

Исследование различных методов моделирования многоуровневых балочных конструкций

11, ноябрь 2015

Колесников Г. П.^{1,*}, Ульяновков А. В.¹

УДК: 629.198.22

¹Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана[*kolesgrih@mail.ru](mailto:kolesgrih@mail.ru)**Введение**

При проектировании различных специальных конструкций, в особенности, в области стартовых и технических комплексов ракет и комических аппаратов часто возникает необходимость в создании весьма жестких конструкций. Одним из возможных вариантов такой конструкции может быть многоуровневая конструкция с перекрестными балками, расположенными друг над другом, приведенная на рисунке 1. Как можно видеть на рисунке, рассматриваемая конструкция состоит из двух уровней балок, имеющих двутавровое сечение.

Обычно, применяемые в корабело- и самолетостроении конструкции с перекрестными балками, представляют собой системы с балками, находящимися на одном уровне и имеющие одинаковые жесткостные характеристики. Методы расчета конструкций одноуровневых перекрестных балок можно найти в работах /1, 2, 3/. Рассматриваемая в работе двухуровневая конструкция имеет значительно лучшие технологические и эксплуатационные характеристики.

Как известно /4, 5/, любая конструкция может быть представлена несколькими расчетными моделями. В настоящей работе рассмотрены три возможных варианта представления рассматриваемой конструкции. А именно:

- Стержневая модель, не учитывающая эксцентриситет между уровнями балок
- Стержневая модель с учетом имеющегося эксцентриситета между уровнями балок
- Пластинчатая модель, учитывающая все конструктивные особенности рассматриваемой конструкции

Понятно, что наиболее простой для моделирования является вариант 1 модели (без учета эксцентриситета). Реализация варианта 2 модели (с учетом эксцентриситета) достаточно сложна, если в применяемом программном комплексе (ПК) нет специальной соответствующей возможности. Создание варианта 3 модели конструкции (пластинчатая) до-

статочно трудоемкая задача. Учитывая эти факторы, перед исследователем встает непростой выбор варианта модели, которая даст адекватные результаты при минимуме затрачиваемого времени.

Исследование

В настоящей работе рассмотрены все три варианта моделей и проанализированы результаты полученные для некоторых тестовых задач. Создание моделей, их расчет и анализ результатов расчета проводился при помощи ПК Зенит-95 /6/.

