АНТИПОВА Д. Р., АНТИПОВ А. С., УТКИНА В. Н.

ИНФОРМАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РОССИЙСКОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Аннотация. Выполнено формирование информационной модели многоэтажного жилого здания в BIM-системе Renga. Проведен экспорт модели и расчет конструктивной системы здания в ПК Лира 10.12. Представлены результаты моделирования и проектирования.

Ключевые слова: информационная модель здания, проектирование, многоэтажное жилое здание, российское программное обеспечение, BIM-система Renga, ПК Лира 10.12, результаты.

ANTIPOVA D. R., ANTIPOV A. S., UTKINA V. N.

INFORMATION MODELING AND DESIGN OF A MULTISTORY RESIDENTIAL BUILDING USING RUSSIAN SOFTWARE

Abstract. The formation of an information model of a multistory residential building in the Renga BIM system was carried out. The model was exported and the structural system of the building was calculated in the Lira 10.12 PC. The results of modeling and design are presented.

Keywords: building information model, design, multistory residential building, Russian software, Renga BIM system, Lira 10.12 PC, results.

Цифровизация строительной отрасли является приоритетной для государства на современном этапе. По данным интернет источников число компаний, использующих BIM-технологии, значительно увеличилось в последние годы. Во многих отраслях строительства, таких как гражданское, промышленное, гидротехническое, проходит процесс трансформации, связанный с отказом от традиционных методов проектирования. На фоне этого возрастает острая необходимость создания в короткие сроки инновационных способов реализации проектов [1–3].

Одним из самых перспективных направлений, поддерживаемых государством на законодательном уровне, является информационное моделирование зданий и сооружений, которое имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными методами. Использование технологий информационного моделирования позволяет конкретно продумать эффективность архитектурных и конструктивных решений объектов, создать сложные строительные проекты с возможной корректировкой данных, в разы облегчить выпуск рабочей документации, существенно сократить количество ошибок и коллизий, а

также осуществить контроль над объектом на всех этапах его жизненного цикла. Важно грамотно научиться использовать огромные преимущества информационного моделирования при создании проектов.

Цель данной работы: формирование информационной модели и проектирование многоэтажного жилого здания с использованием российского программного обеспечения. Основные задачи исследования: создание информационной модели здания в BIM-системе Renga; экспорт модели в универсальный программный комплекс Лира 10.12; выполнение МКЭ расчёта конструктивной системы здания; анализ полученных результатов.

В настоящее время существует много программных комплексов для информационного моделирования зданий и сооружений: ArchiCAD, Renga, Revit, Allplan и другие. Приостановка работы в России ряда поставщиков иностранного программного обеспечения вносит свои корректировки в глобальные планы по цифровизации строительной отрасли. Необходим переход на BIM-системы российского производства. Ярким примером отечественного программного обеспечения является BIM-платформа Renga, которая позволяет создавать информационные модели зданий, различные инженерные конструкции и коммуникации, а также выводить чертежи и спецификации из полученной модели. Разработкой, развитием и продвижением системы занимается российское предприятие «Renga Software» [4].

Объектом проектирования является 16-этажный жилой дом с подвалом и техническим чердаком. Обеспечение архитектурных решений здания в значительной степени основывается на соответствующем конструировании, отвечающем как функциональным, так и художественно-эстетическим замыслам проектировщиков. Жилой дом имеет прямоугольную форму в плане с размерами 21,60 × 22,35 м. Высота здания – 50,92 м, высота типовых этажей – 2,80 м. Конструктивная система многоэтажного здания – монолитная ствольно-стеновая, состоит из вертикальных и горизонтальных несущих элементов (фундамента, стен, плит перекрытий и покрытия). Фундамент свайный с плитным ростверком.

Материалы конструкций принимаются в соответствии с действующими сводами правил [5; 6]. Наружные стены подвала запроектированы из монолитного железобетона толщиной 300 мм. Материал наружных стен подвала и фундамента – бетон тяжелый класса В25 по прочности на сжатие, марок W6 по водонепроницаемости и F150 по морозостойкости. Внутренние стены подвала, стены надземной части, стены лифтовых шахт и лестничных клеток – толщиной 200 мм. Материал внутренних несущих стен – бетон класса В30 по прочности на сжатие, марки F75 по морозостойкости. Арматура во всех стенах стержневая горячекатаная периодического профиля класса А500С по ГОСТ Р 52544-2006,

гладкая А240 по ГОСТ 5781-82*. Плиты перекрытия запроектированы из монолитного железобетона толщиной 160 мм, плита покрытия над техническим этажом и плита перекрытия машинного помещения – толщиной 200 мм. Материал плит – бетон класса В25 по прочности на сжатие, марка по морозостойкости – F100; арматура стержневая горячекатаная периодического профиля класса А500С по ГОСТ Р 52544-2006.

