

УДК 658.512

А.А. Бурносенко¹, Е.-А.А. Прохорова²

ПРОВЕДЕНИЕ АКУСТИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ УСТРОЙСТВ В СРЕДЕ LS-DYNA

Исследуется актуальная задача анализа резонансных явлений, возникающих в конструкциях аудио- и видеотехники. Рассматриваются особенности частотного анализа в среде LS-DYNA, а также методики, которые позволяют в сжатые сроки усовершенствовать характеристики изделия. Приводятся результаты анализа, выполненного на примере телевизора «Горизонт».

Введение

Разработка современной телевизионной аппаратуры высокого качества включает в себя задачи создания современного дизайна, точной геометрии конструкторских деталей, внутри которых размещаются различные функциональные компоненты. При этом должны быть обеспечены высокие эксплуатационные характеристики аппаратуры. Одним из направлений решения перечисленных задач является применение средств инженерного анализа при проектировании, что позволит повысить качество и сократить время создания изделия.

Одной из важных задач, решаемых при проектировании теле- и радиоаппаратуры, является акустический анализ дребезга [1, 2] в рабочем диапазоне звуковых частот. Дребезг возникает в элементах конструкции, собственная частота которых лежит в звуковом диапазоне. Сложность данной задачи заключается в выявлении этих элементов на этапе проектирования, так как необходимо учитывать практически все составные части изделия, вплоть до самых мелких. Увеличение объема деталей анализируемой сборки ведет к увеличению размера создаваемой конечно-элементной модели (КЭМ), что обуславливает применение более мощных вычислительных средств, чем персональный компьютер.

Существующие системы инженерного анализа (Computer Aided Engineering, CAE) предоставляют разработчикам радио- и телеаппаратуры широкий спектр инструментов для выполнения разнообразных видов анализа конструкции в виртуальном пространстве.

При выборе CAE-системы должны рассматриваться вычислительные средства, которые обеспечат оптимальные затраты времени, необходимого для проведения расчета. Подробная модель изделия позволяет с высокой степенью точности выполнить расчет, по которому в конечном итоге можно составить оценку параметров работы конструкции, соизмеримых с реальными результатами. Такой анализ может быть выполнен и на персональном компьютере, однако в этом случае он потребует значительных временных затрат. В условиях рынка, когда период запуска новой модели изделия (например, телевизора на ПО «Горизонт») исчисляется одним или двумя месяцами, требуются сжатые сроки на проведение компьютерного анализа. При этом доля инженерных расчетов в общем времени разработки в среднем должна составлять не более одного дня. Таким образом, реализация данного этапа компьютерного моделирования в реальном процессе проектирования и изготовления изделия представляется возможной только с применением суперкомпьютера.

Для эффективного внедрения акустического анализа необходимо разработать алгоритм подготовки и проведения данного вида работ, позволяющий включить частотный анализ в реальный процесс времени разработки конструкции. Целью данной работы является описание метода и алгоритма проведения акустического анализа в среде LS-DYNA для телеаппаратуры на примере телевизора «Горизонт».

1. Постановка задачи для проведения акустического анализа

Цель акустического анализа – исключить дребезг за счет изменения геометрии корпуса и введения дополнительных усиливающих элементов, изменения положения и ориентации динамиков. При этом исследуется амплитудно-частотный отклик корпуса на различные виды воздействий от динамика, определяются характер распространения нежелательных колебаний по корпусным элементам телевизора и участки конструкции, подверженные резонансу.

При расчетах необходимо учитывать спектральный состав возбуждающего воздействия, а также массы основных узлов, монтируемых на корпусе [2]. После расчетов конструктивными методами необходимо снизить отклик корпусных деталей на наиболее критических возмущающих частотах и вывести резонансные частоты корпуса за воспроизводимый диапазон.