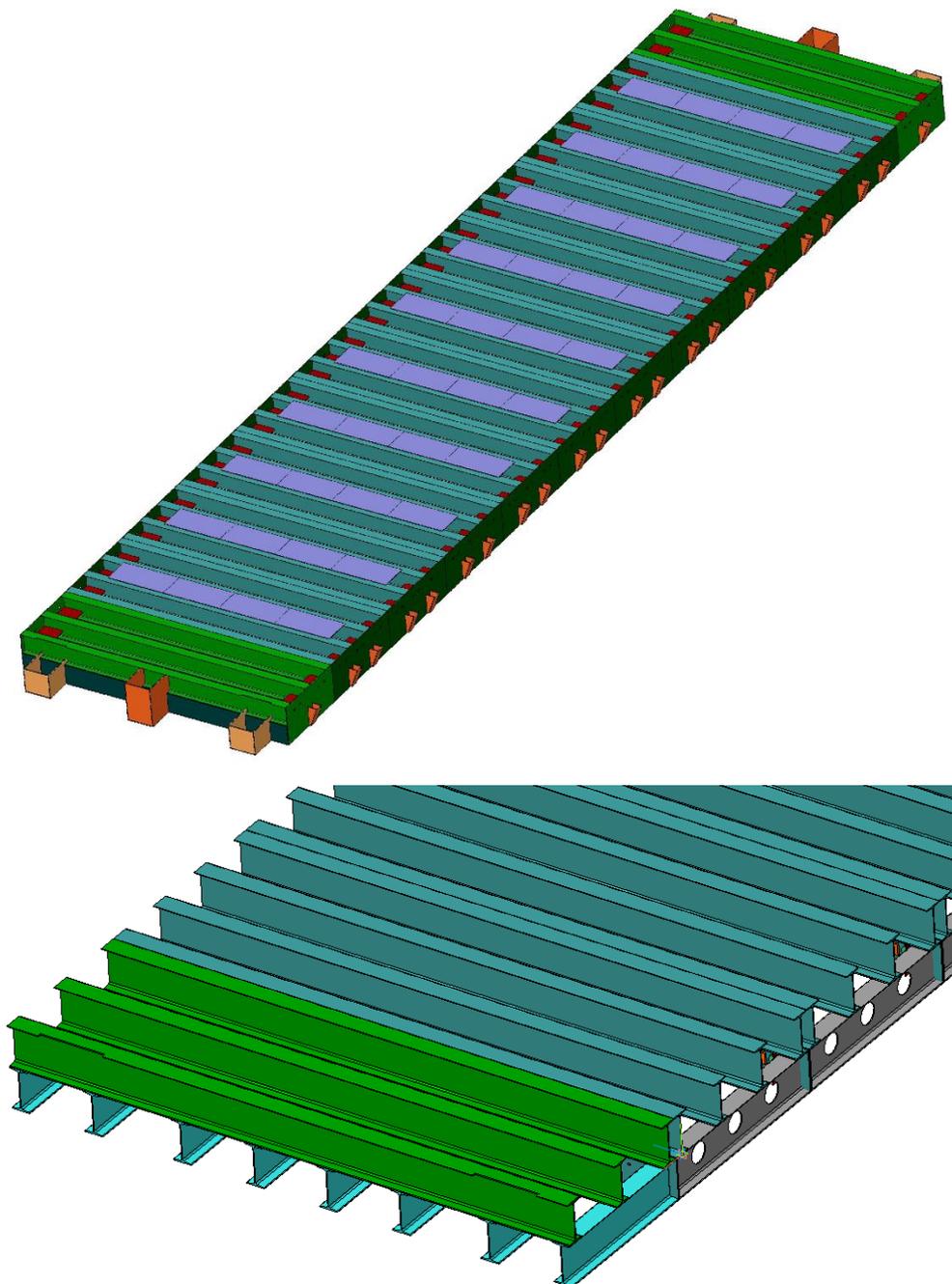


Рис. 1. Конструктивная схема многоуровневой балочной конструкции

На рисунке 2 приведена расчетная схема варианта 1 модели в виде стержневых элементов и с учетом размеров поперечного сечения балок. Данная модель насчитывает 368 узлов и 1041 конечный элемент (стержень). На рисунке 3 приведен вариант 2 модели рассматриваемой конструкции. На этом рисунке, также, как и в варианте 1, приведена стержневая модель и ее вид с учетом размеров поперечных размеров сечений балок. Модель варианта 2 имеет также 368 узлов и 1041 стержень. Вариант 3 модели конструкции, использующий пластинчатые конечные элементы, приведен на рисунке 4. Данная модель имеет 29028 узлов и 28320 конечных элементов (пластин). Приведенные данные о параметрах модели дает возможность понять о степени сложности этих моделей и предполагаемых временных затратах при их использовании для расчетов сложных процессов, особенно динамических.

