

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗВЕДЕНИЯ МОНОЛИТНО-КАРКАСНОГО МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

Есенаманов Н.К.

МУИТ Институт строительства и инновационных технологий e-mail: nariman98@inbox.ru

Аннотация. В статье рассматривается проблема учета последовательности возведения высотного здания. Выполнено моделирование процесса возведения и расчет высотного каркасно-монолитного жилого зданияго методом конечных элементов в ПК МОНОМАХ-САПР. Приведены результаты расчета конструкций.

КОП КАБАТТУУ МОНОЛИТ-КАРКАСТУУ ТУРАК-ЖАЙ ИМАРАТТЫ КУРУУНУН МОДЕЛДОО ТЕХНОЛОГИЯСЫ

Есенаманов Н.К.

ЭИТУ КИТИ e-mail: nariman98@inbox.ru

Аннотация. Макалада көп кабаттуу имаратты тургузуунун ырааттуулугун эске алуу маселеси каралат. MONOMAKH-SAPR программалык комплексинде чектүү элементтер ыкмасы менен бийик каркас-монолиттик турак-жайды куруу процессин моделдөө жана эсептөө жүргүзүлдү. Курулуштарды эсептөөнүн жыйынтыгы келтирилген.

SIMULATION OF THE PROCESS OF CONSTRUCTION OF A HIGH-RISE FRAME-MONOLITHIC BUILDING

Esenamanov N.K.

Annotation. The article deals with the problem of taking into account the sequence of erection of a high-rise building. Modeling of the erection process and calculation of a high-rise frame-monolithic hotel building by the finite element method in the MONOMAKH-SAPR software package was carried out. The results of the calculation of structures are given.

Введение. У информационного моделирования зданий есть еще одно весьма интересное качество – оно дает возможность проводить научные исследования и эксперименты практически по всем вопросам, проектирования, энергопотреблением, особенностями проектирования и возведения и другими аспектами проектно-строительной деятельности [1].

Проблема учета последовательности возведения зданий с каждым годом приобретает все большую актуальность. Пристальное внимание задаче исследования напряженно-деформированного состояния с учетом поэтапного изменения расчетных моделей уделяется на ежегодном Международном симпозиуме «Актуальные проблемы компьютерного моделирования конструкций и сооружений». Моделирование процесса возведения имеет особое значение для проектирования конструкций высотных зданий из монолитного железобетона.

СП 267.1325800.2016, «Здания и комплексы высотные. Правила проектирования» и СП430.1325800.2018 «Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования», рекомендует проектировать монолитные конструктивные системы с учетом их жизненного цикла и с учетом параметров долговечности, моделей разрушения и т.п. [2,3]. К землетрясением- наилучший способ защиты от них. Это можно осуществить посредством систематического усовершенствования норм сейсмостойкого строительства [4,5,6,7].

Научно-обнованное и качественное сейсмостойкое строительство и превентивное мероприятия по подготовке к землетрясением- наилучший способ защиты от них. Это можно осуществить посредством систематического усовершенствования норм сейсмостойкого строительства. Особое внимание следует обращать на вопросы безопасности сооружений, а не на установление точного дня и аса их разрушения.[6,8].

Для создания конструкции определяется соответствующая своя расчетная схема [9]. Проводится статические расчеты [9]. В процессе возведения высотного здания вместе с изменением его фасадной формы и размеров происходит изменение прилагаемых нагрузок, действующих на здание. При этом напряженно-деформированное состояние (НДС) возводимого здания изменяется до тех пор, пока не сформируется окончательно после завершения строительства, причем конечное НДС отличается от того, которое получается при одновременном приложении всех действующих сил к уже возведенному сооружению [10].

В случае значительного изменения расчетной модели задача определения напряженно-деформированного состояния здания при учете последовательности возведения решается в генетически нелинейной постановке - одной из разновидностей геометрической нелинейности [11].

В данной работе моделирование возведения и расчет здания осуществляется методом конечных элементов в программе КОМПОНОВКА программного комплекса МОНОМАХ САПР.

Программный комплекс МОНОМАХ-САПР предназначен для расчета и проектирования конструкций зданий из монолитного железобетона, а также зданий с кирпичными стенами. В процессе работы комплекса производится расчет здания и его отдельных частей с формированием рабочих чертежей и схем армирования конструктивных элементов. ПК МОНОМАХ-САПР состоит из отдельных программ - КОМПОНОВКА, БАЛКА, КОЛОННА, ФУНДАМЕНТ, ПОДПОРНАЯ СТЕНА, ПЛИТА, РАЗРЕЗ (СТЕНА), КИРПИЧ. [12].

