

УТКИНА В. Н., ГРЯЗНОВ С. Ю., БАБУШКИНА Д. Р.

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЙ
ВЫСОТНОГО ЖИЛОГО КОМПЛЕКСА С ПРИМЕНЕНИЕМ ПК МОНОМАХ-САПР**

Аннотация. В статье представлены результаты создания и МКЭ-расчета пространственной модели конструктивной системы высотного жилого комплекса в ПК МОНОМАХ-САПР. Выполнено проектирование монолитных железобетонных плит перекрытий.

Ключевые слова: высотное здание, конструктивная система, плиты перекрытий, монолитный железобетон, МКЭ-расчет, конструирование, армирование, анализ.

UTKINA V. N., GRYAZNOV S. YU., BABUSHKINA D. R.

**DESIGN OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE SLABS
OF HIGH-RISE RESIDENTIAL COMPLEX BY USING PC MONOMAKH-CAD**

Abstract. The article presents the results of the development and FEM-calculation of a spatial model of the structural system of a high-rise residential complex in the PC MONOMAKH-CAD. The design of monolithic reinforced concrete floor slabs was performed.

Keywords: high-rise building, structural system, floor slabs, monolithic reinforced concrete, FEM calculation, design, reinforcement, analysis.

С каждым днем заказчики ставят перед архитекторами и инженерами всё более сложные задачи проектирования и эффективного использования площадей возводимых высотных объектов. Пространства должны отвечать гибкостью на любые изменения конъюнктуры рынка. Однозначно самыми потенциальными с точки зрения гибкости пространства и многофункциональности являются здания и сооружения с монолитным железобетонным каркасом.

Основными вертикальными несущими элементами в такой системе являются колонны и ядра жёсткости, занимающие минимальные пространства в общем строительном объеме. Усилия в них распределяются равномерно за счет жесткого соединения с плитами перекрытий. Эта особенность совместной работы всех конструктивных элементов каркаса делает здания менее материалоемкими. Изгибающие моменты в пролетах плит снижаются, а соответственно уменьшается и расчетная площадь нижней рабочей арматуры, но появляется необходимость расположения дополнительной верхней арматуры над опорами, где из-за жесткого соединения возникают значительные моменты.

Кроме того, из эстетических соображений и для экономии пространства в жилых и общественных зданиях проектируются преимущественно безбалочные плиты перекрытий, которые опираются на колонны без капителей. Сами же колонны часто расположены в плане по нерегулярной сетке, поэтому получаются разные и, порой, значительные по величине расчетные пролеты. Плиты могут быть сложной формы и иметь множество отверстий.

Данные особенности монолитных железобетонных плит перекрытий требуют повышенного внимания к расчету (в частности, на продавливание колоннами), конструированию и армированию [1; 2].

Первым и самым важным этапом в современном проектировании является создание многомерной информационной модели объекта. От того насколько точно и грамотно будет составлена модель, зависят все последующие этапы расчета и проектирования отдельных конструкций. В ней должны быть отражены основные технологические, конструктивные и объемно-планировочные решения проектируемого объекта, а также максимально точно определены и назначены нагрузки и воздействия, которым он будет подвержен в процессе и по окончании строительства. Все эти нюансы расчетов требуют огромных вычислительных и функциональных возможностей современных программных комплексов.

Технологии не стоят на месте, постоянно совершенствуются, выводя работу проектировщиков на совершенно иной уровень. В первую очередь, стоит упомянуть технологии информационного моделирования, с помощью которых процесс создания самых сложных и уникальных объектов значительно упрощается [3].

Одним из программных комплексов, поддерживающих концепцию BIM, является ПК МОНОМАХ-САПР. Его успешно применяют при создании пространственной модели и расчете железобетонных каркасно-монолитных высотных зданий. Различные этапы проектирования и расчета конструкций, выполняемые с помощью отдельных программ, в МОНОМАХ-САПР объединены в рамках общего комплексного подхода [4; 5].

Цель данной работы заключалась в проектировании монолитных железобетонных плит перекрытий с учетом взаимодействия всех несущих конструктивных элементов высотного жилого комплекса и основания в программном комплексе МОНОМАХ-САПР. Объектом исследования был выбран строящийся в настоящее время 25-ти этажный жилой комплекс с 2-х этажной стилобатной частью и 2-мя подземными этажами в г. Москва. Комплекс возводится в уже сложившейся ранее застройке. Здание имеет сложную в плане конфигурацию, максимальные размеры в осях (в уровне стилобата) 97,045×79,300 м. Высота комплекса от планировочной отметки земли до наивысшей отметки конструктивного элемента составляет 99,55 м (см. рис. 1).