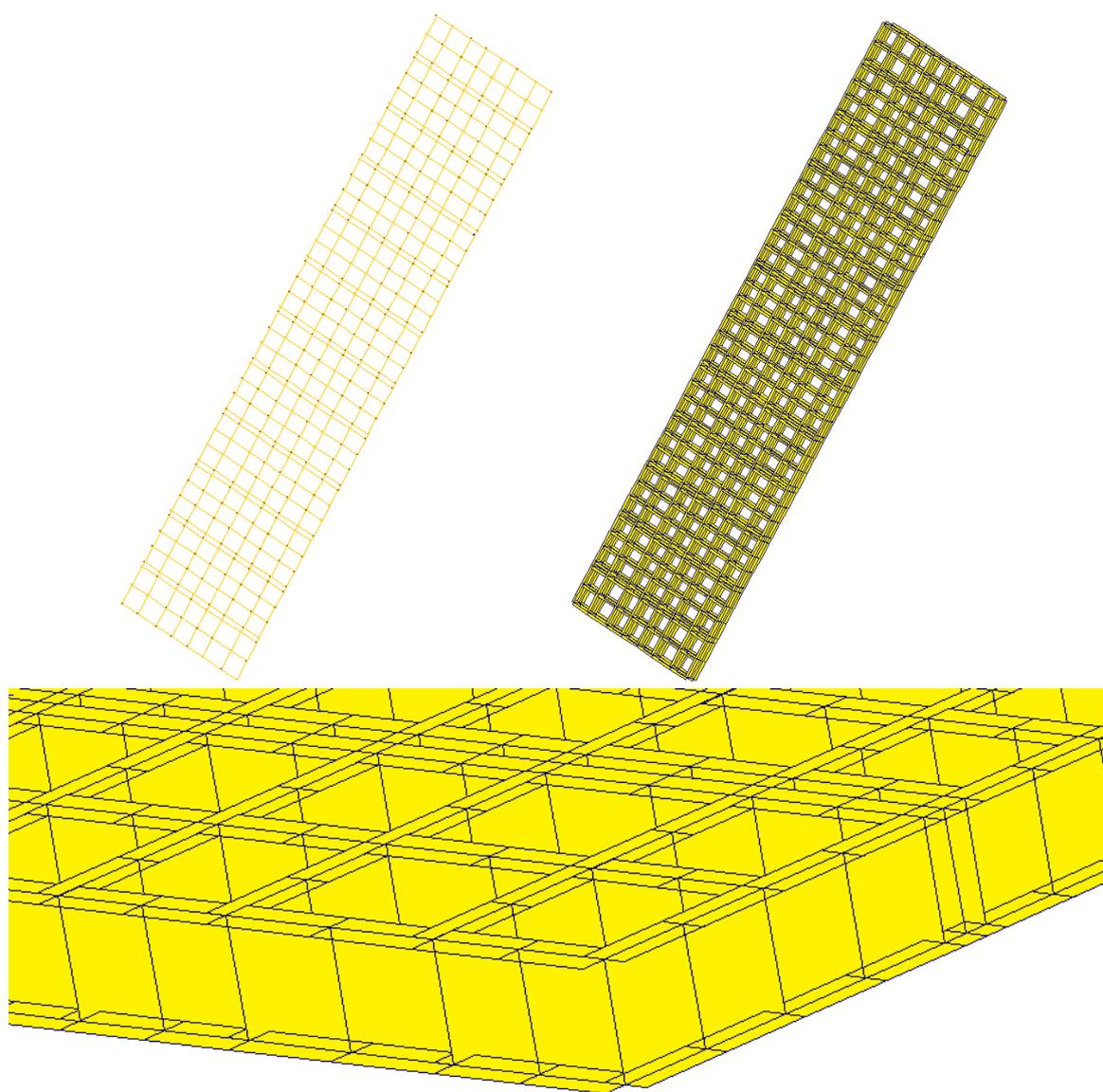


Рис. 2. Вариант 1 модели (стержни без эксцентриситетов)