КОМПОНОВКА. Создание модели проектируемого здания из конструктивных элементов на плане произвольной конфигурации. Автоматический сбор нагрузок, подбор и проверка сечений конструктивных элементов. Определение расхода и

стоимости материалов. Формирование пространственной расчетной схемы здания и конечно-элементный расчет с возможностью анализа результатов. Экспорт данных в программы конструирования. Экспорт нагрузок на фундаменты в ФОК-ПК, экспорт расчетной схемы в программный комплекс ЛИРА-САПР.

Модель здания формируется из конструктивных элементов: колонн, балок, стен, перегородок, плит перекрытия, фундаментных плит и свай.

Сервисные возможности – создание вспомогательных сетей плана, перемещение и поворот координатного базиса, копирование, перемещение, поворот, удаление, корректировка свойств одного или группы конструктивных элементов, копирование этажей, – сокращают время создания модели и позволяют выполнить вариантное проектирование.

Вертикальные нагрузки задаются в виде распределённых по всей площади или по участку плиты и в виде распределённых по линии и сосредоточенных сил. Горизонтальные нагрузки задаются либо в уровне плит перекрытий в виде линейно распределённых и сосредоточенных сил, либо перпендикулярно плоскости стен в виде неравномерно распределённых по площади сил. Автоматически учитывается собственный вес конструктивных элементов. Для учета ветровых и сейсмических воздействий задается информация о районе строительства и направлении воздействия.

Выполняются предварительный и МКЭ расчет. При выполнении МКЭ расчета автоматически формируется конечно-элементная схема и производятся статический и динамический расчеты, в результате которых определяются перемещения в узлах, усилия и напряжения в конечных элементах, суммарные нагрузки для стен и колонн в заданных загрузках, формируется таблица частот и периодов колебаний. Анимация собственных колебаний дает дополнительную информацию для анализа модели.

По результатам каждого из расчетов выполняется предварительная проверка сечений конструктивных элементов, формируется ведомость расхода материалов, таблица стоимости здания.

Предоставляется возможность оценить модель здания и принять необходимые инженерные решения.

Объектом моделирования является высотное многоэтажное жилое здание. Длина 42м, ширина 36м, высота 60м, т.е 24 этажей

Конструктивная схема здания представляет собой каркас с диафрагмами жесткости из монолитного железобетона. Пространственная жесткость и устойчивость здания, а также восприятие внешних силовых воздействий обеспечивается совместной работой фундаментной плиты, несущих стен и колонн, плит перекрытий и покрытия. Несущие конструкции выполнены из монолитного железобетона. Фундаментная плита - из бетона класса В40, толщиной 1000 мм; стены подвала толщиной 400 мм, колонны

прямоугольного и квадратного сечений от 500x500 до 1000x1000 мм, а также плиты перекрытий толщиной 250 и 300 мм и диафрагмы жесткости толщиной 200-400 мм- из бетона класса В35. Рабочая продольная арматура - А500С, конструктивная - А240.

Проектируемое высотное многоэтажное жилое здание представлено на рис. 1



Рис. 1. Многоэтажное жилое здание

В ПК МОНОМАХ-САПР реализована возможность учета поэтапности возведения здания с выравниванием уровней перекрытий [13]. Для этого в окне «МКЭ расчет» необходимо указать номера тех этажей, которые входят в тот или иной этап. При этом собственный вес всегда прикладывается к элементам в момент их возведения; для остальных нагрузок постоянного нагружения рекомендуется указывать момент их появления. Нагрузки других нагружений прикладываются после возведения всего здания.

В рамках каждой монтажной стадии производится расчет той конструктивной системы здания, которая содержит относящиеся к этой стадии элементы и нагрузки. Посредством МКЭ-расчета вычисляются накапливаемые в процессе возведения усилия и напряжения для элементов. При расчете без учета возведения в колоннах верхних этажей здания могут возникать достаточно большие растягивающие усилия. Модуль «Монтаж» приравнивает к нулю перемещения узлов, добавляемых перед расчетом каждой новой стадии. Таким образом, перемещения узлов накапливаются с определенным выравниванием в процессе возведения, что дает более верную картину.

Были рассмотрены пять этапов возведения здания, на каждом из них учитывалось понижение прочности бетона конструкций и различное время приложения нагрузок от наружных стен:

- ❖ 1-й этап (с -2-го по 3-й этажи), прочность бетона составляет 0,3 от проектного значения, нагрузка от стен появляется после возведения 6-го этажа;

- ❖ 2-й этап (с 4-го по 8-й этажи), прочность бетона 1-го и 2-го этапа - 0,6 и 0,3 от проектного значения соответственно, нагрузка от стен появляется после возведения 11-го этажа;

- ❖ 3-й этап (с 9-го по 13-й этажи), прочность бетона 1-го, 2-го и 3-го этапа - 0,8, 0,6 и 0,3 от проектного значения соответственно, нагрузка от стен появляется после

возведения 16-го этажа;

❖ 4-й этап (с 14-го по 18-й этажи), прочность бетона 1-го этапа проектная, 2-го, 3-го и 4-го этапа - 0,8, 0,6 и 0,3 от проектного значения соответственно, нагрузка от стен по- является после возведения 21-го этажа;

❖ 5-й этап (с 19-го по 23-й этажи), прочность бетона 1-го и 2-го этапов проектная, 3-го, 4-го и 5-го этапа - 0,8, 0,6 и 0,3 от проектного значения, нагрузка от стен появляется после возведения всего здания.

