

РАСЧЕТ ХАРАКТЕРИСТИК ВИБРАЦИИ КАРКАСА АВТОБУСА НА ОСНОВЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Каркас автобуса должен удовлетворять ряду требований, предъявляемых при эксплуатации: прочность, надежность, низкая металлоемкость конструкции, виброиндиферентность и т.д.

Экспериментальный подбор оптимальных параметров занимает много времени, требует больших затрат и специальных испытательных стендов. Решения таких задач представляют собой сложные вычислительные проблемы. Современные методы проектирования все больше базируются на компьютерном моделировании, позволяющем сравнительно недорого рассмотреть различные варианты решения.

Целью данной работы является сокращение сроков проектирования, доводки и ввода в производство новых моделей автобусов (на базе серийного автобуса МАЗ – 104С-21). Снижение расходов на проектирование, расчет и испытания новых моделей приведет к снижению металлоемкости конструкции кузовов, а также повысит эксплуатационные качества автобуса.

Проектирование и расчет производится в MSC/Nastran, а для оптимизации конструкции используется параметрическая оптимизация.

В работе рассматриваются построение конечно-элементной модели кузова, исследуются вопросы расчета деформаций в элементах конструкции на собственных частотах.

Описание каркаса автобуса

Кузов автобуса представляет собой пространственный стержневой каркас, соединенный с тонкой обшивкой боковин, крыши, передней и задней частей кузова, а также с полом его основания. Каркас автобуса является сварной конструкцией, состоящей из укрупненных сборочных единиц: основания, боковин, крыши, передней и задней частей. Сборку-сварку каркасов кузовов автобусов и их крупных сборочных единиц производят на сборочно-сварочных стандах (стапелях). Основание автобуса состоит из несущих лонжеронов, балок (различного сечения), ступенек и колесных ниш.

Конечно-элементная модель

Объект расчета – городской автобус МА3-104С-21. Несущая система его представляет собой единую конструкцию, в которой основные нагрузки воспринимают основание и боковины (рис. 1).

Исходными данными для расчета являлись: геометрические характеристики корпуса автобуса, сортамент используемых профилей, весовая характеристика автобуса, определяемые по чертежам общего вида и рабочим чертежам.

В качестве конечного элемента использовался пространственно стержневой элемент с шестью степенями свободы в каждом узле (рис. 1).

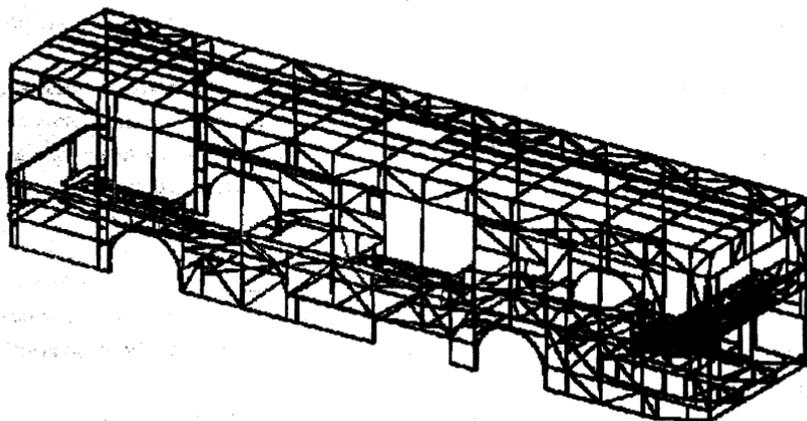


Рис. 1. Пространственно-стержневая конечно-элементная модель автобуса

В расчете не учитывалась обшивка автобуса. Приблизительно аппроксимировались места стыковки элементов, были упрощены профили некоторых труб, почти не учитывались различные усилители в виде накладок, косынок и т.п.

Производился расчет свободных колебаний (100 частот) и рассматривались все возможные, на этих частотах, виды деформаций.