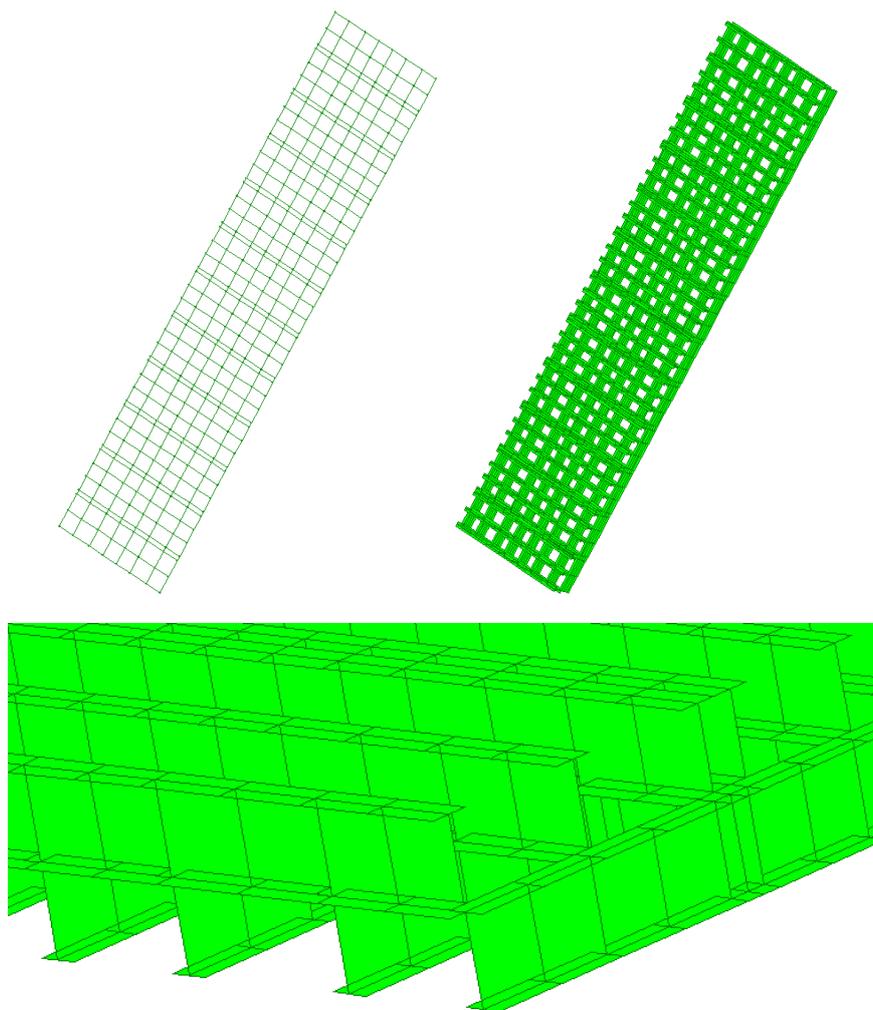


Рис. 3. Вариант 2 модели (стержни с эксцентриситетом)

