

## Параметрическое моделирование плиты перекрытия в комплексе *Ansys*

*А.В. Черпаков<sup>1,2</sup>, О.В. Шиляева<sup>2</sup>, И.А. Зеньковский<sup>2</sup>, А.В. Пономаренко<sup>2</sup>,  
К.В. Пономаренко<sup>2</sup>, Я.А. Кокарева<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону*

<sup>2</sup>*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону*

**Аннотация:** Рассмотрено моделирование пустотной плиты перекрытия в конечно элементном комплексе *Ansys*. Рассматривается построение 3D модели. Проведено численное моделирование при статическом нагружении плиты перекрытия. Исследовано влияние свойств материала на параметры напряженного состояния и прогиба конструкции. На основе численного эксперимента построен подход к оценке характеристик конструкции.

**Ключевые слова:** пустотная плита перекрытия, статический анализ, моделирование, МКЭ, *Ansys*, напряженное состояние, прогиб.

В настоящее время инженеры-проектировщики часто встречаются с элементами балочных конструкций, одним из примеров которых является плиты перекрытий. Применение новых материалов требует уточнения и расчета требуемых параметров конструкции. При проведении расчетов строительных конструкций применяются аналитические и численные методы. В первом случае используют хорошо разработанные в строительной механике метод сил и метод перемещений в матричной форме [0]. Для сложных пространственных конструкций наиболее просто применить численные методы анализа, основными из которых являются методы граничных элементов (МГЭ) [2], метод конечных разностей (МКР) и метод конечных элементов (МКЭ) [3-5].

При рассмотрении различных задач на практике часто встречается необходимость использования численных комплексов, позволяющих выполнить моделирование и расчет напряженного состояния. Одним из них является комплекс *Ansys*. Его применение на практике позволяет эффективно проводить анализ требуемых параметров. Примеры моделирования

элементов простых конструкций при решении задач идентификации параметров дефектов, свойств конструкции представлены в работах [6-10].

Целью работы является построение модели и решение задачи исследования поведения многопустотной плиты перекрытия при статическом нагружении с вариацией свойств материалов и параметров конструкции.

В рамках исследований рассмотрена модель многопустотной плиты перекрытия с параметрами: ширина 1190 мм, толщина 220 мм, круглые пустотные отверстия диаметром 159 мм, согласно ГОСТ 9561-2016. Расчетная схема плиты перекрытия представлена на рис. 1.

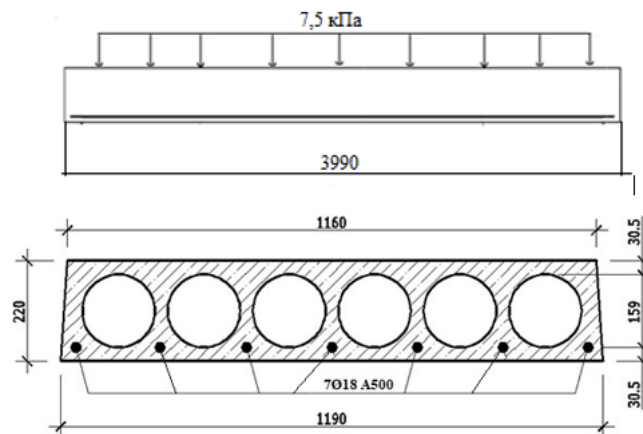


Рис. 1. - Схема многопустотной плиты перекрытия

С помощью Ansys Design Modeler создана модель плиты перекрытия. Следующим этапом является генерация конечно-элементной модели. Выбран конечный элемент Solid186. Для последующего анализа результатов в зависимости от размеров элементов КЭ сетки был произведен ряд вычислений. Ниже представлены результаты численного эксперимента зависимости размера КЭ от вертикальных перемещений  $U_y$ , напряжений по Мизесу в точке с координатами (0;220;2000), а также представлено время расчета конструкции, количество КЭ, кол-во узлов.