Создание модели здания средствами, реализующими технологию информационного моделирования, рекомендуется выполнять в трехмерном пространстве. Проектирование модели в Renga начинается с построения осей и типового этажа на рабочем уровне [7].

Несущие конструкции здания моделируются с помощью соответствующих инструментов. Задаем основные параметры стен (материал, толщину, высоту), вызвав инструмент «Стена». Строим стены этажа необходимой толщины и с учетом параметров привязки к координационным осям, а затем – окна и двери. Для создания лестницы и ее ограждения можно воспользоваться инструментами «Лестница» и «Ограждение». Настроив все параметры, выполняем построение конструкций в соответствии с заданием. Создание перекрытия и проема в нем производим с помощью инструментов «Перекрытие» и «Проем».

На рисунке 1 представлена пространственная модель типового этажа здания.

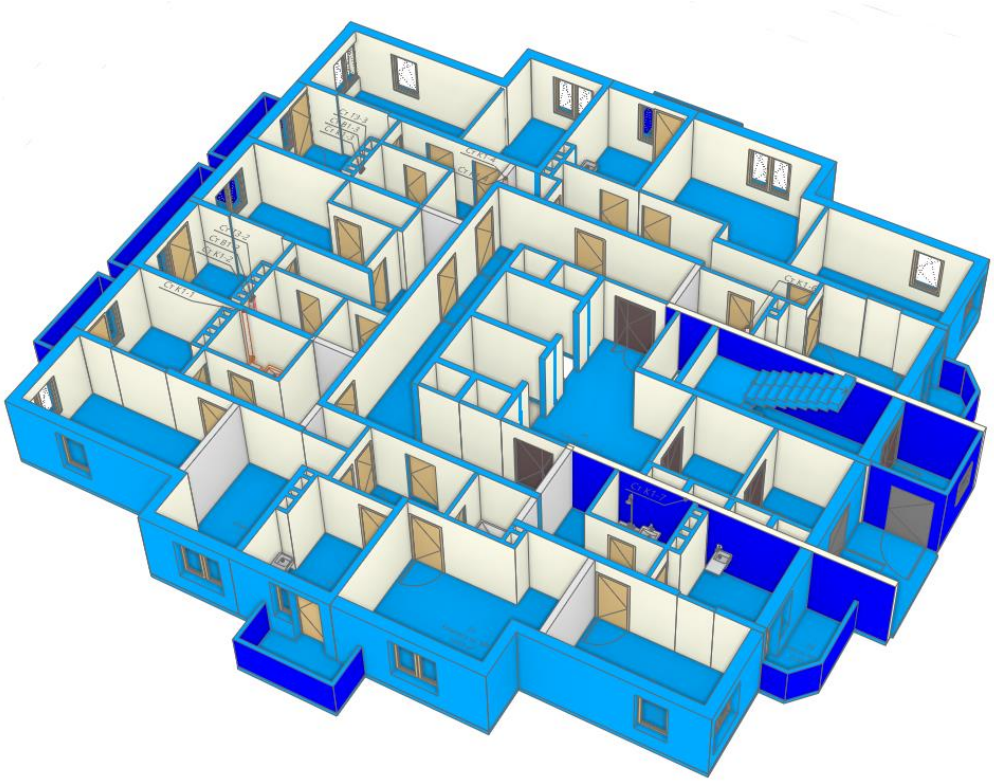

Рис. 1. 3D-модель типового этажа.

Для того чтобы создать 2 – 16 этажи, удобно использовать копирование типового этажа. Правильность выполненных действий легко проверить в 3D-виде.

Полученная в системе Renga информационная архитектурная модель проектируемого здания представлена на рисунке 2. Планы, фасады, разрезы и другие виды создаются из нее автоматически. Следует отметить высокую скорость создания 3D-модели и наполнения ее информацией.