По окончании расчетов оказалось, что в местах с большим уровнем деформации (в модели) в реальной модели автобуса отмечается разрушение обшивки. После определения наиболее деформируемых элементов была сделана попытка оптимизировать модель, т.е. варьируя сечениями балок попытаться уменьшить деформацию, не сильно ухудшив характеристики всей модели.

Оптимизационная модель

Анализ результатов расчетов и испытаний уже существующих автобусов

показывает, что уровень максимальных напряжений, действующих в различных элементах конструкции неодинаков. В отдельных элементах напряжения близки к допустимым, и в них следовательно материал используется эффективно. В некоторых элементах напряжения существенно ниже допустимых, что свидетельствует о недостаточной эффективности использования материала, либо наоборот чрезвычайные напряжения свидетельствующие о недостаточном упрочнении конструкции и как следствие поломки в этих местах. Одним из эффективных путей снижения общей металлоемкости и обеспечения прочности конструкции является многокритериальная оптимизация. Для решения поставленной задачи определим параметры оптимизационной модели.

1. Оптимизируемые (варьируемые) параметры – профиль (размеры поперечного сечения) трубы ($h/l/b$).
2. Параметрические ограничения. Трубы, из которой «варят» каркас имеют определенную толщину стенки, высоту и ширину профиля, и эти значения могут быть только в соответствии с сортаментом.
3. Критерии оптимальности – минимизировать металлоемкость конструкции (т.е. ее массу) и перемещения (деформацию) в узлах.

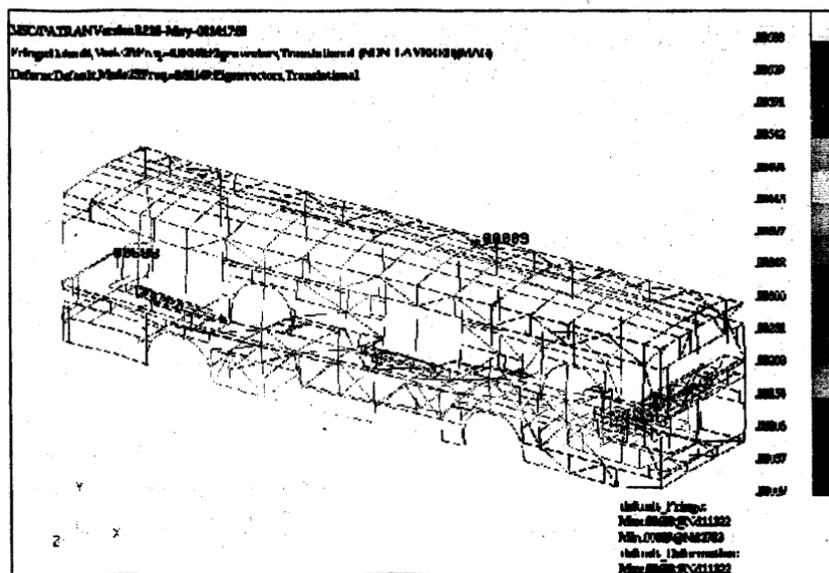


Рис. 2. Пример рассчитанной модели

Алгоритм и программный комплекс Optimit

После того как установлены оптимизируемые параметры и критерии оптимальности определим схему алгоритма, по которому будем проводить оптимизацию.

1. *Создание базовой конечно-элементной модели.* В среде MSC/Patran, по рабочим чертежам серийного автобуса МА3-104С-21, была создана пространственно-стержневая конечно-элементная модель, содержащая 6141 элемент (рис. 2). Эта модель является базой для создания других моделей (таких же по конструкции, но с измененными свойствами).