На данном этапе используется динамический нелинейный метод расчета. Для динамических расчетов можно воспользоваться пакетами LS-DYNA, PAM-RAYON и AutoSEA. При динамическом анализе можно рассмотреть колебания в корпусе при единичном воздействии либо при явно заданном по времени акустическом сигнале. Отклик конструкции в этом случае представлен в явном виде и пригоден для осуществления перехода из временной области в частотную.

В случае неэффективности такого анализа следует рассмотреть распространение акустических колебаний по воздуху внутри корпуса телевизора. При этом могут потребоваться добавление акустического экранирования динамиков или изменение положения оборудования внутри корпуса. В качестве входных данных используются результаты расчетов предыдущего этапа. На данном этапе необходимо определить характер распространения звукового давления по воздуху к областям корпуса, подверженным резонансу, и по возможности изолировать эти области. Данный этап предполагает статическую постановку задачи. При этом в расчетах рассматривается внутреннее пространство телевизионного корпуса со всеми возможными затеняющими объектами. Полученные результаты расчета позволят сформулировать рекомендации по улучшению акустики телевизора. Для расчетов можно использовать пакеты RAYON, AutoSEA, PAM-VA One.

2. Подготовка математической модели и анализ полученных результатов

В качестве среды препроцессора и расчета выбраны eta/VPG, LS-DYNA, LS-PREPOST. Расчет КЭМ проводится в динамической постановке задачи. Методика расчета предполагает задание в КЭМ единичного ступенчатого воздействия с последующим расчетом поведения колеблющейся системы во времени.

Существует ряд допущений, позволяющих с достаточной точностью получить требуемые данные. Одним из допущений является рассмотрение половины симметричной детали (рис. 1).

Модель имитирует собственные колебания кожуха в свободном состоянии, поэтому граничные условия (заделка) описаны таким образом, чтобы представлять собой только плоскость симметрии модели. Были проведены расчеты для половины и цельной детали телевизора (табл. 1) на высокопроизводительной мультипроцессорной вычислительной системе (BMBC), позволяющие считать полученные для половинной модели результаты достоверными с допустимой погрешностью.

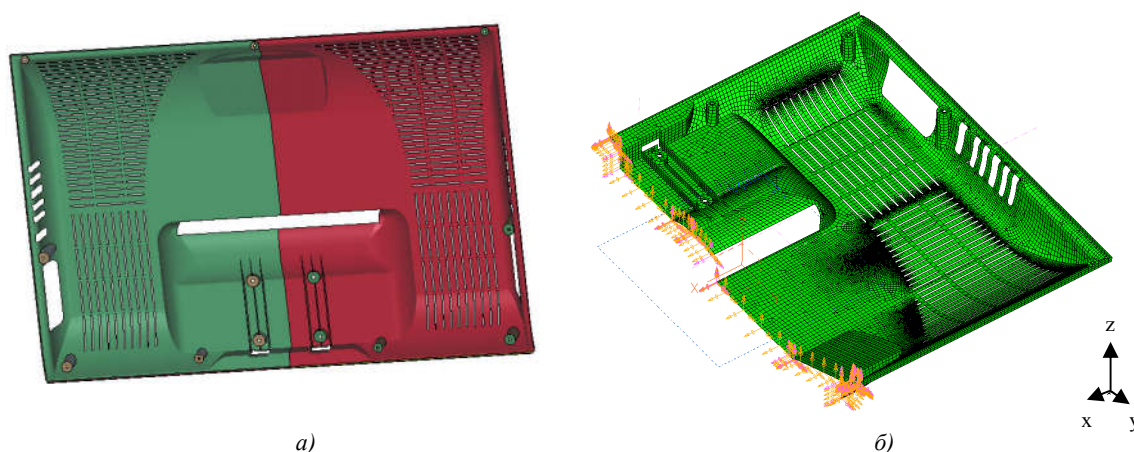


Рис. 1. Конечно-элементная модель кожуха телевизора: а) полная; б) половинная

Всем конечным элементам при создании КЭМ задается локальная толщина, определенная обмерами исходной объемной CAD-модели. На участках, где в реальной модели стенки имеют переменную толщину, толщина элементов усреднена. Инструментарий (eta/VPG, LS-DYNA [3]) позволяет использовать элементы и тела с переменной толщиной, однако при этом трудоемкость создания модели значительно возрастает.

