многофункционального комплекса - 75,5 мм.

В настоящее время в России активно начинается процесс перехода на информационное проектирование в строительстве. В ПК ЛИРА разработана новая технология двусторонней интеграции архитектурной и расчетной моделей. Интеграция моделей имеет тенденцию к существенному сокращению сроков проектирования и снижению экономических затрат на разработку проектной документации и внесение при необходимости изменений или уточнений модели в соответствии с жизненным циклом объекта параметрической архитектуры [10].

## Литература

1. Голдберг Э. Для архитекторов: Revit Architecture. М.: ДМК-Пресс, 2010. 472 с.
  2. Chen P.H., Cui L., Wan C., Yang Q., Ting S.K., Tiong R.L.K. Implementation of IFC-based web server for collaborative building design between architects and structural engineers. Automation in Construction, 2005. № 14. pp. 115-128
  3. Кравченко Г.М., Манойленко А.Ю., Литовка В.В. Параметрическая архитектура // Инженерный вестник Дона, 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/5040](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/5040)
  4. Кравченко Г.М., Манойленко А.Ю., Литовка В.В. Методы параметрического проектирования при моделировании методом конечных элементов // Инженерный вестник Дона, 2018, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5051](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5051)
  5. Кривошапко С.Н., Иванов В.Н., Халаби С.М. Аналитические поверхности: материалы по геометрии 500 поверхностей и информация к расчету на прочность тонких оболочек. М.: Наука, 2006. 544 с.
  6. Васильков Г.В. Теория адаптивной эволюции механических систем. Ростов-на-Дону: Terra-Принт, 2007. 248 с.
  7. Froese T. Future directions for IFC-based interoperability, ITcon, Vol. 8, Special Issue IFC - Product models for the AEC arena, 2003. pp. 231-246
  8. Талапов В.В. Основы BIM: введение в информационное моделирование зданий. М.: ДМК-Пресс, 2011. 392 с.
  9. Секулович М. Метод конечных элементов. М.: Стройиздат, 1993. 660 с.
  10. Талапов В.В. Технология BIM: Суть и особенности внедрения информационного моделирования зданий. М.: ДМК-Пресс, 2015. 410 с.
-

## References

1. Goldberg E. Dlya arkhitektorov: Revit Architecture [For architects: Revit Architecture]. Moscow: DMK-Press, 2010. 472 p.
  2. Chen P.H., Cui L., Wan C., Yang Q., Ting S.K., Tiong R.L.K. Automation in Construction, 2005. № 14. pp. 115-128
  3. Kravchenko G.M., Manojlenko A.Yu., Litovka V.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №2. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/5040/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2018/5040/).
  4. Kravchenko G.M., Manojlenko A.Yu., Litovka V.V. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2018, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5051/](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2018/5051/).
  5. Krivoshapko S.N., Ivanov V.N., Khalabi S.M. Analiticheskie poverkhnosti: materialy po geometrii 500 poverkhnostey i informatsiya k raschetu na prochnost' tonkikh obolochek [Analytical surfaces: materials of geometry of 500 surfaces and information for durability calculation of thin covers]. Moscow: Nauka, 2006. 544 p.
  6. Vasil'kov G.V. Teoriya adaptivnoy evolyutsii mekhanicheskikh sistem [The theory of adaptive evolution of mechanical systems]. Rostov-na-Donu: Terra-Print, 2007. 248 p.
  7. Froese T. Future directions for IFC-based interoperability, ITcon, Vol. 8, Special Issue IFC - Product models for the AEC arena, 2003. pp. 231-246
  8. Talapov V.V. Osnovy BIM: vvedenie v informatsionnoe modelirovanie zdaniy [BIM Basics: an Introduction to Building Information Modeling]. Moscow: DMK-Press, 2011. 392 p.
  9. Sekulovich M. Metod konechnykh elementov [Finite element method], Moscow: Stroyizdat, 1993. 660 p.
  10. Talapov V.V. Tekhnologiya BIM: Sut' i osobennosti vnedreniya informatsionnogo modelirovaniya zdaniy [BIM technology: The essence and features of the implementation of information modeling of buildings]. Moscow: DMK-Press, 2015. 410 p.
-