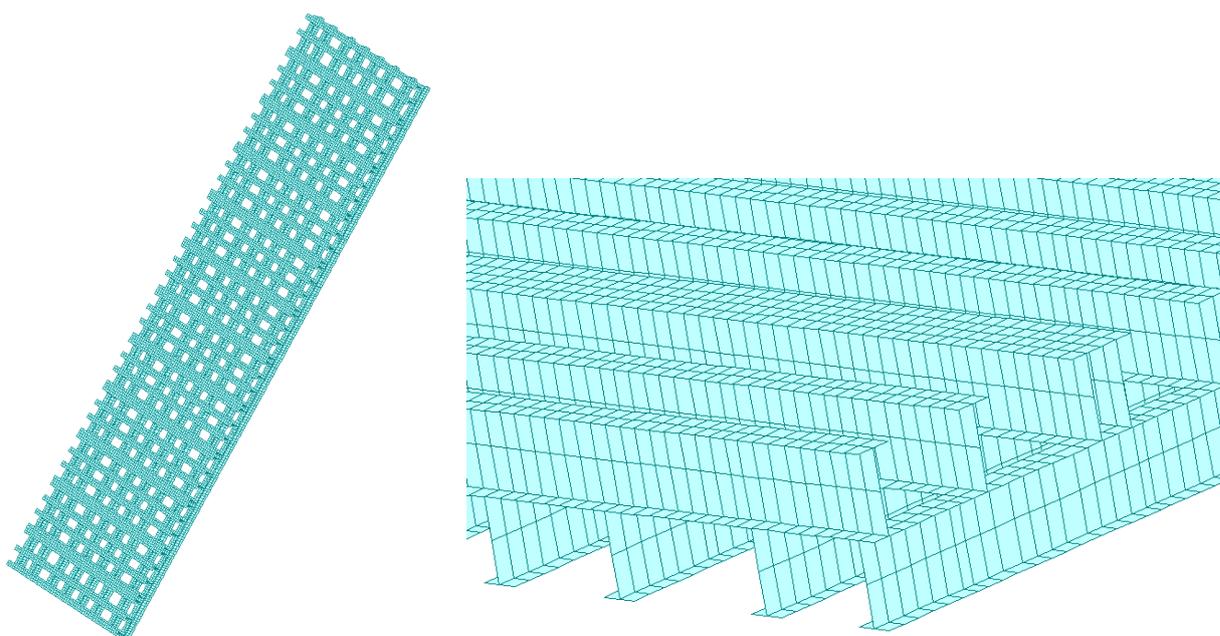


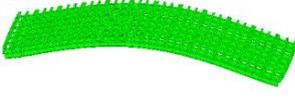
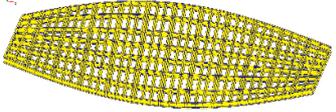
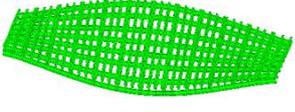
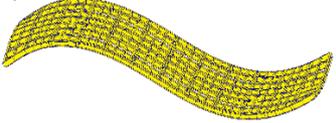
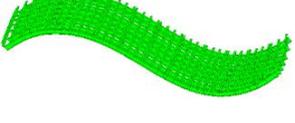
Рис. 4. Вариант 3 модели (пластины)

В качестве тестовых задач для исследования указанных трех вариантов моделей выбраны следующие:

- расчет частот и форм собственных колебаний моделей, закрепленных по углам;
- расчет напряженно-деформированного состояния закрепленной по углам модели при нагружении ее распределенной силой по одной из осей симметрии.

Результаты расчета первых трех форм собственных колебаний рассматриваемых вариантов модели приведены в таблице 1.

Таблица 1. Формы собственных колебаний моделей

Форма колебаний	Вариант 1 модели	Вариант 2 модели	Вариант 3 модели
Первый тон			
Второй тон			
Третий тон			

Как можно видеть формы трех первых форм колебаний абсолютно одинаковые, но частоты несколько различаются. Их значения приведены в таблице 2. В скобках для 1 и 2 вариантов модели указаны процентное отличие полученных частот по сравнению с результатом по варианту 3 модели, которые приняты за эталон. Анализ приведенных данных показывает, что для приближенных расчетов упрощенные стержневые модели (1 и 2) вполне пригодны, хотя следует отдать предпочтение модели 2.

Таблица 2. Частоты собственных колебаний моделей

Вариант модели	1-ая собственная частота,	2-ая собственная частота,	3-я собственная частота,
	Гц	Гц	Гц
1 (стержни без эксцентриситетов)	2,62(12)	2,79(28)	6,94(27)
2 (стержни с эксцентриситетом)	3,46(16)	4,26(10)	9,63(1)
3 (пластины)	2,99	3,87	9,54

Вторая тестовая задача, как было указано выше, состоит в расчете перемещений и максимальных эквивалентных напряжений в моделях, закрепленных по углам снизу и нагруженных распределенной силой в центре конструкции величиной в 10кН, как показано на рисунке 5.