2. *Установка варьируемых параметров и расчет модели.* Были заданы материал и сечения балок в соответствии с чертежами. Расчет производился в системе MSC/Nastran. При расчете MSC/Nastran создает файлы нескольких конфигураций, файл результатов который открывается в (для визуального просмотра эпюр деформаций) имеет расширение ор2, так же создаются текстовые файлы с различными расширениями. Файл, из которого в последствие будут взяты данные о деформации в узлах, имеет расширение f06.

3. *Определение наиболее напряженного элемента.*

4. *Запуск программы Optimit и построение таблицы испытаний.* Как уже отмечалось выше, при расчете считалось 100 частот свободных колебаний. Но таблица испытаний составлялась для трех узлов и колебаний на одной и той же частоте, для конструкций выполненных из балок различных сечений. Работа программы Optimit заключается в генерации проектных решений и составление таблицы испытаний. В нем реализован метод Монте-Карло с использованием датчика случайных чисел, построенного на основе LP_r -последовательности. Этот датчик характерен повышенной равномерностью, что позволяет сокращать число испытаний в 2-3 раза. Для реализации этого задаются: количество испытаний, количества и значений параметров и критериев. Получив множество точек на первом этапе все завершается построением таблицы испытаний. В соответствие со значениями параметров из соответствующих текстовых (*.dat) берутся значения критериев. Далее составляется упорядоченная, затем нормированная упорядоченная таблица и строится пареттовское множество, из которого выбирается окончательное решение. Решение может быть выбрано следующим образом: самостоятельно из пареттовских точек, заданием весовых коэффициентов критериям, определение оптимального решения компьютером.

5. *Вывод оптимизированной модели.* После выбора окончательного решения, модель с заданными параметрами выводится, как оптимальная (с возможными замечаниями).

Численный эксперимент на основе конечно-элементного анализа каркаса автобуса позволил установить распределение уровня деформаций в стержнях. Вибрации, волновые пакеты сосредотачиваются в окрестностях слабых мест, т.е. мест с наименьшей жесткостью. Анализ линий тока энергии по каркасу, оболочкам и пластинам показывает, что линии тока энергии всегда направлены от мест с большей жесткостью в места с низкой жесткостью. В слабых местах уровень вибраций и деформаций максимален. Вследствие этого энергия колебаний трансформируется в энергию образования и накопления повреждений (образование и движение дислокаций, микротрещин, пор и т.д.) материал становится рыхлым, все более нелинейным, стареет и разрушается. Поэтому при проектировании отдельных элементов каркаса автобуса важно, чтобы собственные частоты элементов были далеки от резонансных. Это обеспечивает малость деформаций, вибраций, а следовательно, линейность модели. Достоинством линейных моделей является прогнозируемость их поведения во времени и пространстве. При приближении к резонансу уровни вибраций и деформаций растут, поэтому необходимо использовать нелинейные модели, поведение которых при определенных условиях становится стохастическим. При проектировании каркаса в целом на основании численного эксперимента необходимо так скомпоновать элементы, чтобы каркас обладал равной виброжесткостью и вибропрочностью. Выбор параметров должен быть таким, чтобы модель оставалась в рамках линейной. Проектирование возможно осуществить методами теории устойчивости движения на основе линейной модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кравчун П.Н. Генерация и методы снижения шума и звуковой вибрации. – М.: издательство Московского университета, 1991. – 145с. 2. Артоболевский И.И., Бобровницкий Ю.И., Генкин М.Д. Введение в акустическую динамику машин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. - 296с. 3. Блохинцев Д. И. Акустика неоднородной движущей среды. - М.: Наука, 1981. - 208 с. 4. Борьба с шумом на производстве. Справочник.- М.: Машиностроение, 1985. - 400 с. 5. ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. 6. ГОСТ 7.1.029-80. ССБТ. Средства и методы защиты от шума. Классификация. 8. ГОСТ 23941-79. Шум. Методы определения шумовых характеристик. Общие требования. 10. СНиП II-12-77. Защита от шума. Нормы проектирования. - М.: Стройиздат, 1978.