Архитектурные и объемно-планировочные решения, а также результаты инженерно-геологических изысканий были приняты из реального проекта. В конструктивные решения были внесены необходимые изменения с учетом требований сводов правил [6–10].



Рис. 1. Проектируемый жилой комплекс.

Архитектурные и объемно-планировочные решения объекта. На отметке -9,900 м размещаются помещения: стоянки для автомобилей, насосной станции, слаботочных систем, радиоузла, лифтового холла, хранения аварийного запаса воды. На отметке -5,200 м размещаются помещения: супермаркета, разгрузочных торгового центра, ramпы, универсальной кабины для маломобильных групп населения. Первым жилым этажом комплекса является 4-ый этаж. На жилых этажах располагаются квартиры различной планировки: студии, одно-, двух-, трехкомнатные классического и евро формата. Кровля стилобата на отметке +10,550 м эксплуатируемая. На кровле размещаются детская площадка и площадка для занятия физкультурой. Начиная с 16-го жилого этажа, форма башни изменяется. Она поворачивается относительно нижележащих этажей, становится прямоугольной в плане и уменьшается в сечении. Высота этажей: -2-го этажа – 4,7 м; -1-го этажа – 5,2 м; 1-го и 2-го – 5,1 м; 3-го и выше – 3,5 м. Высотная часть комплекса построена вокруг центрального ядра жесткости – незадымляемого лестнично-лифтового узла.

Основные характеристики объекта: степень огнестойкости – I; уровень ответственности – II; класс конструктивной пожарной опасности здания – CO; класс функциональной пожарной опасности здания – Ф1.3, Ф3.1, Ф3.2, Ф4.3, Ф5.2. Здание

оборудовано всеми необходимыми современными инженерными системами в соответствии с СП 267.1325800.2016 [6].

Конструктивные решения объекта. Конструктивная схема здания представляет собой каркас из монолитного железобетона. Фундамент здания запроектирован в виде сплошной монолитной железобетонной плиты толщиной 2500 мм из тяжелого бетона класса В40. Плиты перекрытий – монолитные железобетонные из бетона класса В40. Стены здания – монолитные железобетонные толщиной 250 и 300 мм, материал – бетон В35. Колонны с отметки 0,000 м до отметки +10,050 м – монолитные железобетонные сечением 600×600 мм, 800×800 мм и круглые диаметром 900 мм из тяжелого бетона В60. Колонны с отметки +10,050 м до отметки +55,550 м – монолитные железобетонные сечением 500×800 мм, 700×700 мм и круглые диаметром 700 мм из тяжелого бетона В60. Колонны с отметки выше +55,550 м – монолитные железобетонные сечением 500×500 мм, 500×600 мм и круглые диаметром 600 мм из тяжелого бетона В40. Стены лестнично-лифтовых блоков (ядра) монолитные железобетонные толщиной 250 и 300 мм из тяжелого бетона В60. Арматура рабочая класса А500С по ГОСТ Р 52544-2006 принята для всех несущих конструкций здания.

На основании исходных данных была сформирована пространственная модель монолитного железобетонного каркаса высотного жилого комплекса в программе КОМПОНОВКА ПК МОНОМАХ-САПР (см. рис. 2, 3); создана модель грунта в программе ГРУНТ; произведен линейный и нелинейный МКЭ-расчет.

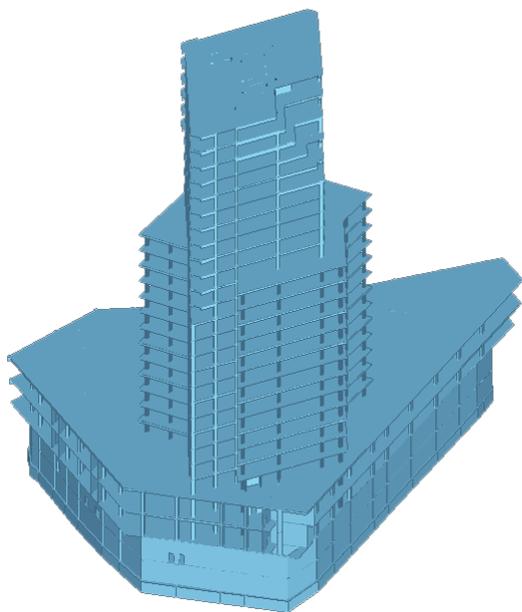


Рис. 2. 3D-модель здания.

