

УТКИНА В. Н., БЕЗРУКОВА Е. С.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫСОТНОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ЗДАНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Аннотация. В статье рассмотрены преимущества технологии информационного моделирования зданий. В программном комплексе MONOMAX создана и рассчитана пространственная модель высотного здания гостиницы. Представлены результаты расчета и анализа.

Ключевые слова: информационное моделирование зданий, высотное здание, конструктивная система, монолитный железобетон, МКЭ-расчет, результаты.

UTKINA V. N., BEZRUKOVA E. S.

DESIGN OF HIGH-RISE PUBLIC BUILDING WITH APPLICATION OF INFORMATION TECHNOLOGIES

Abstract. The article considers the advantages of building information modeling. The software MONOMAX was used to design and calculate a 3D model of a high-rise hotel building. The results of the calculation and analysis are presented.

Keywords: building information modeling, high-rise building, structural system, monolithic reinforced concrete, FEM calculation, results.

Технология информационного моделирования зданий в настоящее время получила широкое распространение во всех развитых странах мира. Наша страна стоит на пороге ее повсеместного применения. В декабре 2014 г. Минстрой России утвердил план поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в строительстве, который предусматривает создание правовой и нормативно-технической базы, формирование инфраструктуры и подготовки кадров. Решение вопросов на государственном уровне позволит значительно ускорить реализацию перехода на новую технологию, повысить конкурентоспособность российского строительного комплекса, улучшить качество инженерных изысканий, проектирования, строительства и эксплуатации объектов [1; 2].

Информационное моделирование зданий и сооружений (Building Information Modeling или сокращенно BIM) – это процесс создания и использования информации по строящимся, а также завершенным объектам капитального строительства в целях координации входных данных, организации совместного производства и хранения данных, а также их использования для различных целей на всех этапах жизненного цикла. Под BIM также понимается информационная модель здания – совокупность представленных в электронном виде документов, графических или других данных по объекту строительства, размещаемая в

соответствии с установленными правилами в среде общих данных и представляющая собой единый достоверный источник информации по объекту [3].

Актуальность использования BIM-технологии в строительстве возрастает с каждым годом в связи с разработкой все более масштабных и сложных проектов, а также благодаря появлению программного обеспечения, позволяющего упростить обмен данными между различными составляющими информационной модели и регулировать степень ее детализации на каждом этапе жизненного цикла здания.

Согласно данным информационно-аналитического агентства «McGraw-Hill Construction» BIM-технология обладает следующими преимуществами [4]:

- уменьшение количества ошибок, возникающих на стадии проектирования, в том числе сокращение количества проектных изменений (рис. 1);
- улучшение коммуникации между проектировщиками, а также между проектировщиками и руководителями;
- уменьшение стоимости строительства (уже достигнуто сокращение до 20%, планируется – на 33%);
- сокращение общей продолжительности проекта (проектировщики отмечают трехкратное ускорение работы по сравнению с классическим подходом).

