

Численный эксперимент по регулированию напряженно-деформированного состояния плиты перекрытия уникального здания

Г.М. Кравченко, Д.А. Высоковский, Е.В. Труфанова

Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону

Аннотация: Рассмотрено регулирование напряженно-деформированного состояния плиты перекрытия с целью выбора оптимального конструктивного решения каркаса уникального здания. Предложено три варианта конструктивных решений с варьированием армирования плиты и сечений вертикальных элементов каркаса. Численный эксперимент выполнен методом конечных элементов с использованием программного комплекса Лира-САПР. Для повышения точности полученных результатов произведены расчеты с учетом нелинейной работы материалов. Расчетная модель плиты перекрытия включает в себя физически нелинейные оболочечные конечные элементы. Нелинейные загрузки моделировались с учетом ползучести бетона. По результатам проведенных расчетов выполнен анализ прогибов плиты перекрытия и расхода материалов. Численный эксперимент позволил предложить целостное конструктивное решение по каркасу уникального здания.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, метод конечных элементов, уникальное здание, физическая нелинейность, закон деформирования, каркас здания.

Современные требования к строительным конструкциям ставят на первое место надежность заложенных проектных решений. Для обеспечения поставленного требования чаще всего используют численное моделирование поведения строительных конструкций на всех этапах жизненного цикла здания [1].

Численные эксперименты выполняют в современных сертифицированных и верифицированных программных комплексах основанных на методе конечных элементов [2,3]. Проектировщики чаще всего моделируют работу строительных конструкций с учетом линейной работы материалов. Но для повышения точности проектных решений все чаще используются нелинейные соотношения между напряжениями и деформациями элементов [4,5].

В качестве исследуемого объекта выбрано 39 этажное офисное здание. Здание является уникальным, так как его высота превышает 100 м.

Выполнено численный эксперимент по регулированию напряженно-деформированного состояния плиты перекрытия для уточнения проектного решения по каркасу здания.

Расчетная пространственная конечно-элементная модель по плитно-стержневой системе разработана в программном комплексе САПФИР, с последующим импортом в ЛИРА-САПР (рис.1а). Рассмотрен фрагмент расчетной модели – типовой этаж (рис.1б) [6].