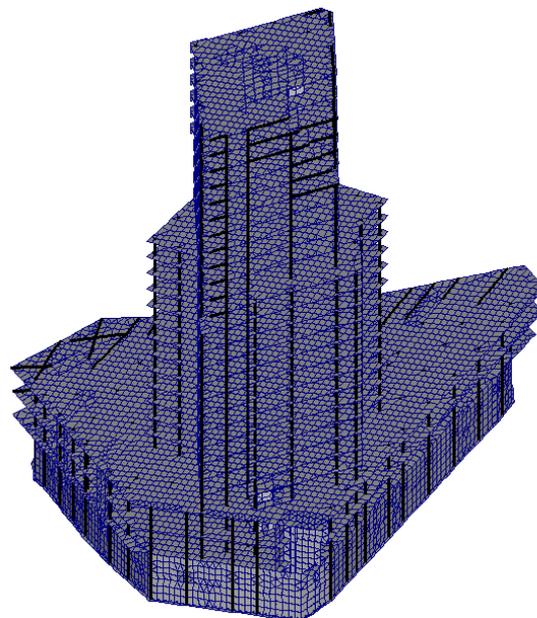


Рис. 3. Конечно-элементная схема здания.

Сравнение некоторых результатов общего расчета конструктивной системы здания с нормативными значениями приведены в таблице.

Таблица

Сравнение расчетных параметров конструктивной системы с допустимыми значениями

Параметр	Полученное значение (линейный расчет)	Полученное значение (нелинейный расчет)	Предельно допустимое значение	Наименование источника
1	2	3	4	5
Горизонтальное перемещение верха конструкции по X, см	2,68	2,92	20,06	СП 267.1325800.2016; п. 8.2.4.15
Горизонтальное перемещение верха конструкции по Y, см	3,70	3,20	20,06	СП 267.1325800.2016; п. 8.2.4.15
Перекося этажей, см	0,17	0,2	1,27	СП 267.1325800.2016; п. 8.2.4.16
Прогиб плиты перекрытия 1-го этажа, см	0,65	1,70	4,72	СП 20.13330.2016, приложение Д, таблица Д.1 ($l = 10,7$ м)
Прогиб плиты перекрытия 11-го этажа, см	0,40	0,85	4,10	СП 20.13330.2016, приложение Д, таблица Д.1 ($l = 9$ м)
Средняя осадка фундамента, см	7,11	7,46	15	СП 22.13330.2016, приложение Г, таблица Г.1
Относительная разность осадок фундамента	0,001	0,002	0,003	СП 22.13330.2016, приложение Г, таблица Г.1

Максимальные значения расчетных параметров меньше предельно допустимых, определенных по нормативным документам [6; 7; 9]. Конструктивная система обеспечивает прочность, устойчивость и пространственную неизменяемость высотного здания.

Расчет плит перекрытий. Модель, импортированная из программы КОМПОНОВКА в программу ПЛИТА после выполнения МКЭ-расчета, позволяет исследовать работу плиты с учетом перемещений опор и взаимодействия всех несущих конструкций здания.

Рассмотрим плиту перекрытия 1-го этажа толщиной 300 мм. В программе ПЛИТА автоматически формируется расчетная конечно-элементная схема с учетом заданного шага триангуляции – 50 см. По результатам расчета определяются: значения оптимальной толщины плиты, перемещений, изгибающих моментов M_x (см. рис. 4) и M_y , поперечных сил Q_x и Q_y , площади верхнего (см. рис. 5) и нижнего армирования. Максимальные положительные изгибающие моменты возникают в пролетах между колоннами и стенами.

Они меняют свой знак, приближаясь к опорам, что является характерным для работы монолитных плит перекрытий. Наиболее напряженными являются приопорные зоны, здесь моменты и поперечные силы имеют наибольшие значения. Изополя армирования соответствуют изменению изгибающих моментов.