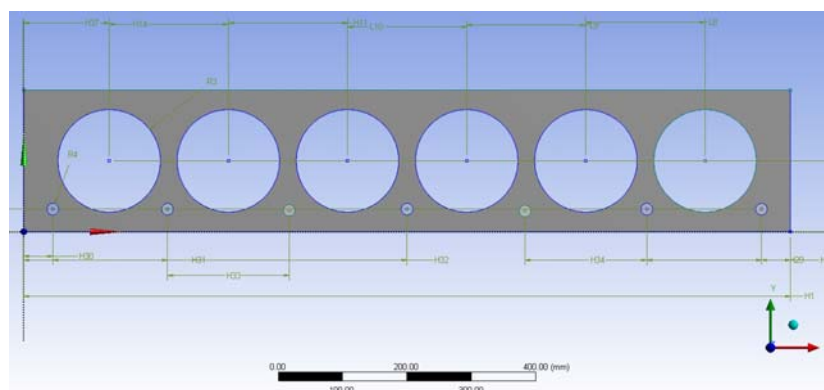


Рис. 2. - Сечение плиты перекрытия

Таблица 1.

Результаты численного расчета в точке с координатами (0;220;2000)

Максимальный размер КЭ, мм	Значение вертикальных перемещений $U_y$ , мм	Максимальное значение напряжений по Мизесу, МПа	Время расчета, с	Кол-во КЭ	Кол-во узлов
125	1.1344	2.8727	23	11434	37659
100	1.1349	2.8792	25	15513	45003
50	1.1351	2.8746	28	11649	73291
35	1.1352	2.875	206	123926	224796
30	1.1352	2.875	264	187792	324158
25	1.1351	2.8746	308	40061	224612
20	1.1352	2.875	480	76064	394821

На основе проведенного анализа численного эксперимента был определен оптимальный размер конечного элемента для данной конструкции. Согласно данного анализа, дальнейшее сгущение сетки конечных элементов проводить нецелесообразно, так как это существенно повлияет не только на общее число конечных элементов в модели, но и на временные ресурсы расчета и, как следствие, накопление погрешности получаемых результатов.

В результате численного эксперимента был выбран максимальный размер конечного элемента 50 мм, который далее использовался для формирования конечно-элементной сетки.

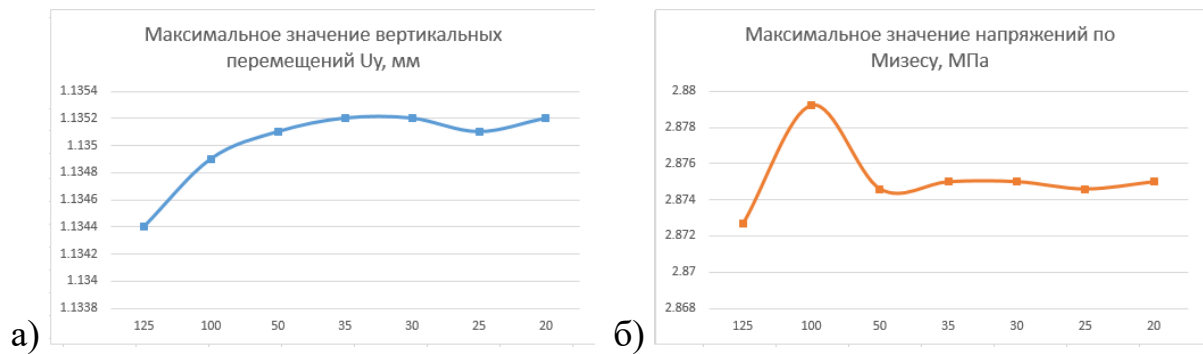


Рис. 3. - График зависимости максимальных значений вертикальных перемещений ( $U_y$ ) (а) и напряжений по Мизесу (б) от размера конечного элемента

На следующем этапе численного моделирования был произведен анализ влияния свойств заданного материала на выходные параметров расчетов. Для эксперимента были выбраны класс бетона, диаметр пустот и диаметр арматуры. На рисунках представлены графики зависимостей максимальных значений вертикальных перемещений и напряжений по Мизесу от варьируемых параметров.