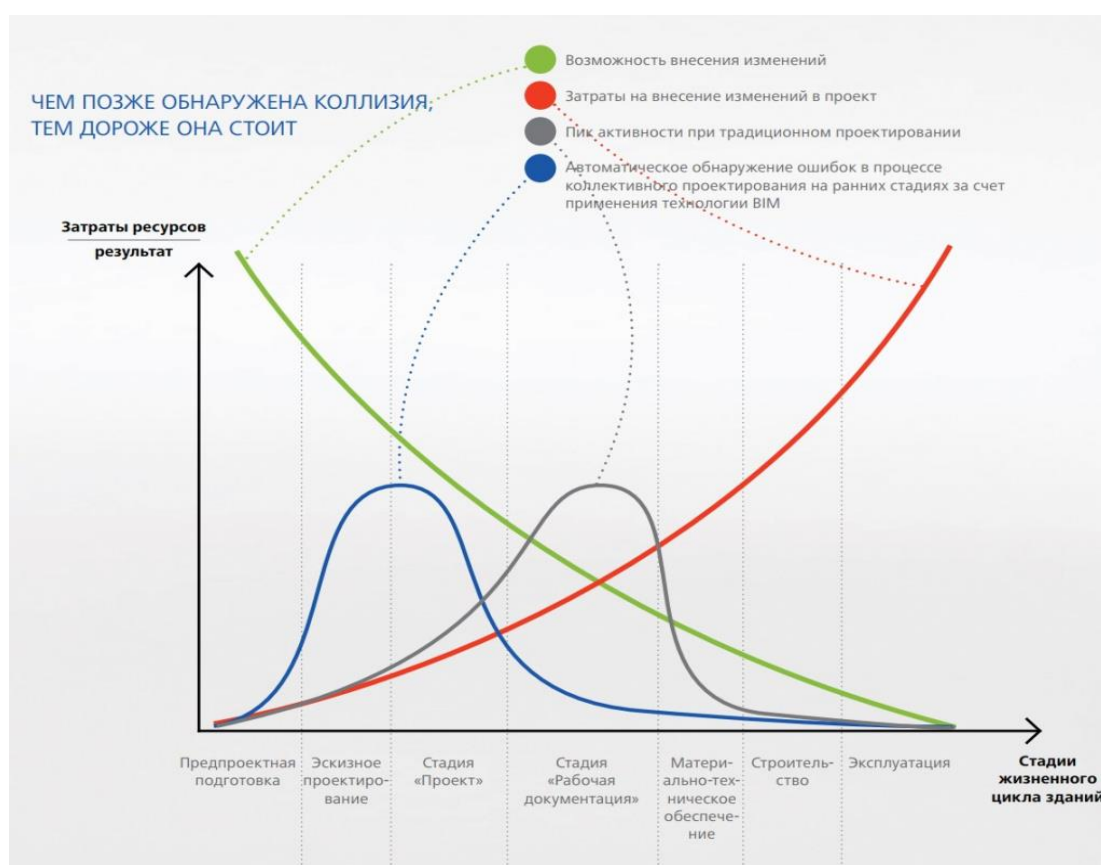


Рис. 1. График, показывающий затраты на внесение изменений в проект на каждой стадии жизненного цикла здания [4].

Ярким примером применения информационного моделирования является строительство Шанхайской башни высотой 632 м, при создании которой было сэкономлено 16 млн. долларов исключительно из-за возможности устранения ошибок на этапе проектирования. После создания инженерных систем и конструкций только на стандартном этаже было обнаружено и устранено порядка 250 строительных конфликтов [5].

Во многих странах BIM-технология используется на государственном уровне. Переход на обязательное применение технологий информационного моделирования при проектировании, строительстве и эксплуатации строительных объектов, создаваемых за счет средств бюджета в России, должен быть осуществлен к 2020 г.

В настоящее время идет процесс создания нормативно-технической базы, разработаны и введены в действие следующие документы, содержащие основные определения и правила информационного моделирования: ГОСТ Р 57310-2016, СП 328.1325800.2017, СП 331.1325800.2017, СП 333.1325800.2017 и др. [3; 6–8]. Своды правил введены впервые и будут изменяться со временем.

Цель данной работы – проектирование конструктивной системы высотного общественного здания с использованием информационных технологий. Выполнены следующие задачи: создание пространственной модели здания в программном комплексе МОНОМАХ; проведение общего расчета конструктивной системы в стадии эксплуатации; анализ полученных результатов.

В качестве объекта информационного моделирования было выбрано здание гостиницы «Four Points by Sheraton» в г. Саранск. В проект внесены необходимые изменения конструктивных решений с учетом задания и рекомендаций СП 267.1325800.2016 [9]. Количество этажей увеличено до 25, изменены размеры сечений колонн, плит перекрытия и стен подвала, высота фундаментной плиты. Проектируемое здание имеет прямоугольную форму в плане с размерами 51,3×45,9 м и высоту – 75,3 м, главный фасад показан на рис. 2. Класс ответственности здания – КС-2.