Таблица 1

Результаты сравнения расчетов полной и половинной моделей кожуха

Вариант модели	Объем модели, Кб	Время расчетов	Количество узлов
Половинная	2 800 773	10 ч 22 мин 49 с	6
Полная	5 584 335	21 ч 04 мин 38 с	6

Поверхности контакта кожуха с другими деталями телевизора – это торцевые поверхности и бобышки. В рассматриваемом случае наложение на торцевые поверхности ограничений типа «жесткая заделка» позволяет получить достаточно адекватную математическую модель для проведения анализа собственных колебаний кожуха.

На нескольких участках модели (четыре узла сетки на плоскости симметрии) в начальный момент времени приложены кратковременные (до нескольких миллисекунд) ударные нагрузки, представляющие собой импульсы в направлении оси OZ (см. рис. 1). Под действием этих нагрузок система начинает колебаться; так как она находится в свободном состоянии, колебания также являются свободными и происходят с собственными частотами. Демпфирование в системе не учитывается.

Расчет поведения системы проводится во временной области. Результаты расчета должны иметь достаточный объем и разрешающую способность для последующего перехода в частотную область при помощи быстрого преобразования Фурье [4]. Главный параметр расчета с данной точки зрения – моделируемое время. Это время не должно быть меньше периода, соответствующего минимальной интересующей исследователя частоте.

Дискретность вывода результатов расчета должна быть достаточной для описания максимальной интересующей исследователя частоты. Например, рекомендуемая в руководстве пользователя *eta/VPG* дискретность вывода должна быть такой, чтобы на интересующий исследователя цикл колебаний приходилось по крайней мере пять точек. При анализе собственных колебаний телевизионного кожуха для диапазона 0–1000 Гц необходимо выводить результаты с дискретностью 0,0002 с.

Шаг интегрирования при расчете выбирался автоматически по критерию массы и жесткости минимального элемента сетки. Состояния (перемещения, скорости, ускорения) характерных точек кожуха во времени выводились программой *LS-DYNA* при расчете в текстовый файл.

3. Проведение расчета

Динамические расчеты позволяют наглядно показать, как в начальный момент времени (перед тем, как достигается состояние установившихся свободных колебаний) в материале кожуха распространяется ударная волна. Амплитуда колебаний узла, максимальная вначале, со временем уменьшается – энергия передается от точек, через которые в систему сообщается возбуждающее воздействие, во все участки системы. Данные результаты получены с помощью *VMBC* [5].

Частотный анализ проведен для трех вариантов математической половинной модели: свободная, с жестким закреплением и закреплением на упругом подвесе (пружинным закреплением) (табл. 2). В качестве поверхности закрепления для жесткой заделки были выбраны торцевые поверхности бобышек.

После получения картины колебаний системы результаты (перемещения, скорости, ускорения характерных точек системы) следует перевести из временной области в частотную, разложив колебания в спектр. Эта группа методов требует тщательного задания входных данных и значительных вычислительных ресурсов.

Таблица 2

Сравнение полученных результатов

Вариант закрепления	Время расчета	Объем полученных результатов, Гб
Свободное	6 ч 5 мин 58 с	10,8
Жесткое	9 ч 21 мин 29 с	9,9
На упругом подвесе	10 ч 22 мин 49 с	11,01

Для варианта закрепления на упругом подвесе необходимо выполнить 2500 итераций. Расчет 85 итераций (из 2500) на персональном компьютере (процессор *AMD Athlon64 3000+*, ОЗУ

1,5 Гб, Windows XP SP2) занял около 4 ч. Таким образом, для завершения расчета на персональном компьютере потребуется еще примерно 187 ч. Расчет этой же модели на VMBC занял всего 6 ч 29 мин на четырех узлах (восьми процессоров). Следовательно, полный расчет на персональном компьютере с такой конфигурацией проводить нецелесообразно. Также необходимо учитывать, что в зависимости от шага и времени вычислений, размера КЭМ объем выходной информации в виде набора файлов может измеряться в сотнях мегабайтов и даже гигабайтов.