Таблица 2

Результаты расчетов в точке с координатами (0;220;2000)

Класс(марка) бетона	Модуль Юнга, Па	Значение вертикальных перемещений $U_y$ , мм	Максимальное значение напряжений по Мизесу, МПа
B10(M150)	1.9E+10	1.6697	87.618
B15(M200)	2.4E+10	1.3703	79.076
B20(M250)	2.75E+10	1.2222	74.299
B22,5(M300)	2.95E+10	1.1524	71.886
B25(M350)	3E+10	1.1363	71.313
B30(M400)	3.25E+10	1.0627	68.608
B35(M450)	3.45E+10	1.0109	66.617
B40(M550)	3.6E+10	0.9756	65.211
B45(M600)	3.7E+10	0.95351	64.312
B50(M700)	3.8E+10	0.9325	63.441

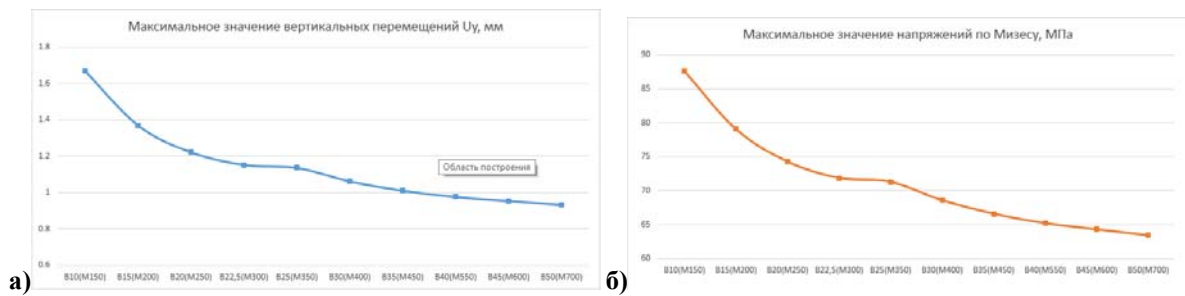


Рис. 4. - График зависимости максимальных значений вертикальных перемещений  $U_y$  (а) и напряжений по Мизесу (б) от класса бетона

Таблица 3

Численный эксперимент в точке с координатами (0;220;2000)

Диаметр арматуры, мм	Max $U_y$ , мм	Max $\sigma$ , МПа
16	1.1789	78.396
18	1.1363	71.313
20	1.1001	65.498
22	1.0695	60.587

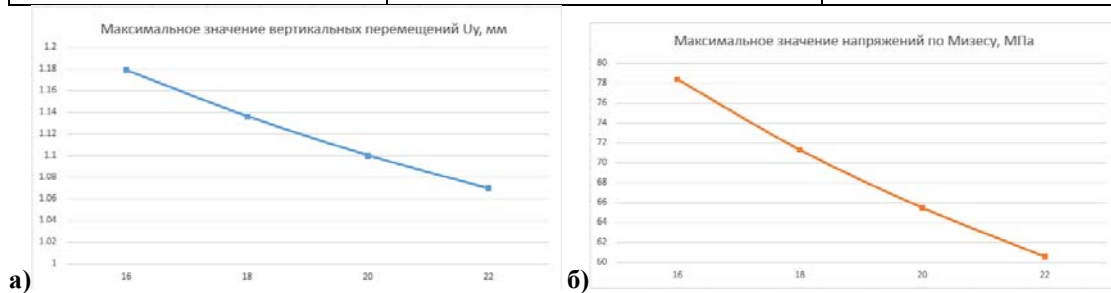


Рис.5. - Зависимость максимальных значений вертикальных перемещений  $U_y$  (а) и максимальных значений напряжений по Мизесу (б) от диаметра арматуры