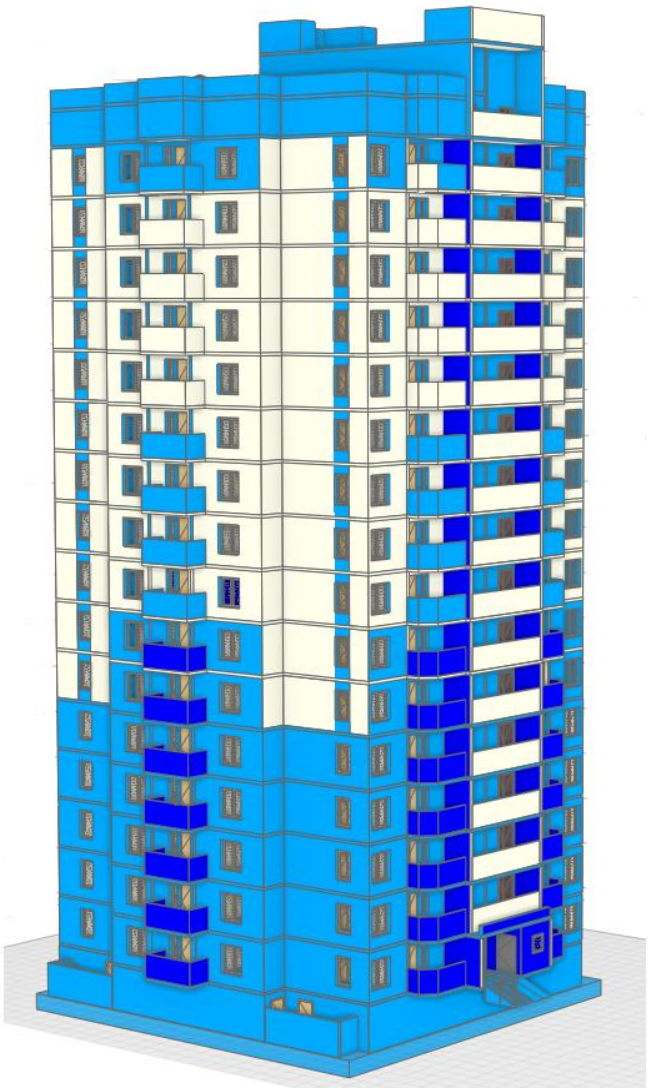

Рис. 2. Информационная модель проектируемого здания в системе Renga.

Расчет строительных конструкций и сооружений можно выполнить с помощью многофункциональных программных комплексов, базирующихся на методах строительной механики. Получить точное аналитическое решение уравнений механики, отражающих напряженно-деформированное состояние многочисленных элементов конструкции, практически не реально. Поэтому подобные системы уравнений решаются приближенно с помощью численных методов. С этой целью в ПК ЛИРА 10.12 используется метод конечных элементов (МКЭ) в перемещениях. Программный комплекс ЛИРА 10.12 является современным инструментом технологии информационного моделирования и позволяет

осуществлять интеграцию с передовыми BIM-платформами: Autodesk Revit, Tekla, Model Studio CS, Renga и другими [8].

В версии ПК ЛИРА 10.12 появился плагин для передачи BIM-модели из системы Renga. Создана информативная форма процесса экспорта для основных структурных типов элементов. При этом выводится журнал сопоставления материалов и сечений конструкций, при необходимости их можно изменить [9]. В ПК Лира 10.12 открывается аналитическая модель здания. Каждому конструктивному элементу из графического комплекса соответствует архитектурный элемент, если это колонна или балка – стержень; для стены, фундаментной плиты и перекрытия – пластина. Архитектурный элемент обладает необходимыми жесткостными характеристиками для расчета, такими как сечение и материал. На рис. 3 представлена аналитическая модель здания, которая получена после экспорта из системы Renga в ПК Лира 10.12.