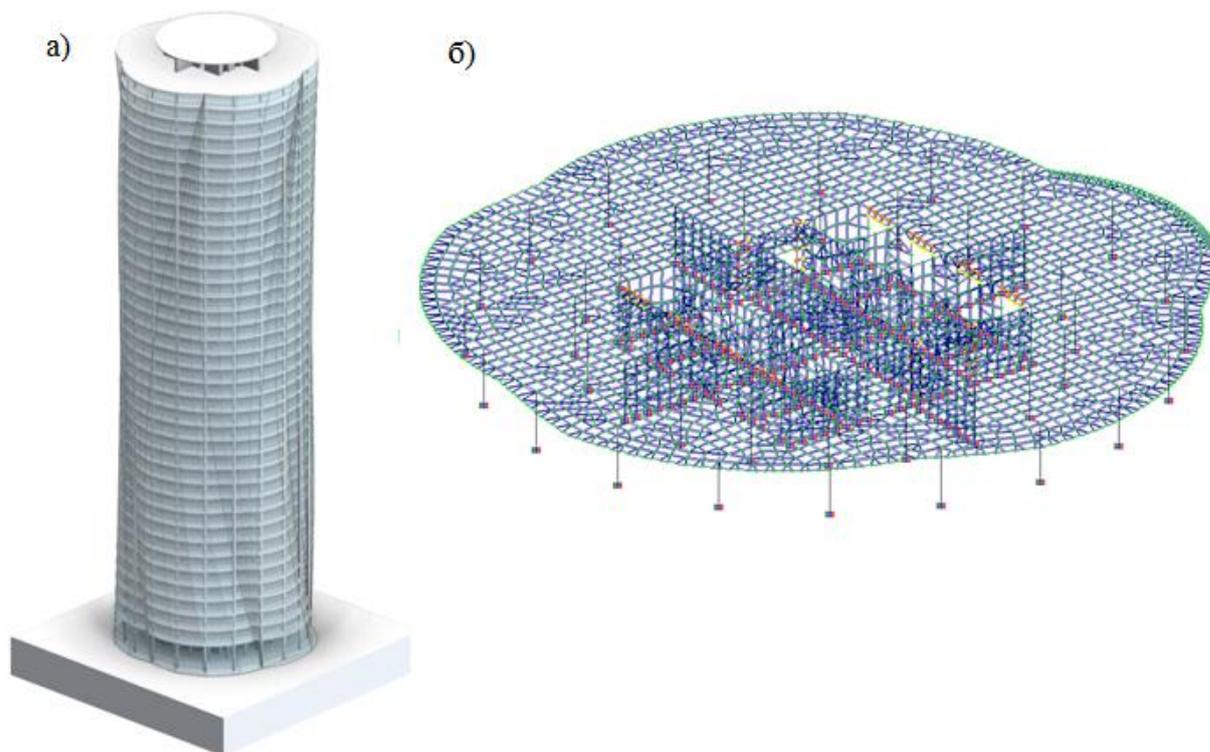


Рис. 1. – Расчетная схема: а) 3-D визуализация здания;
б) типовой этаж (первый вариант конструирования)

Для моделирования работы конструкций с учетом нелинейных свойств материалов использованы физически нелинейный конечные элементы [7].

В расчетной схеме учтены следующие виды нагрузок: постоянные нагрузки (собственный вес элементов конструкции, вес напольного покрытия), полезная нагрузка на перекрытие типового этажа, нагрузка от фасадного остекления.

Собственный вес в программе задается автоматически, учитываются заданные до этого жесткости и геометрия элементов схемы. Значение этой нагрузки варьируется в зависимости от применяемых жесткостей.

В качестве первого варианта конструирования предложена плита толщиной 250 мм, выполненная из бетона марки В40 и армированная двумя сетками арматуры. В расчетной модели запроектированы пилоны по четырем направлениям, соединенные с диафрагмой жесткости. Толщина пилонов составляет 600 мм, класс бетона В40. Пилоны армированы каркасом из двух сеток и поперечной арматурой.

Для первого слоя арматуры заданы проценты армирования $N_x=0,7\%$ и $N_y=0,7\%$. Для второго слоя арматуры - проценты армирования $N_x=0,1\%$ и $N_y=0,1\%$.

В качестве закона нелинейного деформирования выбран закон №25 – экспоненциальный (нормативная прочность). Параметры принятого закона: класс бетона – В40; тип бетона – тяжелый (рис. 2).

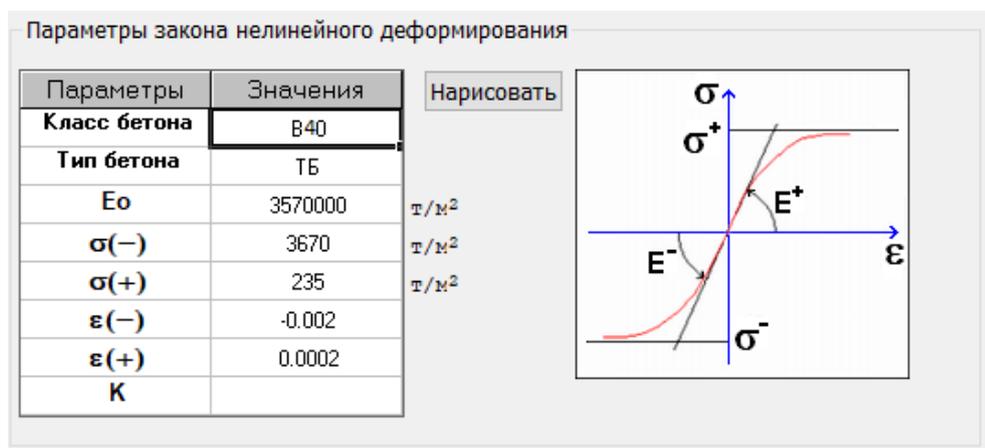


Рис. 2. – Задание параметров закона нелинейного деформирования

Заданы параметры арматуры плиты с учетом нелинейности [8]. В качестве закона нелинейного деформирования выбран закон № 15 – экспоненциальный закон деформирования (рис. 3).