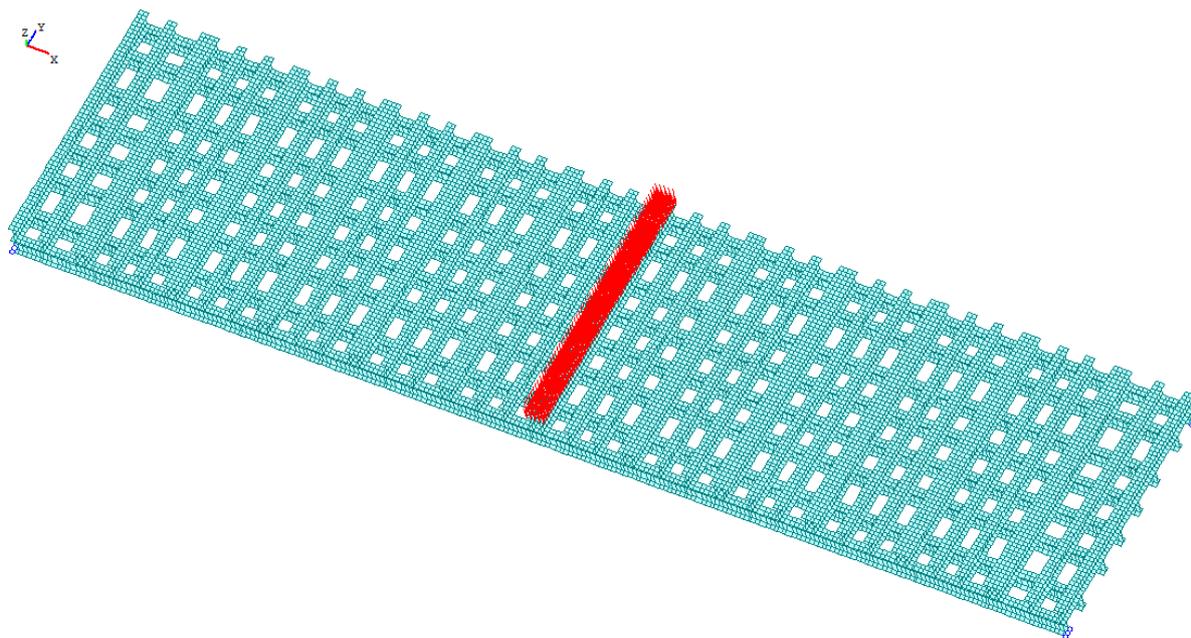


Рис. 5. Схема нагружения моделей во второй тестовой задаче

На рисунках 6...8 приведены распределения напряжений в элементах моделей вариантов 1, 2 и 3 соответственно. Как видно на рисунках, качественная картина напряжений во всех рассмотренных вариантах моделей одинакова. Однако в варианте 1 заметно существенное занижение напряжений, что отражено в величинах максимальных напряжений и перемещений, приведенных в таблице 3. В качестве максимальных перемещений и напряжений в моделях приняты перемещения и эквивалентные напряжения в соответствующих конечных элементах в зоне действия нагрузок. Величины в скобках в вариантах 1 и 2 моделей показывают процентное отличие соответствующих величин от величин в полученных в варианте 3 модели.