В здании имеются два подземных и два технических этажа. На первом подвальном этаже высотой 3,3 м размещены служебные и технические помещения; на втором высотой 6 м – переговорные, административные помещения. На третьем этаже высотой 4,7 м находятся холл, ресторан, кухня, фитнес-зал, рецепция, сауна. Затем располагается технический этаж высотой 1,9 м. На типовых этажах с 5-го по 24-й находятся гостиничные номера, высота их составляет 3,3 м. Завершает здание технический этаж высотой 1,9 м.

Конструктивная схема здания представляет собой каркас с диафрагмами жесткости из монолитного железобетона. Основные несущие конструкции: железобетонная монолитная фундаментная плита из тяжелого бетона класса В40 толщиной 1000 мм; стены подвала

толщиной 400 мм, колонны прямоугольного и квадратного сечений с размерами от 500×500 мм до 1000×1000 мм, а также плиты перекрытий толщиной 300 и 250 мм и диафрагмы жесткости толщиной 400, 300 и 200 мм выполнены из монолитного железобетона с применением бетона класса В35. Рабочая продольная арматура класса А400, конструктивная – А240 по ГОСТ 5781-82*. Материалы и размеры сечений несущих конструкций приняты в соответствии с требованиями СП 267.1325800.2016 и СП 63.13330.2012 [9; 10]. Наружные стены здания являются ненесущими, они поэтажно опираются на монолитные плиты перекрытий.



Рис. 2. Проектируемое высотное общественное здание.

Для создания и расчета пространственной модели высотного здания гостиницы использовался специализированный программный комплекс МОНОМАХ [11]. В процессе формирования модели в программе КОМПОНОВКА последовательно задавались конструктивные элементы на соответствующих этажах: колонны, стены и диафрагмы жесткости, а также плиты перекрытий и фундаментная плита. Постоянные и временные нагрузки, действующие на здание, определены в соответствии с СП 20.13330.2011 [12]. Собственный вес несущих конструкций вычисляется программой автоматически. Распределенная по всей площади плиты нагрузка учитывается в момент создания плиты; дополнительно задаются штампы нагрузок в необходимых местах, а также линейно-распределенные нагрузки. Характеристики основания импортируются из модели грунта,

созданной в программе ГРУНТ по данным инженерно-геологических исследований площадки строительства. Производятся предварительные упрощенные расчеты текущего этажа и всего здания, позволяющие выполнить диагностику модели и устранить имеющиеся ошибки.

В программе КОМПОНОВКА задается шаг триангуляции и выполняется МКЭ-расчет на все виды нагрузок. Конечно-элементная схема здания формируется автоматически, она состоит из 11692 конечных элементов и 13135 узлов (см. рис. 3). По результатам общего расчета определены перемещения, усилия и напряжения в основных несущих конструкциях с учетом совместной работы в стадии эксплуатации.

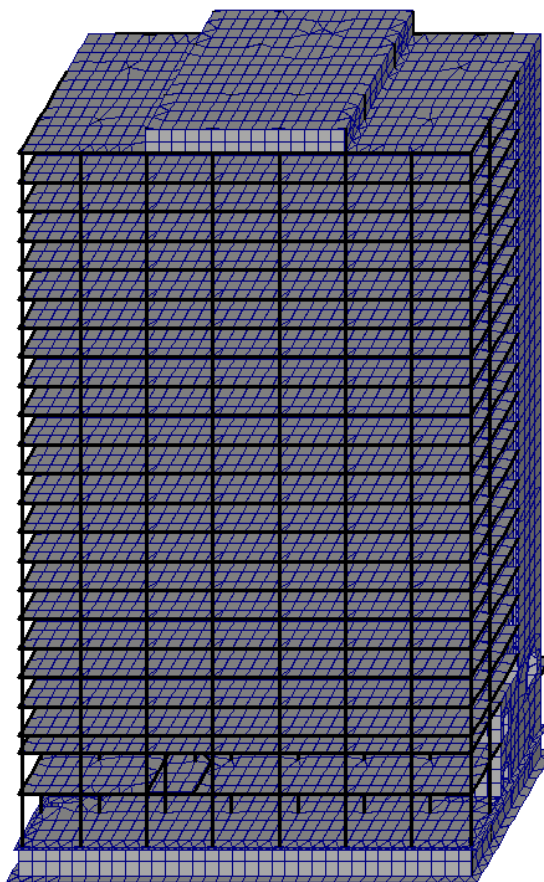


Рис. 3. Расчетная конечно-элементная схема здания.