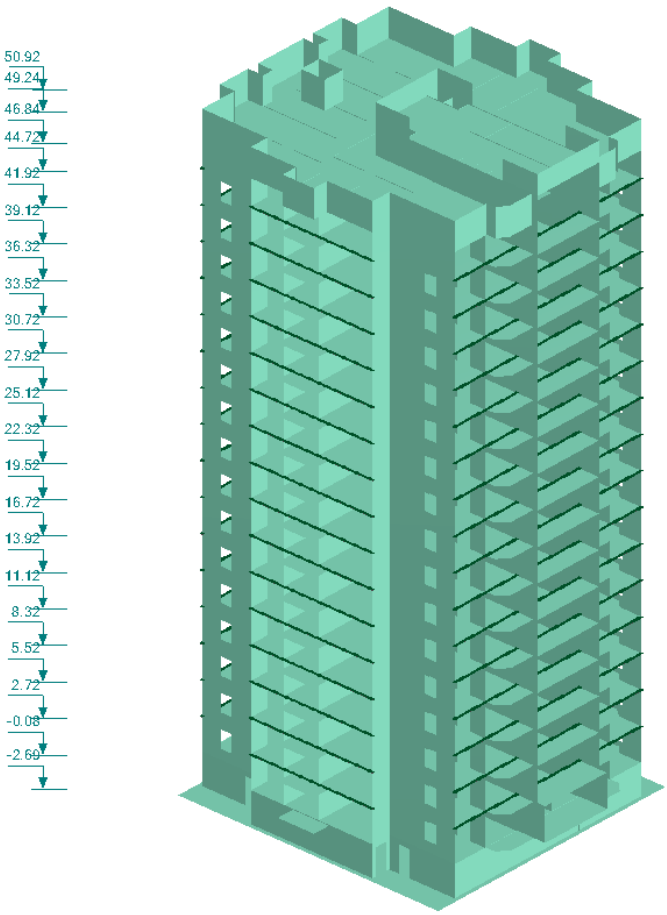

Рис. 3. Аналитическая модель конструктивной системы здания в ПК Лира 10.12.

Автоматическая триангуляция модели на конечные элементы выполняется с учетом заданных параметров (метода и шага). Стены и плиты перекрытий разбиваются на универсальные конечные элементы оболочки КЭ 42, КЭ 44, балки представлены стержневым элементом КЭ 10. Расчетная схема здания состоит из 496924 конечных элементов и 470679

узлов (рис. 4).

Выполняется моделирование различных видов нагрузок: постоянной, длительной и кратковременной. Состав и величины учтенных в расчетной модели нагрузок и воздействий, а также коэффициенты надежности по нагрузке γ_f и назначению γ_n принимаются по СП 20.13330.2016 [10] и техническому заданию. Сформировано 15 загружений, которые включают собственный вес несущих конструкций, постоянные нагрузки от пола и кровли, перегородок и наружных ненесущих стен, временные нагрузки на перекрытии и покрытии, снеговую и ветровую нагрузки. Созданы основные расчетные сочетания нагрузок и усилий.

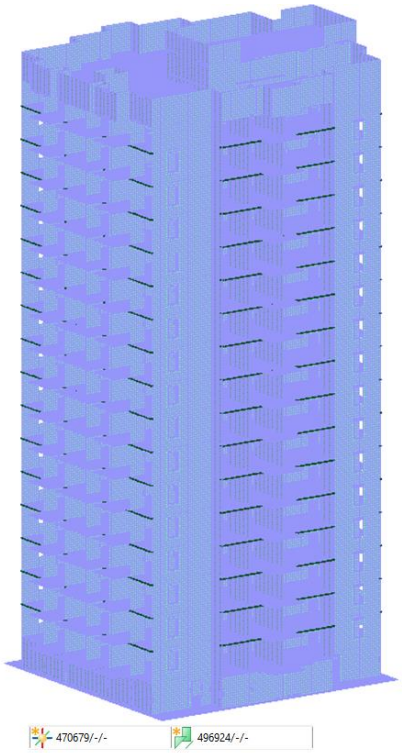

Рис. 4. Конечно-элементная схема конструктивной системы здания.

Для учета взаимодействия работы сооружения с грунтом основания задаются геологические условия площадки строительства, по которым выполняется автоматическое построение модели грунта под проектируемым зданием с последующим вычислением коэффициентов постели или жесткости элементов, моделирующих работу свай с помощью нового конечного элемента 57 – «Свая». Появление этого конечного элемента значительно расширяет возможности программного комплекса при расчете зданий на свайных фундаментах. Реализованы положения СП 22.13330.2016 и СП 24.13330.2011 [11; 12]. Геологические условия, а также физико-механические характеристики грунтов основания задаются в «Редакторе грунта» [8].