Таблица 4

Численный эксперимент в точке с координатами (0;220;2000)

Диаметр пустот, мм	Max $U_y$ , мм	Max $\sigma$ , МПа
159	1.1363	71.313
140	1.0961	73.349
127	1.0844	74.898

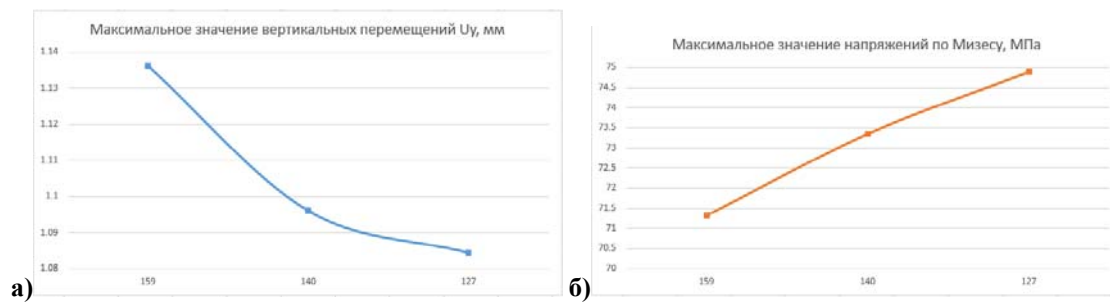


Рис.6. - График влияния диаметра пустот на максимальные значения вертикальных перемещений(а) и на максимальные значения напряжений (б)

**Анализ.** Анализ зависимости максимальных значений вертикальных перемещений  $U_y$  и напряжений по Мизесу от класса бетона (рис.4) показывает, что прогиб и напряжения в конструкции уменьшаются при увеличении модуля упругости и тем самым увеличении класса бетона. При увеличении диаметра арматуры (рис.5) незначительно изменяется прогиб конструкции, в пределах 9,3% при этом напряженное состояние изменится на 20%. При рассмотрении влияния диаметра пустот на максимальные значения вертикальных перемещений и на максимальные значения напряжений (рис.6) анализ показывает, что при уменьшении диаметра отверстий на 20% до 129 мм прогиб конструкции изменится на 5.2%, а напряженное состояние увеличится более чем на 5 %, что может привести к утяжелению плиты перекрытия.

**Заключение.** Проведено моделирование пустотной плиты перекрытия в конечно элементном комплексе Ansys. Анализ численного моделирования при статическом нагружении плиты перекрытия показывает, что основные параметры конструкции при изменении класса бетона и диаметра арматуры положительно влияют на нагрузочную способность плиты перекрытия. Так При изменении диаметра арматуры с 16мм до 22 снижается прогиб конструкции на 9% и максимальное НДС на 22 %. При вариациях модуля упругости бетона в пределах от  $E=19$  ГПа (класс бетона В10) до  $E=38$  ГПа

(класс бетона В50) прогиб конструкции снижается на 72%, а напряженное состояние на 36%. Изменение диаметра отверстий плиты перекрытия приводит к незначительному увеличению напряженного состояния в критических точках при статическом нагружении.

*Работа выполнена при частичной поддержке Минобрнауки России № БЧ0110- 11/2017-20, РФФИ (проект 16-08-00740 А)*

### Литература

1. Шипуля А.В., Скоробогатов С.М. Исследования влияния бортовой балки без трещин на напряженно-деформированное состояние железобетонной плиты перекрытия // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. 2014. № 2. С. 80-86.

2. Оробей В.Ф., Дашенко А.Ф., Андриенко Н.Н. Метод граничных интегральных уравнений в расчетах линейных систем. К.: Наукова думка, 1996. – 391 с.