Рассмотрим некоторые из полученных результатов. Давление под подошвой фундаментной плиты не превышает расчетное сопротивление грунта основания, среднее значение осадки здания составляет 13,15 см, относительная разность осадок равна 0,0008. Перемещения в перекрытиях увеличиваются с повышением этажа. При постоянном нагружении максимальные перемещения по оси Z наблюдаются в плите покрытия и составляют 171 мм (рис. 4). Неравномерность перемещений и наибольшие их значения на

верхних этажах можно объяснить неравномерностью осадки опор плиты и различным укорочением вертикальных элементов в общей схеме здания.

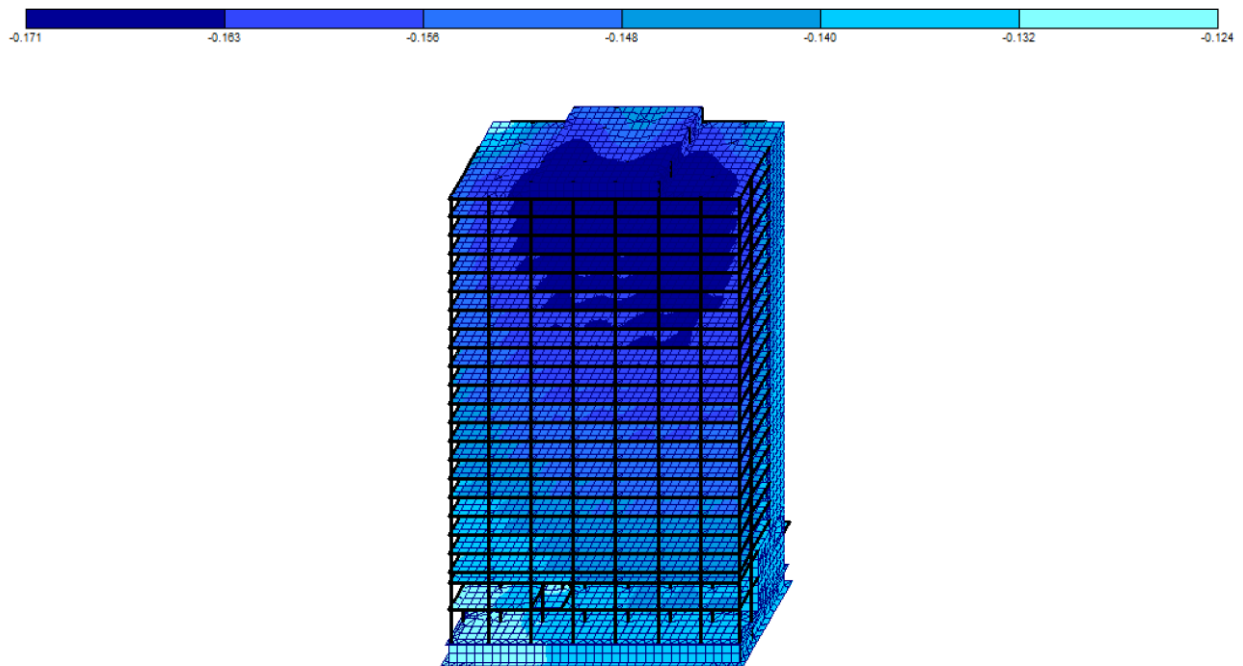


Рис. 4. Изополя перемещений по оси Z от постоянного нагружения, м.