Заполняем таблицу с характеристиками грунта, в которую вносим основные

параметры для каждого ИГЭ (инженерно-геологического элемента). Расставляем сваи и скважины согласно схеме их расположения на площадке строительства, задаем параметры для расчета условного фундамента и определяем осадки основания, коэффициенты постели, глубину сжимаемой толщи, усредненный модуль деформации, несущую способность свай.

Основным этапом решения задачи методом конечных элементов является формирование и решение системы канонических уравнений относительно неизвестных узловых перемещений. Жесткости сечений конструкций и их соединений вычисляются программой в соответствии с их геометрическими параметрами и физическими характеристиками материалов, с учетом условий работы конструкций, вводимых в расчетную модель.

Выполняем статический расчет пространственной модели здания с учетом совместной работы несущих конструкций, фундамента и основания. После успешного расчета переходим в режим «Результаты расчета». На рис. 5 – 8 представлены некоторые результаты определения перемещений в узлах и усилий в элементах конструкций, проверки устойчивости системы.

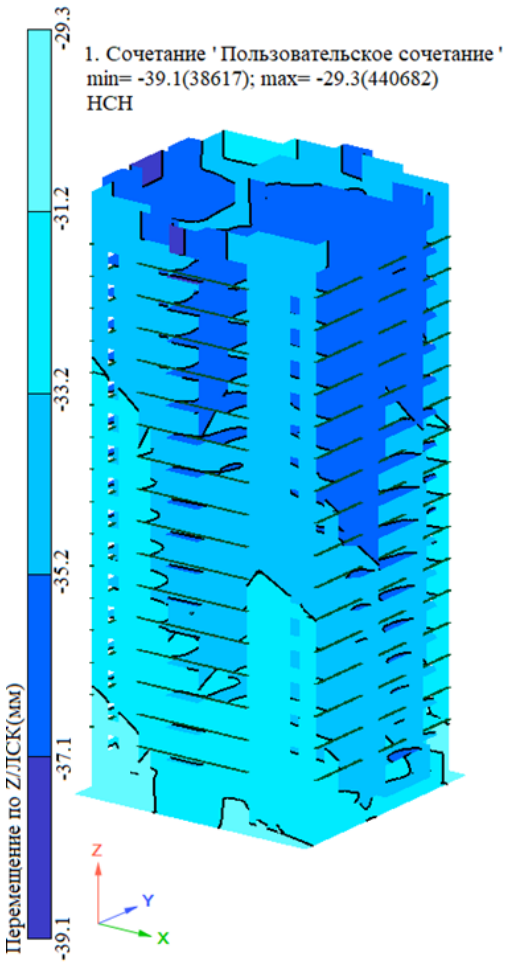

Рис. 5. Перемещения по оси Z, мм.

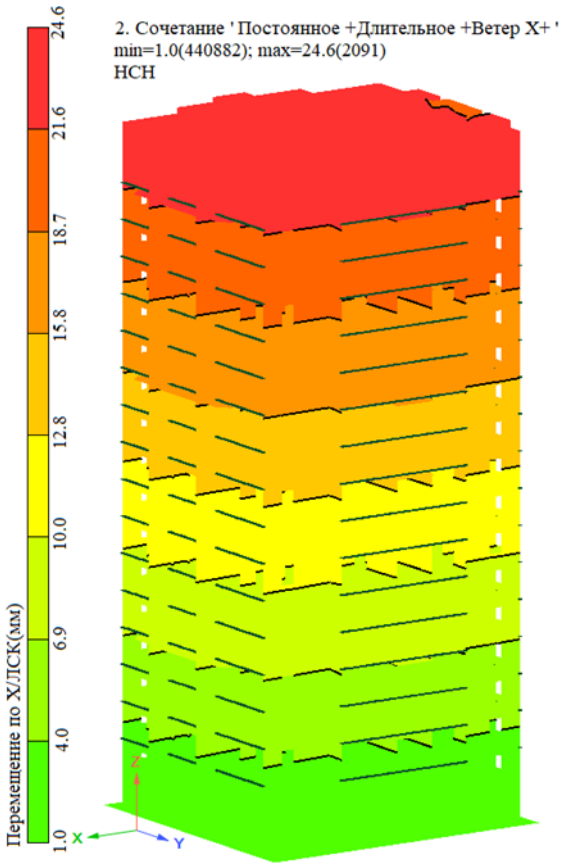

Рис. 6. Перемещения по оси X, мм.