3. Бенин А.В. Конечно-элементный анализ сейсмостойкости плиты перекрытия производственного здания с учетом коррозии арматуры, трещинообразования и ползучести бетона // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2007. № 3. С. 16-20.

4. Бахтин В.Ф., Черников И.Ю., Локтев А.А. Расчет на динамическое воздействие мачты сотовой системы связи и плиты перекрытия, на которую она опирается // Вестник МГСУ. 2012. № 8. С. 66-75.

5. Черпаков А.В., Шиляева О.В., Нестеренко А.В., Пономаренко А.В., Шенцова К.В., Гераськина В.Е. Моделирование волновых процессов в стеновой конструкции с дефектом в виде трещины // Инженерный вестник Дона, 2018, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5430](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/5430)

6. Sergey Shevtsov, Arkady N.Soloviev, Ivan A. Parinov, Alexander V. Cherpakov, Valery A. Chebanenko. Piezoelectric Actuators and Generators for Energy Harvesting - Research and Development. Series: Innovation and Discovery

in Russian Science and Engineering. Springer Cham, Switzerland. 2018. – 182 p.  
ISBN: 978-3319756288

7. Cherpakov A., Egorochkina I., Shlyakhova E., Kharitonov A., Zarovny A. and Dobrohodskaya S. // Using technique vibration diagnostics for assessing the quality of power transmission line supports repairs, MATEC Web of Conferences, 2017. Vol. 106, 04009

8. Шатилов Ю.Ю. Локализация дефектов железобетонной колонны при помощи методов вибрационной диагностики // Инженерный вестник Дона, 2014, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2723](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2723)

9. Шатилов Ю.Ю., Эксюзян К.А. Идентификация повреждений несущих стальных конструкций моста вибрационными методами диагностики // Инженерный вестник Дона, 2016, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3762](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3762)

10. Зотова Е.В., Панасюк Л.Н. Численное моделирование динамических систем с большим числом степеней свободы на импульсные воздействия // Инженерный вестник Дона, 2012, № 3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/933](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/933)

### References

1. Shipulya A.V., Skorobogatov S.M. Akademicheskij vestnik UralNIiproekt RAASN, 2014. №2, pp. 80-86.

2. Orobej V.F., Dashchenko A.F., Andrienko N.N. Metod granichnyh integral'nyh uravnenij v raschetah linejnyh sistem [The method of boundary integral equations in the calculations of linear systems.] K.: Naukova dumka, 1996. 391 p.

3. Benin A.V. Safety of facilities. 2007. №3. pp. 16-20.





4. Bakhtin V.F., Chernikov I.Yu., Loktev A.A. Vestnik MGSU. 2012. №8. pp. 66-75.
5. Cherpakov A.V., Shilyaeva O.V., Nesterenko A.V., Ponomarenko A.V., Shencova K.V., Geras'kina V.E. Inzhenernyj vestnik Dona, 2018, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/543031](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2018/543031)
6. Sergey Shevtsov, Arkady N.Soloviev, Ivan A. Parinov, Alexander V. Cherpakov, Valery A. Chebanenko. Piezoelectric Actuators and Generators for Energy Harvesting - Research and Development. Series: Innovation and Discovery in Russian Science and Engineering. Springer Cham, Switzerland. 2018. 182 p. ISBN: 978-3319756288
7. Cherpakov A., Egorochkina I., Shlyakhova E., Kharitonov A., Zarovny A. and Dobrohodskaya S. Using technique vibration diagnostics for assessing the quality of power transmission line supports repairs, MATEC Web of Conferences, 2017. Vol. 106, 04009
8. Shatilov Yu.Yu. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2723](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2723)
9. Shatilov Yu.Yu., Eksuzyan K.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2016, № 4. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3762](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2016/3762)
10. Zotova E.V., Panasyuk L.N. Inzhenernyj vestnik Dona, 2012, №3. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/933](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2012/933)