Горизонтальные перемещения системы зависят от направления и значения ветровой нагрузки и с повышением ветрового давления увеличиваются по высоте здания. Максимальные перемещения по осям X и Y при постоянном и ветровом нагружениях составляют 14,4 и 50,3 мм соответственно (рис. 5).

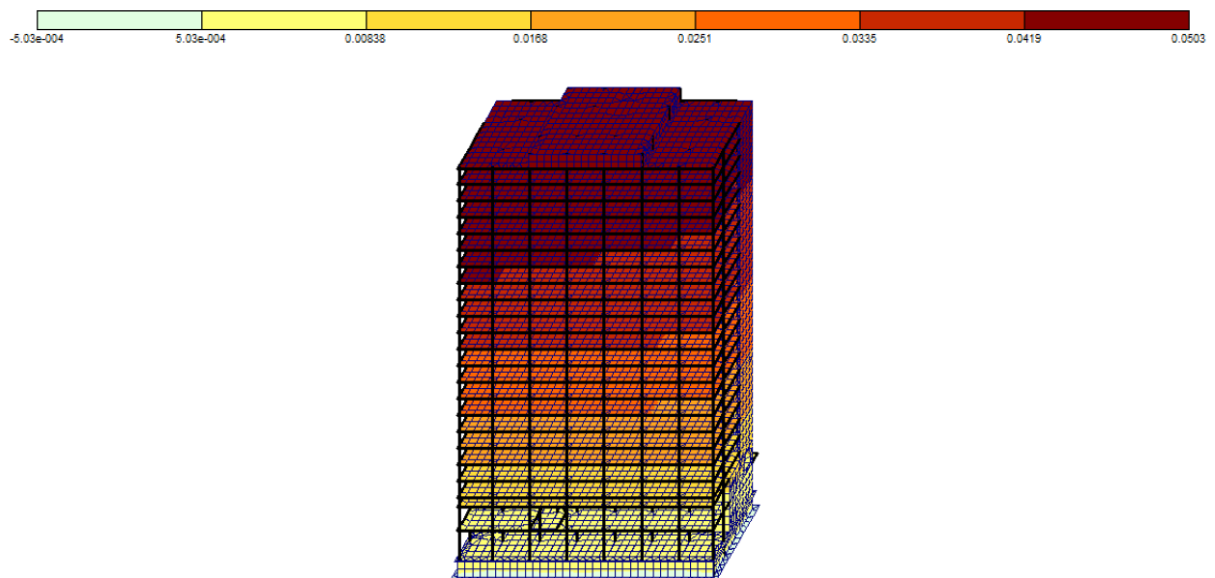


Рис. 5. Изополя перемещений по оси Y от постоянного и ветрового нагружений, м.

Результаты в программе КОМПОНОВКА носят предварительный характер и уточняются в конструирующих программах ПЛИТА, КОЛОННА и РАЗРЕЗ (СТЕНА); при этом расчетные схемы конструкций формируются в режиме импорта.

На рис. 6 и 7 показаны изополя изгибающих моментов M_x и M_y в плите перекрытия типового этажа. Наблюдается четкая картина изменения знака моментов на опорах. При постоянной нагрузке значения моментов M_x и M_y изменяются в пределах от $-15,6$ тс · м до $5,44$ тс · м и от $-14,5$ тс · м до $5,39$ тс · м соответственно. Максимальные положительные изгибающие моменты появляются в пролетах между опорами, отрицательные моменты – над колоннами и стенами. Такое распределение изгибающих моментов характерно для работы монолитных плит перекрытия. В пролетах растянута нижняя часть плиты, на опорах – верхняя. В фундаментной плите наблюдается обратная картина. Эти особенности учитываются при армировании конструкций.