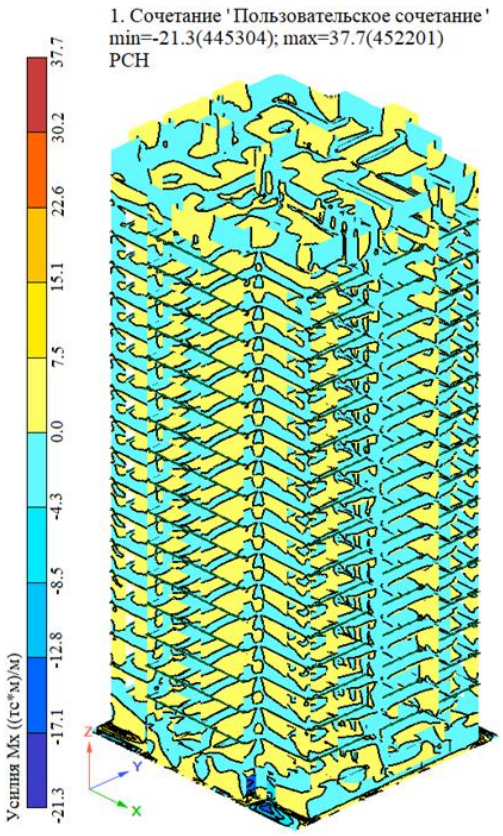

Рис. 7. Усилия M_x от РСН1, тсм/м.

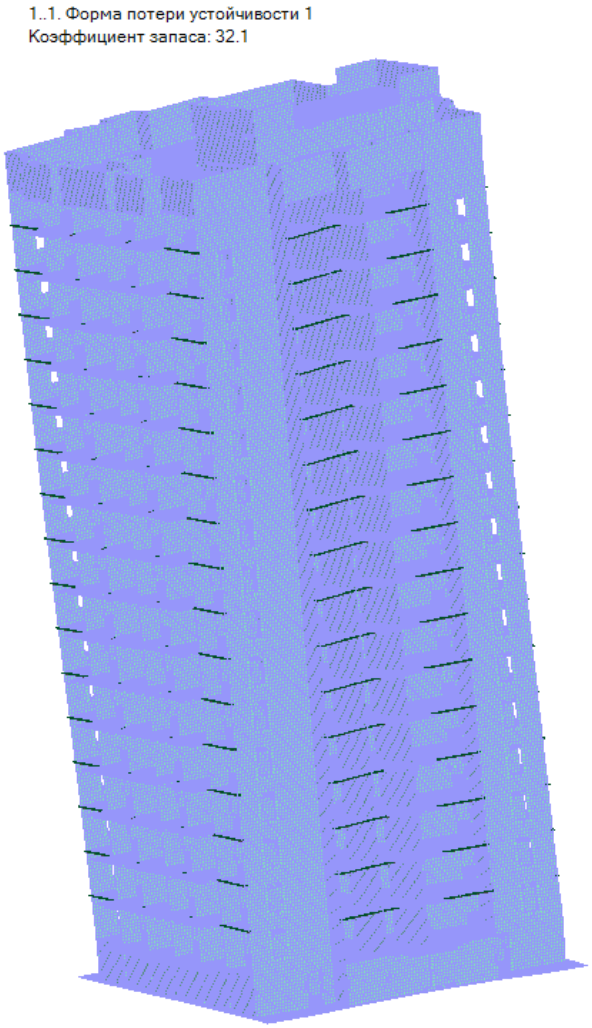

Рис. 8. Первая форма потери устойчивости от РСН1.

Неравномерность перемещений по оси Z и наибольшие их значения на 16-ом этаже можно объяснить изменением осадки опор плит и различным укорочением вертикальных элементов в общей схеме здания. Горизонтальные перемещения системы зависят от направления и значения ветровой нагрузки и с повышением ветрового давления увеличиваются по высоте здания. Наблюдается характерная картина изменения изгибающих моментов в монолитных плитах перекрытий: на опорах моменты имеют отрицательный знак, в пролетах – положительный.