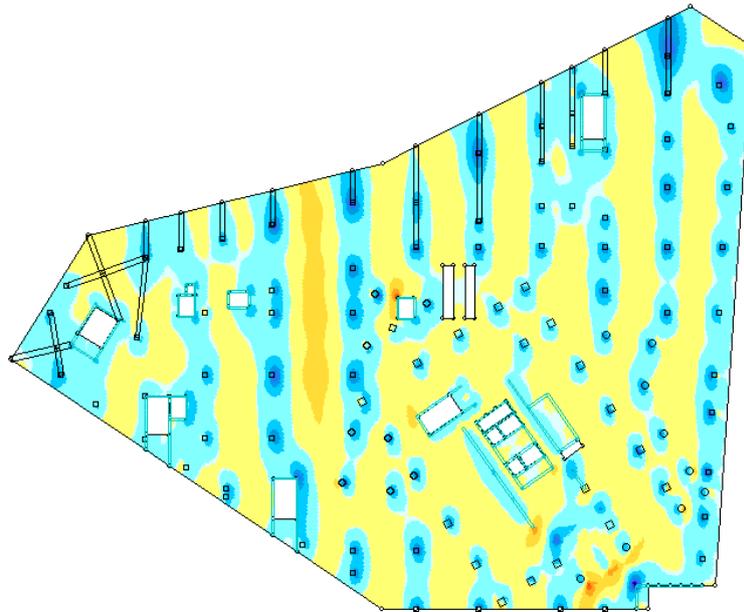
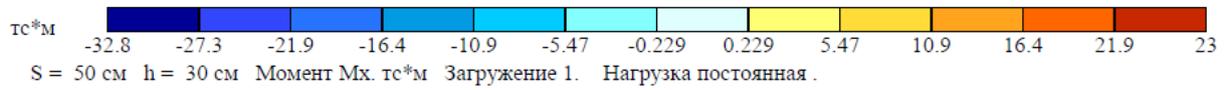


Рис. 4. Изополя изгибающих моментов M_x , тс·м.

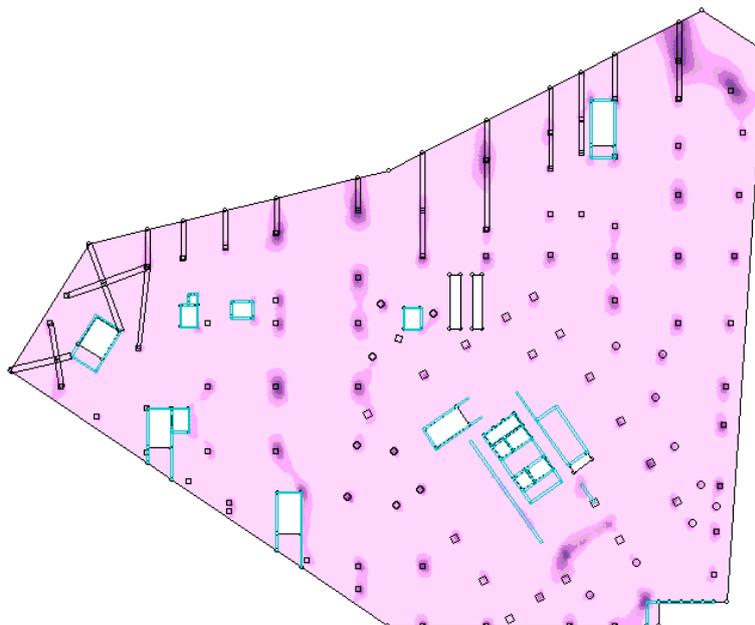
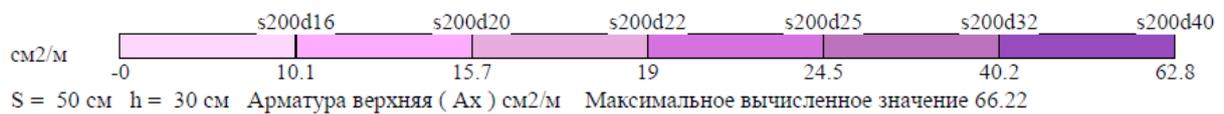


Рис. 5. Изополя верхнего армирования плиты вдоль оси X, см²/м.

На основании проведенного расчета выполняем конструирование плиты. Принимаем фоновую рабочую арматуру нижней грани плиты диаметром 22 мм класса А500С с шагом 200 мм в обоих направлениях, для верхней грани – диаметром 25 мм класса А500С с шагом 200 мм. Дополнительное армирование в зонах с повышенными значениями растягивающих усилий производится в полуавтоматическом режиме.

По аналогии рассчитываем плиту 11-го этажа толщиной 300 мм. Задаем шаг триангуляции 50 см и формируем конечно-элементную схему плиты. По результатам расчета определяются характеристики напряженно-деформированного состояния: перемещения, изгибающие моменты M_x (см. рис. 6) и M_y , поперечные сил Q_x и Q_y , а также площади верхнего (см. рис. 7) и нижнего армирования.