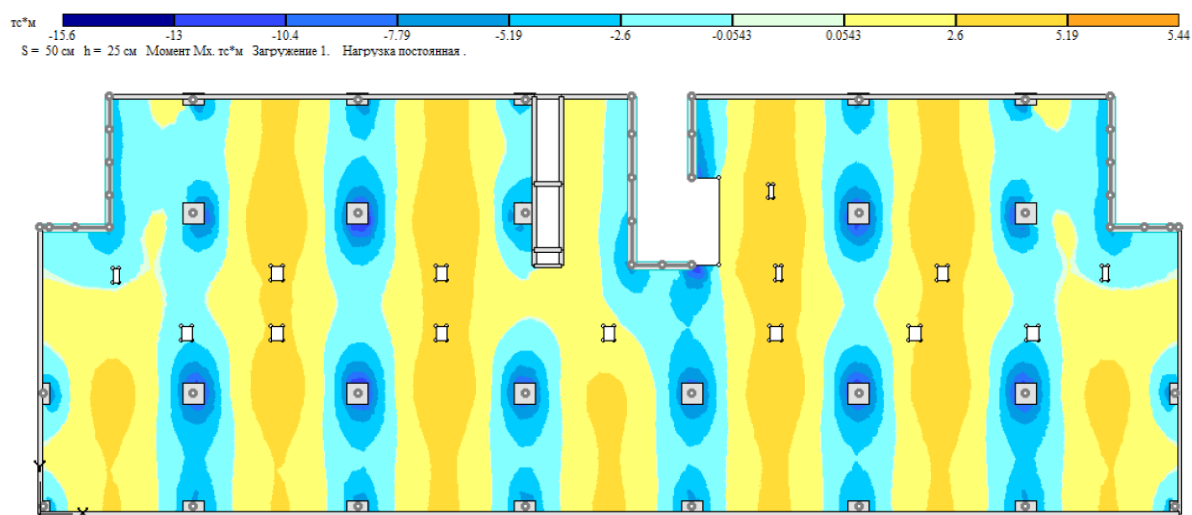


Рис. 6. Изгибающие моменты M_x от постоянного нагружения, тс · м.

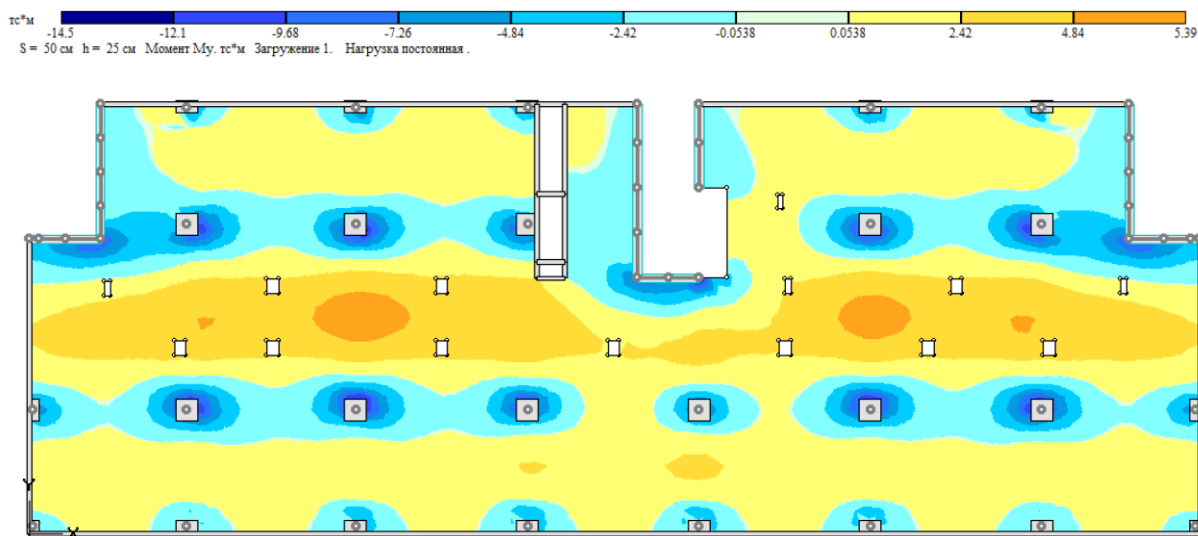


Рис. 7. Изгибающие моменты M_y от постоянного нагружения, тс · м.