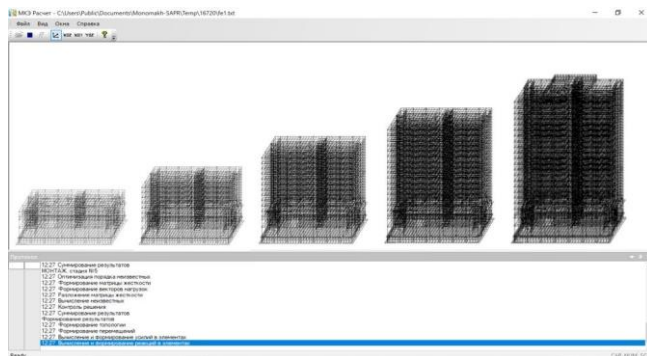


Рис. 2. Монтажные стадии в окне расчетного процессора

Монтажные стадии в окне расчетного процессора представлены на рис. 2.

Процесс возведения здания состоит из нескольких этапов, в рамках каждого из которых выполняется создание фрагмента конструкции путем наращивания от яруса к ярусу. При этом поэтапно формируется полная система, соответствующая проектному решению. На каждом из этапов возведения происходит замыкание локальной подсистемы конструкции и некоторого предварительного напряженно-деформированного состояния, которое может влиять на итоговое состояние системы

При расположении диафрагм жесткости в середине рамы, вертикальные деформации колонн, примыкающих к диафрагме, будут меньше, чем у крайних, ввиду большей их жесткости. Особую опасность представляют собой крайние ячейки каркаса, именно в них разность между продольными деформациями крайних и внутренней ближайшей колонны будет наибольшей. Внутри здания средние колонны работают практически в одинаковых условиях и их продольные деформации мало отличаются [13,14].

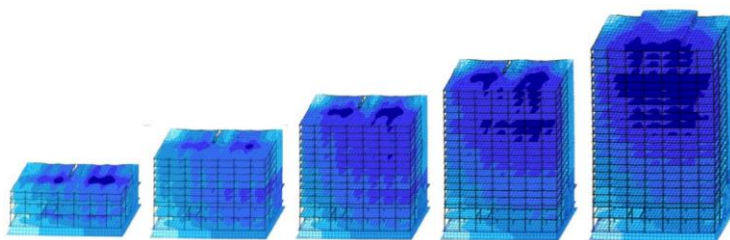


Рис. 3. Деформированная схема и изо поля перемещений по оси Z на всех монтажных стадиях

Таблица 1. Перераспределение усилий от постоянной нагрузки в колоннах подвала

Усилие	Колонна 2_6					Колонна 2_8				
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5
M _y , тс·м	-6,58	-6,88	-7,50	-7,82	-6,90	-6,72	-7,26	-8,20	-8,88	-8,62
	9,52	9,52	12,0	12,38	10,67	9,42	9,97	13,08	14,37	14,68
M _z , тс·м	-3,18	-4,87	-8,12	-10,10	-13,72	-1,02	-1,33	-2,51	-2,78	-4,02
	3,88	6,05	10,15	12,67	17,40	1,88	2,66	4,59	5,74	8,41
N, тс	-275,8	-624,1	-962,0	-1263	-1442	-274,4	-614,0	-943,0	-1226	-1365
	-260,1	-608,8	-947,1	-1252	-1428	-259,3	-599,0	-928,0	-1210	-1350

Таблица 2. Изменение экстремальных значений моментов, усилий и перемещений на всех стадиях монтажа конструкций

Усилие от постоянной нагрузки	Модель здания				
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5
M _x , (тс·м)/м	-20,22	-39,3	-53,8	-69,12	-85,2
	32,21	61,60	82,5	105,2	141,2
M _y , (тс·м)/м	-18,90	-38,8	-56,5	-74,2	-89,2
	26,61	50,52	75,5	98,2	116,2
Q _x , тс/м	-50,20	-97,3	-144,0	-190,2	-224,2
	55,11	105,0	158,0	206,1	237,2
Q _y , тс/м	-84,0	-123,0	-175,2	-194,1	-235,1
	60,8	99,4	145,2	186,2	220,0
Перемещение по оси Z, мм	-18,22	-40,7	-68,2	-97,7	-124,2
	-34,62	-66,4	-104,0	-148,2	-185,4

Закключение:

Анализируя результаты расчета модели здания с учетом поэтапного стадийного возведения, отмечаем различия с теми значениями, которые получены при МКЭ-расчете по традиционной технологии.