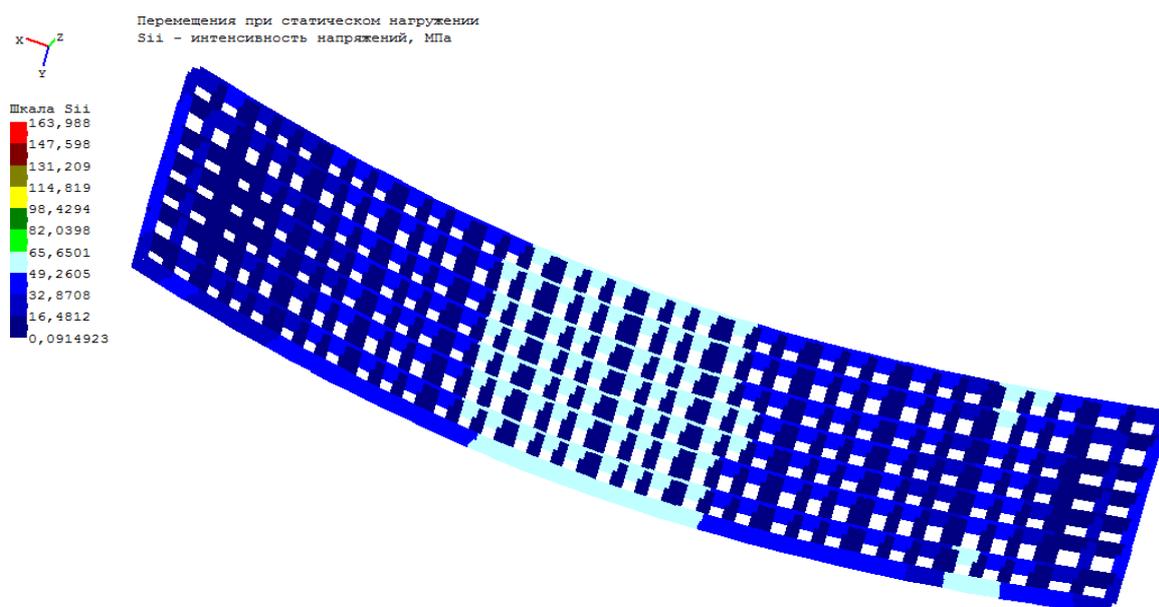


Рис. 6. Распределение максимальных напряжений в элементах модели. Вариант 1

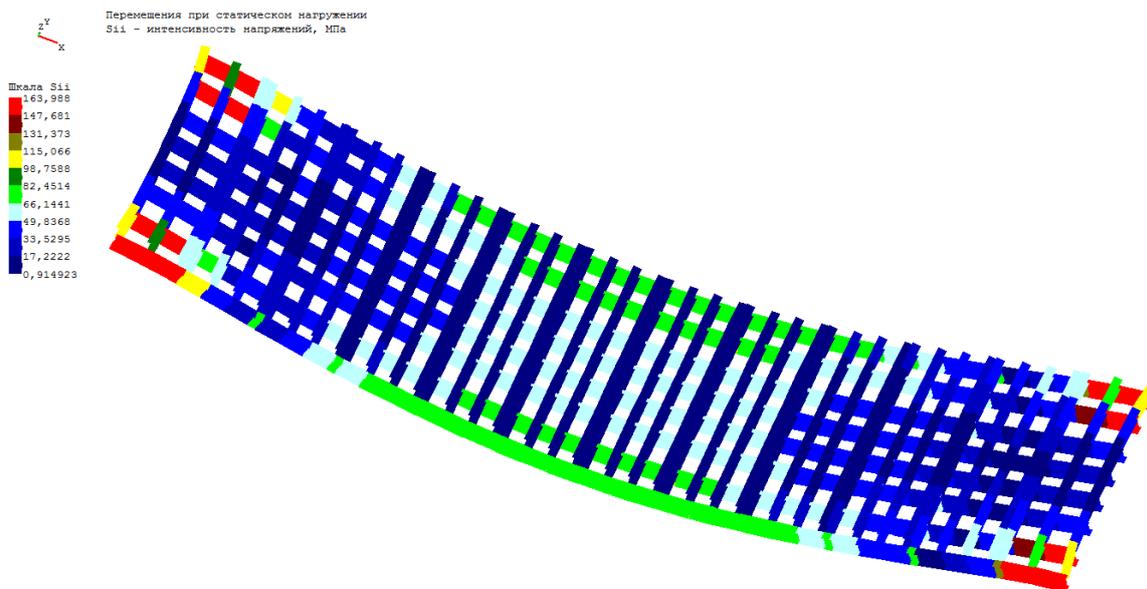


Рис. 7. Распределение максимальных напряжений в элементах модели. Вариант 2

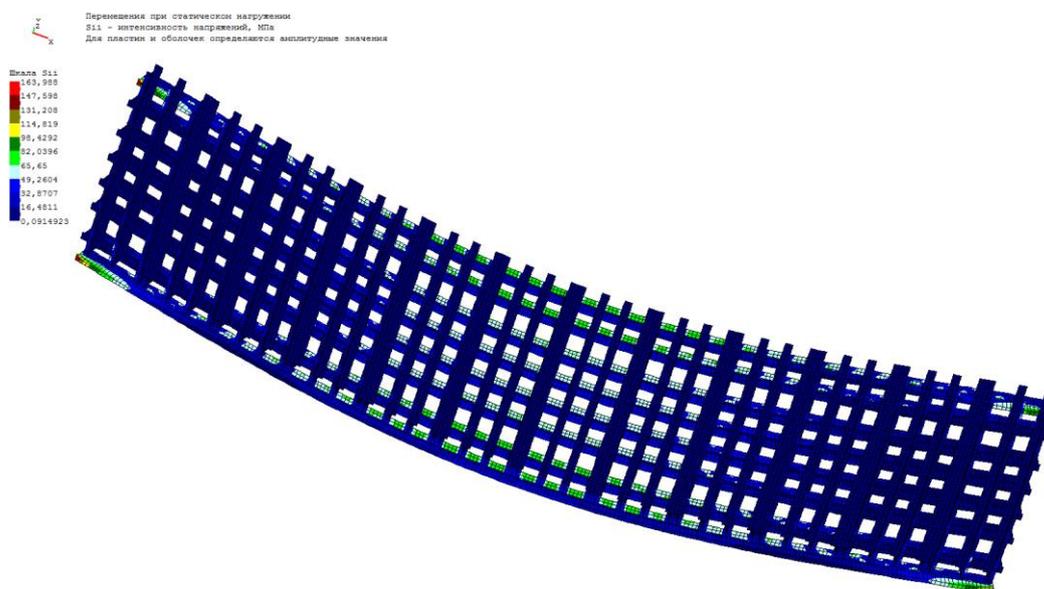


Рис. 8. Распределение максимальных напряжений в элементах модели. Вариант 3

Таблица 3. Максимальные перемещения и напряжения в моделях

Вариант модели	Максимальное перемещение, мм	Максимальное напряжение, МПа
1 (стержни без эксцентриситетов)	49 (23)	57 (39)
2 (стержни с эксцентриситетом)	36 (10)	99 (6)
3 (пластины)	40	93

Анализ результатов расчета напряженно-деформированного состояния рассмотренных вариантов модели во второй тестовой задаче показывает, что вариант 1 модели дает завышенные значения по перемещениям и заниженные по напряжениям. Варианты 2 и 3 имеют весьма схожие результаты.

Заключение

Проведенные тестовые задачи по исследованию влияния на результаты расчета выбранного варианта представления многоуровневой балочной конструкции позволяют сделать следующие основные выводы:

- стержневая модель, не учитывающая имеющегося эксцентриситета между уровнями перекрестных балок (вариант 1), дает достаточно грубую оценку как по частотным характеристикам, так и по параметрам напряженно-деформированного состояния. Однако на ранних стадиях проектирования таких конструкций в силу малой достоверности исходных данных, а также минимальных сроков для проведения расчета такую модель можно рекомендовать в качестве оценочной.