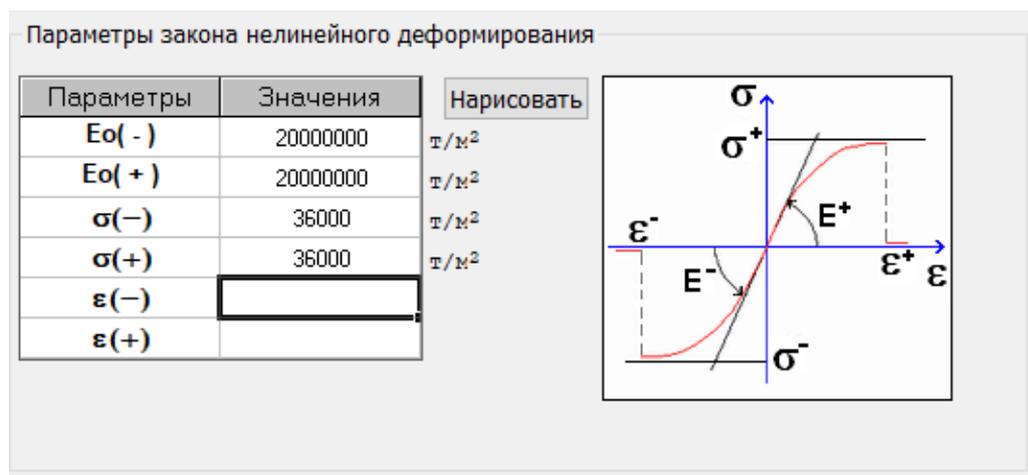


Рис. 3 – Задание параметров арматуры с учетом нелинейности

Нелинейные загрузки моделировались с учетом ползучести бетона. Заданы параметры степенного закона ползучести (EuroCode prEN199211): теоретический коэффициент ползучести – $\varphi_0 = 2$; коэффициент, зависящий от относительной влажности и теоретического размера элемента – $\beta_H = 657.82$

Для учета ползучести бетона задано количество дней, равное 365 и 730 (по прошествии этих дней при расчете будет учитываться влияние ползучести бетона).

Принят метод расчета простой шаговый, количество шагов для всех загрузений - 10.

По результатам полного расчета установлено, что максимальный прогиб плиты составил 23,9мм (рис. 4). Полученное значение не превышает допустимое нормативное значение $l/200=6000/200=30$ мм.

В качестве второго варианта конструирования выбрана плита толщиной 250 мм, выполненная из бетона марки В40 и армированная двумя сетками арматуры. Из расчетной модели исключены пилоны. По краям удаленных пилонов установлены железобетонные колонны круглого сечения диаметром 600 мм. Марка бетона введенных колонн – В40. Колонны армированы арматурными каркасами.

Параметры армирования плиты: для первого слоя заданы проценты армирования $N_x=0,283\%$ и $N_y=0,283\%$; для второго - $N_x=0,283\%$ и $N_y=0,283\%$.

Выполнен полный расчет и установлено, что максимальное перемещение от нормативных значений нагрузок в вертикальном направлении составило 43,2 мм, что превышает допустимое нормативное значение 30 мм.

В третьем варианте конструирования принята плита толщиной 200 мм, выполненная из бетона марки В40 и армированная двумя сетками арматуры. Также в расчетную модель введены пилоны, аналогичные первому варианту конструирования.

По результатам расчета максимальное вертикальное перемещение от нормативных значений нагрузок составило 56,7 мм, что превышает допустимое нормативное значение 30 мм.

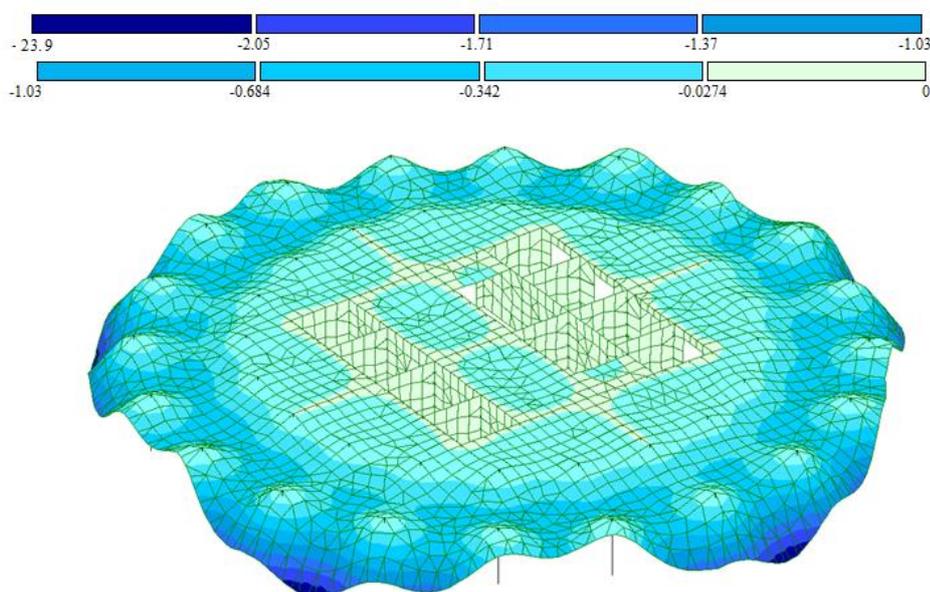


Рис. 4 – Мозаика прогибов плиты

Выполнен анализ полученных результатов расчета по трем вариантам конструирования каркаса уникального здания [9,10]. Собственный вес плиты

перекрытия первого и второго вариантов конструирования составляет 1012,1 т, по третьему варианту – 967,4 т, что легче на 4,4%.