Экстремальные значения вертикальных перемещений по оси Z для плит перекрытий снижаются. Это обусловлено уменьшением осадки нижележащих опор при учете процесса монтажа. В традиционной постановке задачи перемещения увеличивались за счет сложения нагрузок от всех конструкций сразу. При учете монтажа все нагрузки суммируются постепенно. Осадки по каждому этажу уменьшаются, это дает в конечном результате разницу по перемещениям на верхних этажах.

Незначительно изменились величины усилий для фундаментной плиты и колонн нижнего этажа. Однако на различных стадиях монтажа усилия в колоннах значительно отличаются. Добавляется нагрузка от вышележащих этажей, что увеличивает продольные сжимающие усилия и моменты.

Сравнительный анализ результатов показывает, что при моделировании здания с

учетом возведения наблюдается несколько иная картина распределения напряжений и усилий, разница в результатах при двух способах расчета незначительна на нижних этажах, но по мере увеличения высоты здания она возрастает. Для объектов высотного строительства расчет с учетом поэтапного возведения необходим. Он позволит инженерам правильно оценить напряженно-деформированное состояние и реальную работу конструкций, что может привести к экономии бетона и арматуры при их проектировании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. **Талапов В.В.** Основы BIM: Введение информационное моделирование зданий. – М.: ДМК. Пресс, 2020. – 392 с.
2. СП 430.1325800.2018 Монолитные конструктивные системы. Правила проектирования.-М.: Минстрой России, 2018. - 64 с.
3. СП 267.1325800.2016 Здания и комплексы высотные. Правила проектирования. - М.: Минстрой России, 2016. - 122 с.
4. СН КР 20-02:2018. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Государственное агентство по архитектуре и строительству при Правительстве Кыргызской Республики, Бишкек, Кыргызская Республика.
5. СН КР 20-02:2009. Сейсмостойкое строительство. Нормы проектирования. Государственный институт сейсмостойкого строительства и инженерного проектирования Госстроя Кыргызской Республики и Международная Ассоциация экспертов по сейсмостойкому строительству, Бишкек, Кыргызская Республика.
6. **Бржев С.Н., Бегалиев У.Т.** Состояние проектирования и конструирования сейсмоусиления зданий в Кыргызской Республике. – Бишкек: Наука и инновационные технологии, №1/2019(10), С.3-19.
7. **Тяпин А.Г.,** Взаимодействие высотного здания с основанием при сейсмическом воздействии. – Бишкек: Вестник Международной ассоциации экспертов по сейсмостойкому строительству, №1/2018(2), С.178-181.
8. **Матыева А.К., Таалайбеков А, Апысов К, Рыспаев Э, Таалайбеков С.** Инновация в сейсмостойком строительстве. – Бишкек: Наука и инновационные технологии, №1/2021(18), С.155-161.
9. **Перельмутер А. В.** Анализ конструкций с изменяющейся расчетной схемой / А.В. Перельмутер, О.В. Кабанцев. - М.: Издательство СКАД СОФТ, Издательский дом АСВ, 2015.
10. **Рудых О.Л.** Нелинейный расчет напряженно-деформированного состояния сооружений при учете последовательности возведения / О.Л. Рудых // Вестник ИрГТУ, 2010. - № 1 (41). - С. 239-244.
11. **Макрытчев О.В.** Анализ изменения усилий в конструкциях при учете стадийности возведения / О.В. Макрытчев, М.И. Андреев, Д.С. Сидоров // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. - 2018. - № 14 (4). - С. 293-298.
12. **Городецкий Д.А., Юсипенко С.В., Батрак Л.Г., Лазарев А.А., Рассказов А.А.** МОНОМАХ-САПР 2013. Учебное пособие. Примеры расчета и проектирования. – Киев.: Электронное издание, 2013. – 368 с.
13. **Уткина В.Н.** Исследование устойчивости конструктивной системы высотного общественного здания в программных комплексах ЛИРА- САПР и STARKES / В.Н. Уткина, Е.С. Безрукова // Эксперт: теория и практика. - 2020. - № 3 (6). - С. 69-73. DOI 10.24411/2686-7818-2020-10028.
14. **Городецкий А.С.** МОНОМАХ-САПР - программный комплекс для автоматизированного проектирования железобетонных и армокаменных конструкций многоэтажных каркасных зданий / А.С. Городецкий, А.А. Лазарев // Новые компьютерные технологии. - 2012. - № 1 (9). - С. 38-41.