Сравнение трех вариантов модели (свободная, с жестким закреплением и с закреплением на упругом подвесе) с данными, полученными в процессе натурных испытаний, показало допустимость применения моделей с жестким и пружинным закреплением. При этом модель с жестким закреплением позволяет определить области резонанса и примерные частоты возникновения резонанса. Модель на упругом подвесе позволяет получить более точные данные, но вместе с тем обладает рядом недостатков по сравнению с предыдущей: большими трудоемкостью в подготовке исходных данных для расчета, временем расчета и объемом выходных данных. Однако указанные недостатки становятся «незаметными» при использовании VMBC.

Для модели на пружинном подвесе были подобраны следующие величины: продольная жесткость подвеса – 10 Н/мм (исходный диапазон 0,1–10 Н/мм), крутильная жесткость подвеса – 0,1 Нм/рад (исходный диапазон 0,1–0,001 Н/мм).

Для слуха особенно заметны призывки и дребезги в районе 200 Гц, поэтому при выпуске на конвейере все изделия проверяются именно на этой частоте. В результате вычислений были выявлены основные области дребезга кожуха телевизора: верхняя часть решетки, боковой торец и область вокруг центрального паза.

Пружинные подвесы следует использовать для моделирования болтовых соединений между корпусными элементами телевизора вместо абсолютно жестких тел (балок или узловых жестких тел).