Определены основные эксплуатационные параметры монолитной конструктивной системы здания: горизонтальные перемещения верха, перекосы этажных ячеек, прогибы плит перекрытий, коэффициенты запаса устойчивости, максимальная осадка фундамента, относительная разность осадок и другие.

В таблице представлены результаты сравнения основных расчетных эксплуатационных параметров конструктивной системы здания с допустимыми значениями.

Полученные значения основных параметров не превышают допустимых значений, установленных нормативными документами.

Таблица

Сравнение основных эксплуатационных параметров конструктивной системы здания с допустимыми значениями

Наименование параметра	Полученное значение	Предельно допустимое значение	Наименование источника
Горизонтальное перемещение верха конструкции по X, см	2,45	5,10	СП 430.1325800; п.6.2.9
Горизонтальное перемещение верха конструкции по Y, см	0,32	5,10	
Перекос этажных ячеек, см	0,30	0,93	СП 20.13330.2016; приложение Д, таблица Д.4
Прогиб плиты перекрытия 1-го этажа, см	0,25	3,33	СП 20.13330.2016, приложение Д, таблица Д.1
Прогиб плиты перекрытия 5-го этажа, см	0,25	4,13	
Средняя осадка фундамента, см	3,59	15	СП 22.13330.2016, приложение Г, таблица Г.1
Относительная разность осадок фундамента	0,0007	0,003	
Коэффициент запаса устойчивости формы	32,10	> 2	СП 430.1325800; п.6.2.11

Выводы. В настоящее время, в связи со сложившейся ситуацией в стране, необходим переход на отечественное программное обеспечение. BIM-платформа Renga и ПК Лира 10.12 представлены в Едином реестре российских программ, успешно используются для моделирования, расчета и проектирования многоэтажных и высотных зданий, имеют доступную стоимость лицензионных профессиональных версий и не подвержены рискам санкций.

В данной статье были продемонстрированы основные этапы создания информационной модели многоэтажного жилого дома из монолитного железобетона с применением BIM-системы Renga и универсального расчетного программного комплекса Лира 10.12. Пространственная модель здания из системы Renga экспортировалась в ПК Лира 10.12. По данным инженерно-геологических исследований на площадке строительства разработана модель грунта. Проведен общий расчет конструктивной системы здания методом конечных элементов на эксплуатационные нагрузки и определены перемещения, усилия и напряжения. Прочность, пространственная жесткость и устойчивость многоэтажного здания и его отдельных конструкций в стадии эксплуатации обеспечены. Реализация передачи информационной модели в ПК Лира 10.12 без потери данных значительно ускорила процесс проектирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Уровень применения BIM в России 2019 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://concurator.ru/information/ bim_report_2019 (дата обращения 12.01.2023).
2. Якубов С. А. BIM технологии в России [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.cnews.ru/articles/2020-02-21_bim_v_rossiichto_ego_stimulirueta (дата обращения: 12.01.2023).
3. Манин П. А. Искусственный интеллект (AI) для решения задач строительной индустрии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://youtu.be/C7dBPvcebqE (дата обращения 12.01.2023).
4. Renga – российская BIM-система для проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rengabim.com/ (дата обращения 12.01.2023).
5. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2019. – 150 с.
6. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. – М.: Стандартинформ, 2019. – 67 с.
7. Проектирование зданий и сооружений в Renga Architecture [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://upport.ascon.ru/source/info_materials/Renga%20Architecrure_posobie.pdf (дата обращения 12.01.2023).
8. Программный комплекс Лира 10.12: руководство пользователя / Ю. Д. Гераймович, И. Д. Евзеров, В. В. Киричок, А. В. Колесников и др. – М., 2021. – 857 с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://lira-soft/com / (дата обращения 12.01.2023).
9. Совместная работа Renga – Лира 10 – Видеокурс: видеоматериал [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.youtube.com/watch?v=QbwKqx7ZZYs (дата обращения 12.01.2023).
10. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85* (с Изменениями № 1, 2). – М.: Стандартинформ, 2017. – 95 с.
11. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – М.: Стандартинформ, 2017. – 162 с.
12. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85. – М.: Стандартинформ, 2012. – 86 с.