В результате общего расчета пространственной модели здания установлены следующие основные параметры: горизонтальные перемещения верха конструктивной системы, перекося этажных ячеек, прогибы элементов перекрытий, коэффициенты запаса устойчивости формы и положения конструктивной системы, средняя осадка, разность осадок фундамента и другие.

Полученные значения параметров конструктивной системы представлены в таблице. Они не превышают предельно допустимых значений, установленных соответствующими нормативными документами [9; 12; 13].

Таблица

Сравнение основных параметров конструктивной системы с допустимыми значениями

Параметр	Полученное значение	Предельно допустимое значение	Источник
Средняя осадка фундамента, см	13,15	$15,0 \times 1,5 = 22,5$	СП 50-101-2004
Перекося этажных ячеек, см	0,172	$h/300 = 330/300 = 1,1$	СП 267.1325800.2016
Прогиб плиты перекрытия 23-го этажа, см	2,1	$l/150 = 810/150 = 5,4$	СП 20.13330.2016
Горизонтальные перемещения верха конструкции, см	5,1	$H/500 = 7530/500 = 15,1$	СП 267.1325800.2016
Относительная разность осадок фундамента	0,0008	0,003	СП 22.13330.2016
Коэффициент запаса устойчивости формы	8,84	> 2	СП 267.1325800.2016
Коэффициент запаса устойчивости положения	11,19	$> 1,5$	СП 267.1325800.2016

Анализ полученных результатов в независимых программных комплексах ЛИРА и STARK ES показал, что принятая конструктивная система обеспечивает прочность, устойчивость и пространственную неизменяемость высотного здания и его отдельных элементов.

Применение информационных технологий позволило в короткие сроки создать пространственную модель каркасно-монолитного здания, выполнить общие и конструктивные расчеты с учетом совместной работы всех несущих элементов и основания в

стадии эксплуатации, вовремя сделать корректировки, исключить ошибки и недочеты, провести необходимые исследования и анализ результатов, значительно улучшить качество проекта, повысить его надежность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Об утверждении Плана поэтапного внедрения технологий информационного моделирования в области промышленного и гражданского строительства (с изменениями на 4 марта 2015 года): Приказ Минстроя России от 29 декабря 2014 года № 926 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/420245345> (дата обращения 08.05.2019).
2. Уткина В.Н., Смолин А.Н. Российский опыт применения BIM-технологий в строительном проектировании // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: материалы Всерос. науч.-техн. конф. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. – С. 201-210.
3. ГОСТ Р 57310-2016. Моделирование информационное в строительстве. – М.: Стандартиформ, 2018. – 32 с.
4. Информационное моделирование объектов промышленного и гражданского строительства: проектирование, строительство, эксплуатация [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/campaigns/BTT-RU/BIM%20for%20buildings_Autodesk.pdf (дата обращения 08.05.2019).
5. Shanghai Tower case study: Rising to new height with BIM [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/case-studies/shanghai-tower/shanghai-tower-customer-story.pdf> (дата обращения 08.05.2019).
6. СП 328.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила описания компонентов информационной модели. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 21 с.
7. СП 331.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила обмена между информационными моделями объектов и моделями, используемыми в программных комплексах. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 21 с.
8. СП 333.1325800.2017. Информационное моделирование в строительстве. Правила оформления информационной модели объектов на различных стадиях жизненного цикла. – М.: Изд-во стандартов, 2017. – 35 с.
9. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – М.: Минстрой России, 2016. – 122 с.

10. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Минрегион России, 2012. – 161 с.
11. Городецкий Д. А. МОНОМАХ-САПР 2013. Примеры расчета и проектирования: учеб. пособие, 2013. – 368 с.
12. СП 20.13330.2011. Нагрузки и воздействия. Актуализированная редакция СНиП 2.01.07-85*. – М.: Изд-во стандартов, 2011. – 80 с.
13. СП 22.13330.2011. Основания зданий и сооружений. Актуализированная редакция СНиП 2.02.01-83*. – М.: Минрегион России, 2011. – 164 с.