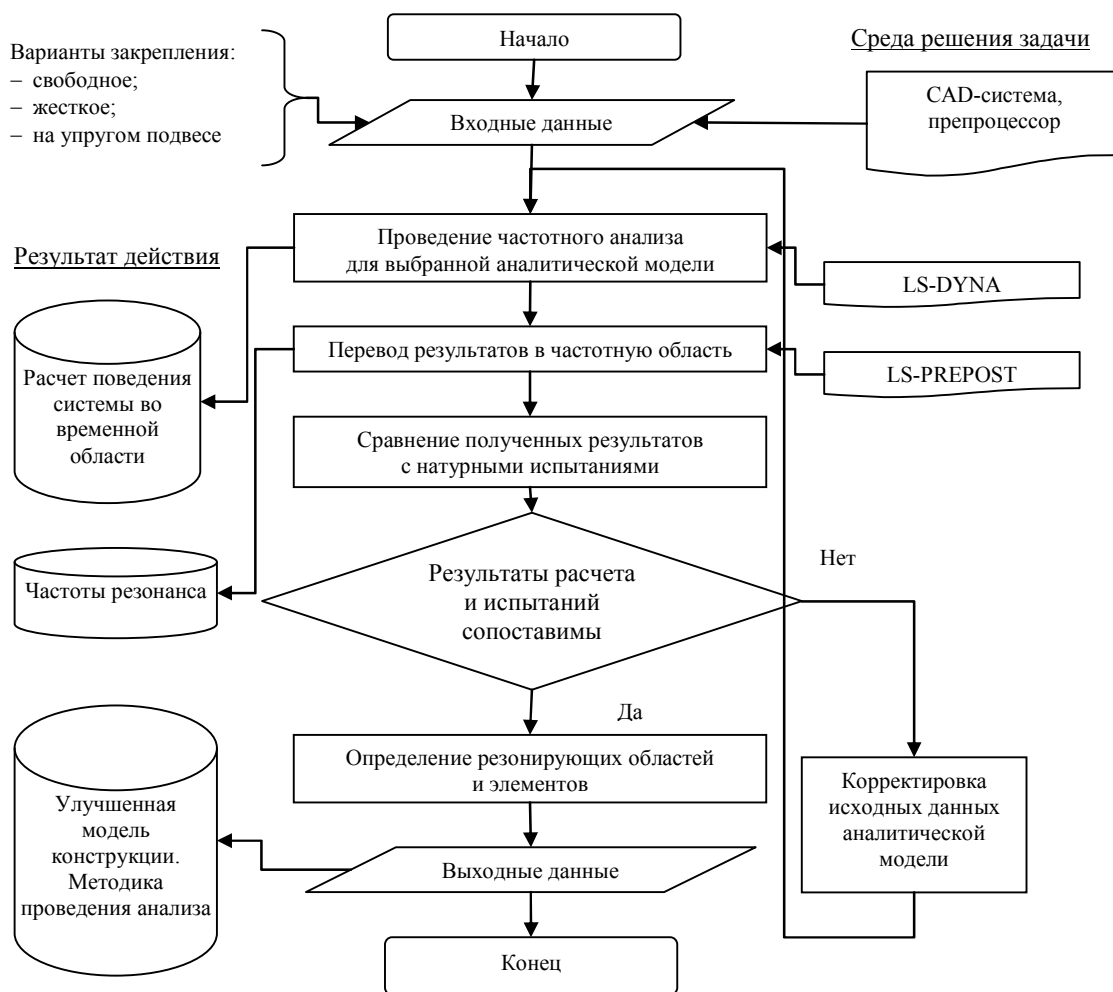


Рис. 2. Схема выполнения акустического анализа кожуха телевизора

Имея методику расчетов (рис. 2), а также полученные в процессе работы рекомендации по выбору параметров и выбору аналитической модели для телевизора, можно значительно сократить время подготовительного этапа и проведения анализа моделей телевизора.

Заключение

Разработанные рекомендации подготовки и проведения акустического анализа позволяют достаточно быстро выполнить анализ для разнообразных конструкций теле- и радиоаппаратуры и оценить характер поведения модели с достаточным приближением к натурным испытаниям.

Аппаратно-программные средства мультипроцессорных систем позволяют работать с данными большого объема. Скорость получения результатов в мультипроцессорной системе позволяет включать данный вид расчетов в реальный процесс изготовления телевизоров. При этом время подготовки данных для проведения расчета и получения результатов составляет в среднем 6–7 ч, что дает возможность улучшать конструкции в реальном режиме проектирования и изготовления модели.

Список литературы

1. Лепендин, Л.Ф. Акустика / Л.Ф. Лепендин. – М. : Высшая школа, 1978. – 448 с.
2. Ротенберг, Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. – М. : Машиностроение, 1972. – 392 с.
3. Руководство пользователя LS-DYNA. Ч. 1. Версия 960. – Ливермор, Калифорния : Livermore Software Technology Corporation, 2001. – 1421 с.
4. Павлейно, М.А. Спектральные преобразования в MatLab / М.А. Павлейно, В.М. Романданов. – СПб., 2007. – 160 с.
5. Суперкомпьютерные конфигурации «СКИФ» / С.В. Абламейко [и др.]. – Минск : ОИПИ НАН Беларуси, 2005. – 195 с.

Поступила 10.12.08

¹ЗАО «БелВирТел»,
Минск, Лукьяновича, 10–5
e-mail: burnosenko_a@microexp.com.by

²Объединенный институт проблем
информатики НАН Беларуси,
Минск, Сурганова, 6
e-mail: lab115@newman.bas-net.by

A.A. Burnosenko, E.-A.A. Prokhorova

SIMULATION OF ACOUSTIC PROPERTIES OF TELEVISION DEVICES IN LS-DYNA ENVIRONMENT

The problem of the analysis of resonance effect in audio- and video- devices is considered. It is demonstrated that simulating these processes allows improving the industrial product characteristics. Specific results of the analysis of resonance processes in «Horizont» television set using LS-DYNA software suite are reported as an example.