- стержневая модель, учитывающая имеющийся эксцентриситет между уровнями перекрестных балок конструкции (вариант 2) дает возможность получить хорошие результаты и по частотным характеристикам конструкции, и по ее напряженно-деформированному состоянию. Причем, при наличии в используемом ПК специальной возможности учета эксцентриситета в стержнях, создание такой модели не занимает много времени и время расчета такой модели мало отличается от модели варианта 1, что является большим достоинством такой модели.

- пластинчатая модель многоуровневой балочной конструкции, по-видимому, дает самые точные результаты и позволяет исследовать не только общую прочность конструкции, но и местную прочность ее элементов. Однако, ввиду очевидной сложности при ее создании, такую модель целесообразно использовать только на завершающем этапе проектирования такой конструкции.

Список литературы

- [1]. Тимошенко С.П. Курс теории упругости. Киев: Наукова думка. 1972. 508 с.
- [2]. Бубнов И.Г. Строительная механика корабля. Часть II. СПб.: Издание Морского министерства. 1914. С. 331-640.
- [3]. Тимошенко С.П. Прочность и колебания элементов конструкций. М.: Наука. 1975. 704 с.
- [4]. Феодосьев В.И. Десять лекций-бесед по сопротивлению материалов. Изд.2. М.: Гл. ред. физ-мат литературы изд-ва "Наука". 1975. 174 с.
- [5]. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. Изд. 4-е перераб. и доп. М.: ИАСВ. Изд-во "SCAD Soft". 2011. 709 с.
- [6]. Программа расчета динамики и прочности конструкций, механизмов и приводов. Зенит-95, версия 6.6.12.2. СПб.: 2005. Режим доступа: <http://www.mmf.spbstu.ru/zenit/> (дата обращения 5.09.2015)