Процент армирования первого и второго вариантов – 1,6%, а третьего 1,32%. Расход бетона в третьем варианте снижен на 8,8 % по отношению к первому и второму.

Максимальные вертикальное перемещение при первом варианте конструирования наименьший (23,9 мм). Во втором варианте конструирования перемещения больше на 42,2%, относительно первого, что превышает допустимые значения. В третьем на 72,6% больше относительного первого варианта, что также превышает максимально допустимые значения.

С точки зрения расхода материала, веса плиты перекрытия и максимальных значений вертикальных перемещений оптимальным является первый вариант конструирования, который рекомендуется для дальнейшего проектирования.

Литература

1. Акимов П.Н., Золотов А.П. Численно-аналитические методы расчета строительных конструкций: перспективы развития и сопоставления. Журнал САПР и графика. 2005. №4. С.78-82.
2. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Ладная Е.В. Рациональное проектирование элементов пространственного каркаса здания // Инженерный вестник Дона, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3989/
3. Bathe K.-J. Finite Element Procedures. K.-J. Bathe. New Jersey: Prentice Hall, 1996. pp. 10-12.
4. Clough R.W., Penzien J. Dynamics of Structures. Computer & Structure, Inc. Berkeley. USA. 2003. 752 p.
5. Кравченко Г.М., Труфанова Е.В., Кущенко А.К., Быченко И.В. Особенности расчета на прогрессирующее обрушение каркаса уникального



здания многофункционального комплекса // Инженерный вестник Дона, 2022, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7889.

6. Панасюк Л.Н., Кравченко Г.М., Труфанова Е.В. О точности определения напряженно-деформированного состояния и конструктивных параметров в областях с особенностями // Науковедение. 2013. №3. С. 101.

7. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона. М.: Стройиздат, 1974.С. 316.

8. Лейтес Е.С. К уточнению одного из условий прочности бетона. Поведение бетонов и элементов железобетонных конструкций при воздействии различной длительности. М.: НИИЖБ, 1980. С. 37 - 40.

9. Сорока М.Д. Особенности оценки напряженно-деформированного состояния несущей системы 25-ти этажного монолитного здания // Естественные и инженерные науки. 2014. №1. С. 154-157.

10. Зырянов В.В. Методы оценки адекватности результатов моделирования // Инженерный вестник Дона, 2013. № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707/.

References

1. Akimov P.N., Zolotov A.P. Zhurnal SAPR i grafika. 2005. №4. p.78-82.

2. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Ladnaya E.V. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2017, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2017/3989.

3. Bathe K.-J. Finite Element Procedures. K.-J. Bathe. New Jersey: Prentice Hall, 1996. pp. 10-12.

4. Clough R.W., Penzien J. Dynamics of Structures. Computer & Structure, Inc. Berkeley. USA. 2003. 752 p.

5. Kravchenko G.M., Trufanova E.V., Kushhenko A.K., By`chenko I.V. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2022, №9. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/%20n9y2022/7889.



6. Panasyuk L.N., Kravchenko G.M., Trufanova E.V. Naukovedenie. 2013. №3. 101 p.
7. Geniev G.A., Kissyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona [Theory of plasticity of concrete and reinforced concrete]. M.:Strojizdat, 1974. 316 p.
8. Lejtes E.S. K utochneniyu odnogo iz uslovij prochnosti betona. Povedenie betonov i e`lementov zhelezobetonny`x konstrukcij pri vozdeystvii razlichnoj dlitel`nosti [To clarify one of the conditions of concrete strength. Behavior of concrete and elements of reinforced concrete structures under the influence of different duration]. M.: NIIZhB, 1980. pp. 37 - 40.
9. Soroka M.D. Estestvenny`e i inzhenerny`e nauki. 2014. №1. pp. 154-157.
10. Zy`ryanov V.V. Inzhenerny`j vestnik Dona, 2013. № 2. URL: ivdon.ru/magazine/archive/n2y2013/1707/.