

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ НАДРЕССОРНЫХ БАЛОК.

Демонстрируется применение объёмных конечных элементов для анализа напряжённно-деформированного состояния элементов грузовых вагонов. Описано построение уточнённых расчётных схем наддресорных балок. Приведены результаты предварительных расчётов.

На стадии проектирования элементов транспортных систем, трудно учесть всё многообразие будущих эксплуатационных нагрузок и подобрать оптимальные размеры и характеристики конструкций. Поэтому для создания рациональной конструкции требуется проведение теоретических расчётов, экспериментальных исследований, специальных испытаний и учёт опыта предыдущей эксплуатации. При удачном сочетании указанных этапов разработки возможно создание достаточно прочной и надёжной конструкции того или иного назначения.

Современная инженерная практика транспортного машиностроения опирается на нормы проектирования, где регламентировано использование упрощённых расчётных моделей объектов на основе гипотез строительной механики стержневых систем. Другой подход к исследованию напряжённно-деформированного состояния сложных объектов заключается в применении вычислительных комплексов, позволяющих создавать модели, практически адекватно отражающие свойства реальной системы.

При проведении исследований использовалась интегрированная система анализа конструкций Structure CAD (SCAD) for Windows 95/98/NT, ориентированная на решение широкого класса прочностных задач и анализ поведения конструкций при различных статических и динамических нагрузках и воздействиях .

Данная работа ставила своей целью построение эффективной методики расчёта наддресорной балки в различных условиях статического и динамического нагружения в зависимости от заданного варианта эксплуатации вагона. Один из возможных подходов моделирования напряжённно-деформированного состояния, осуществляется путём введения в расчётную схему объёмных элементов, что позволяет изучить распределение напряжений по толщине конструкции, выделить зоны концентрации напряжений.

В виде примера представляется сравнительный анализ результатов расчётов двух различных моделей наддресорной балки. Представлены результаты численных исследований статического нагружения расчётной нагрузкой двух вариантов конструкций наддресорной балки, которые были выполнены с использованием метода конечных элементов (МКЭ).

Расчёт по МКЭ начинается с дискретизации расчётной схемы, что означает переход от системы с бесконечным числом параметров напряжённно-деформированного состояния к системе с конечным числом параметров. При этом объекты теории упругости (дву- или трёхмерные области) расчлняют уже на КЭ соответствующей статической природы. Для двумерных областей наиболее часто применяют треугольные или прямоугольные КЭ, а для массивных тел – КЭ в форме тетраэдра или параллелепипеда.

Каждый КЭ области сохраняет все физические и геометрические свойства исходной среды. На границе области заданы граничные условия, т.е. компоненты сил или перемещений.

КЭ соединены в общих точках – узлах. В упругой стадии деформирования между реакциями в дополнительных связях и узловыми перемещениями существует линейная зависимость. В матричных символах она будет выглядеть так:

$$\{R\}_r = [k] \{q\}_r \quad (1)$$

Матрицу-столбец $\{R\}_r$ принято называть *вектором узловых реакций (сил) КЭ*. Очевидно, что число компонентов вектора узловых реакций равно сумме степеней свободы узлов КЭ. Та же сумма определяет и число компонентов *вектора перемещений КЭ* - $\{q\}_r$.

Определение коэффициентов жёсткости КЭ, т.е. вывод $[k]$ - *матрицы жёсткости*, - специфическая операция МКЭ, и в конечном счёте степень точности выражения (1) определяет и степень точности решения задачи в целом.

Точные коэффициенты жёсткости одномерных КЭ приводят к точным решениям задач о напряжённо-деформированном состоянии стержневых систем. Между тем для КЭ большей мерности определение коэффициентов жёсткости становится плоской или трёхмерной задачей теории упругости. Решения в этом случае могут быть лишь приближёнными, поэтому и задачи в целом решаются приближённо.

Выполненные исследования включают следующие этапы:

- определение и построение расчетной схемы адрессорной балки;
- определение физико-механических характеристик и свойств материалов конструктивных элементов ;
- построение различных конечно-элементных моделей адрессорной балки, предназначенных для изучения их работы и выявления различных особенностей поведения;
- численные исследования различных конечно-элементных моделей ;
- анализ результатов численных исследований конечно-элементных моделей ;
- предварительные выводы о работе конечно-элементных моделей и особенностях их поведения.

При построении расчётных схем было принято, что все конструктивные элементы адрессорной балки состоят из идеализированного материала, с сохранением главных физико-механических характеристик и свойств.

Важнейшим этапом решения задачи является составление расчётной схемы конструкции. Замена исходной конструкции совокупностью дискретных элементов подразумевает равенство энергий конструкции и её дискретной модели.