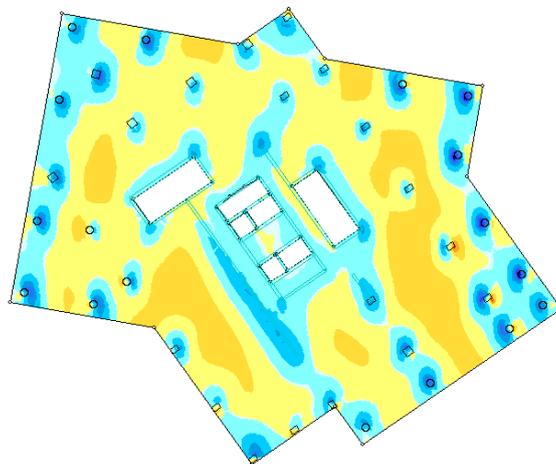
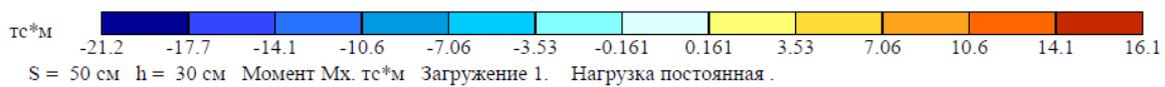


Рис. 6. Изополя изгибающих моментов M_x , тс·м.

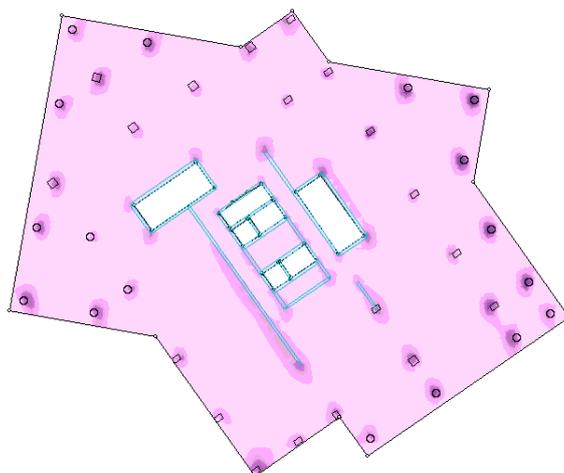
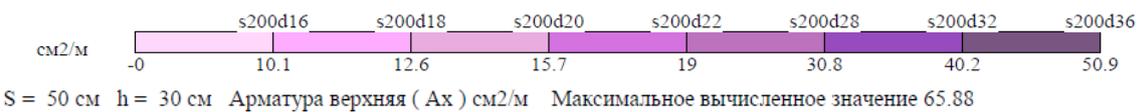


Рис. 7. Изополя верхнего армирования плиты вдоль оси X, см²/м.

Принимаем фоновую рабочую арматуру нижней грани плиты диаметром 18 мм класса А500С с шагом 200 мм в обоих направлениях, а рабочую арматуру верхней грани – диаметром 20 мм класса А500С с шагом 200 мм. Назначаем участки раскладки стержней дополнительной арматуры в необходимых местах плиты перекрытия. Чертежи, спецификации и ведомости расхода стали формируются автоматически.

Применение специализированного программного комплекса МОНОМАХ-САПР позволило создать пространственную модель конструктивной системы высотного жилого здания; выполнить необходимые расчеты фрагментированных плит перекрытий с учетом совместной работы всех несущих элементов здания и анализ результатов; произвести конструирование и армирование монолитных плит.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Байков В. Н., Сигалов Э. Е. Железобетонные конструкции: Общий курс: Учеб. для вузов. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
2. Городецкий А. С., Евзеров И. Д. Компьютерные модели конструкций. – М.: АСВ, 2009. – 344 с.
3. Уткина В. Н., Грязнов С. Ю., Бабушкина Д. Р. Проблемы и перспективы внедрения технологий информационного моделирования в области строительства в России // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций: Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвящ. 75-летию заслуженного деятеля науки РФ, акад. РААСН, д-ра техн. наук, проф. Селяева В. П. 3-5 декабря 2019 г. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2019. – С. 408–413.
4. МОНОМАХ-САПР. Проектирование и расчет железобетонных и армокаменных конструкций многоэтажных зданий. LIRALAND Group официальный сайт [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.liraland.ru/mono> (дата обращения 02.02.2019).
5. Городецкий Д. А. МОНОМАХ-САПР 2013. Примеры расчета и проектирования: учеб. пособие, 2013. – 368 с.
6. СП 267.1325800.2016. Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. – М.: Минстрой России, 2016. – 122 с.
7. СП 22.13330.2016. Основания зданий и сооружений. – М.: Минстрой России, 2016. – 228 с.

8. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: Минстрой России, 2012. – 168 с.
9. СП 20.13330.2016. Нагрузки и воздействия. – М.: Минстрой России, 2016. – 104 с.
10. СП 430.1325800.2018. Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования. – М.: Минстрой России, 2018. – 67 с.