Адрессорная балка представляет собой конструкцию, состоящую из тонких листовых и массивных металлических конструктивных элементов. Поэтому дискретная модель включает оболочечные и объёмные элементы.

Рассчитывая объёмные тела методом конечных элементов, используют зависимости для трёхмерного напряжённого состояния. Эти зависимости наиболее общие, так как свободны от различных гипотез и предположений, характерных для некоторых частных задач. Так, теория изгиба пластин построена на основе гипотез Кирхгофа о пренебрежимо малой величине напряжений, перпендикулярных к срединной поверхности пластины, и прямых нормалей к той же поверхности. Таким образом, дискретная модель будет приближённо отражать поведение исходной конструкции.

Учитывая двухстороннюю симметрию адрессорной балки, конечно-элементная модель построена для четверти балки. При необходимости (например, для учёта несимметричной нагрузки) комплекс SCAD позволяет сформировать численную модель для полной конструкции балки.

Материал конструкции имеет большое значение для характера её работы. Для адрессорной балки принята сталь 20ГЛ с модулем упругости $E=2.02 \cdot 10^7 \text{ т/м}^2$.

Граничные условия соответствуют реальным условиям опирания балки на колёсную пару, а также условиям симметрии.

Расчётные эксплуатационные нагрузки на наддресорную балку определялись согласно действующим Нормам расчёта и проектирования. При этом расчётная сила, приложенная в центре подпятника наддресорной балки, принята равной 606.54 кН.

Глобальная конечно-элементная модель наддресорной балки (вариант 1) содержит 1555 узлов, 1419 элементов (рис.1), а модернизированной балки (вариант 2) - 1514 узлов, 1377 элементов (рис.2).

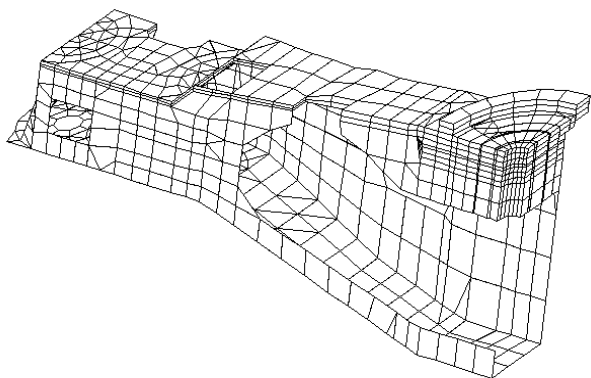


Рис.1. Конечно-элементная модель исходной балки

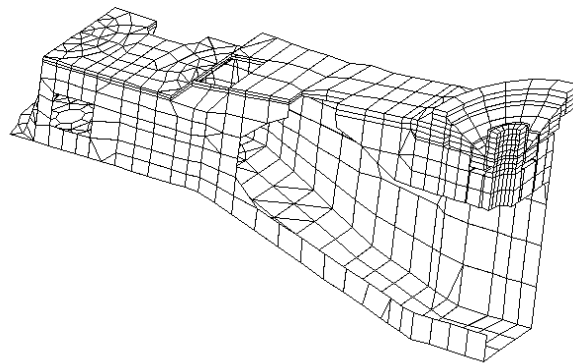


Рис.2. Конечно-элементная модель модернизированной балки

В результате расчёта определяется действительное напряжённо-деформированное состояние всех элементов наддресорной балки.

Нагружение балки указанной нагрузкой используется в основном для сравнения прочностных характеристик предлагаемых конструкций и не может в полной мере характеризовать работу конструкций наддресорной балки при всех возможных эксплуатационных нагрузках.

Сопоставление результатов по каждой из описанных выше моделей на статическое воздействие показывает, что прочность модернизированной балки соответствует прочности исходной.

Например, максимальное растягивающее напряжение NZ в модернизированной балке превосходит соответствующий параметр исходной балки всего на 1 %, при этом максимальное растягивающее напряжение NX снизилось на 70 %, а NY на 5 %.

Максимальные сжимающие напряжения NX снизились на 20%, NY - на 42%, а NZ - на 7 %.

Список литературы

1. *Зенкевич О., Морган К.* Конечные элементы и аппроксимации. М.: Мир, 1975. – 542 с.
2. *Карпиловский В.С., Криксунов Э.З, Перельмутер А.В., Перельмутер М.А., Трофимчук А.Н.* SCAD для пользователя. – К.: ВВП «Компас», 2000. –332с.
3. *Вагоны. Конструкция, теория и расчёт/ Под ред. Л.А. Шадура.* – М.: Транспорт, 1980. – 439 с.