

УДК 629.113

ГАРМОНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕГКОВЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

А. В. Согин, д. т. н., проф., В. А. Шапкин, д. т. н., проф., Ю. В. Шапкина, асп. /
Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева (НГТУ)

А. Г. Китов, к. т. н., доц. / Нижегородский государственный педагогический университет
имени Козьмы Минина (НГПУ)

Вибронагруженность и оценка вибрационных параметров систем и агрегатов рулевого управления легковых автомобилей является современной и актуальной задачей.

Объектами исследований являются: рулевая колонка в сборе, устанавливаемая на автомобилях платформы PQ35 концерна Volkswagen, и рулевая колонка в сборе, устанавливаемая на автомобилях платформы L42L концерна Renault — Nissan.

С использованием программного комплекса «Анчис» проведён гармонический анализ на частотах, определённых при модальном анализе, что позволило детально проанализировать напряжения и перемещения рулевых колонок для того, чтобы сделать заключение о поведении рулевой колонки под воздействием вибрации.

На основе сравнения результатов гармонического анализа рулевых колонок сделаны выводы о том, что наибольшие перемещения (вертикальные и горизонтальные) рулевой колонки Nissan меньше, нежели перемещения рулевой колонки Volkswagen.

В автомобильной промышленности в последние годы выполнено много работ для определения индексов комфорта или показателей качества для подсистем транспортных средств. Однако при исследовании и совершенствовании систем и агрегатов рулевого управления автомобилей учёные и практики не уделяли внимания вопросам вибронагруженности и оценке вибрационных параметров этих конструкций.

Требования по вибрации и комфорту особенно высоки к деталям автомобиля, с которыми водитель взаимодействует непосредственно. Из всех вибрирующих поверхностей, с которыми водитель контактирует, рулевое управление особенно важно из-за чувствительности тактильных рецепторов кожи рук и в связи с отсутствием промежуточных структур, таких как обувь или одежда, которые могут снижать вибрацию. Рулевое колесо обе-

спечивает водителей ощущением вибраций на своих руках, которая даёт тактильную обратную связь о состоянии автомобиля и дороги. Вибрации рулевого колеса могут повлиять на суждения водителя о комфорте.

Одной из важнейших функций системы рулевого управления является передача рулевых воздействий от водителя на колеса. Следовательно, к системе рулевого управления выдвигаются противоречивые требования. С одной стороны, рулевая система должна быть жёсткой — для передачи воздействий водителя на колёса и для долговечности, с другой стороны, рулевая система должна быть мягкой — для комфорта, с высокой способностью гашения, поглощения колебаний.

Поэтому разработка методики расчёта вибрационных параметров рулевого управления легкового автомобиля в рамках исследования виброакустических и прочностных параметров рулевого управления автомобиля является современной и актуальной задачей.

Виброиспытание является общим требованием в автомобильной промышленности [4, 5, 7, 8, 9, 10]. Анализ отклика на вынужденные колебания (гармонический анализ) проводился для того, чтобы убедиться в том, что конструкция выдержит ожидаемые вибрационные нагрузки. При этом решались зависящие от времени



Рисунок 1. Объект исследований — рулевая колонка Volkswagen

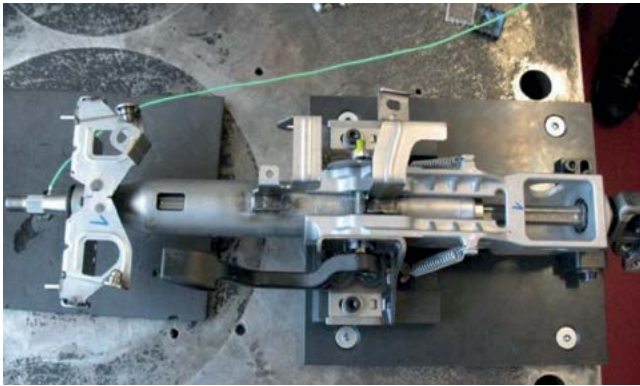


Рисунок 2. Объект исследований — рулевая колонка Nissan



Рисунок 3. Конечно-элементная модель рулевой колонки Volkswagen

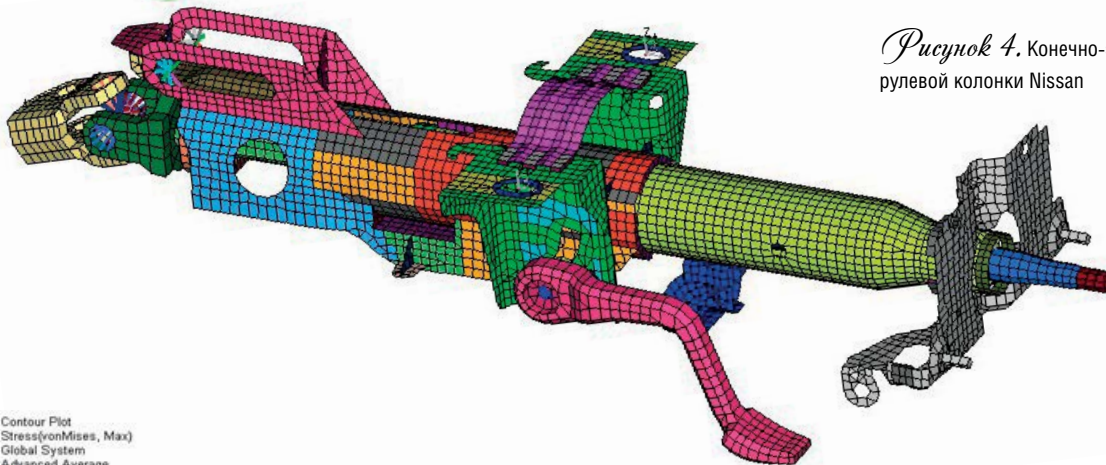


Рисунок 4. Конечно-элементная модель рулевой колонки Nissan

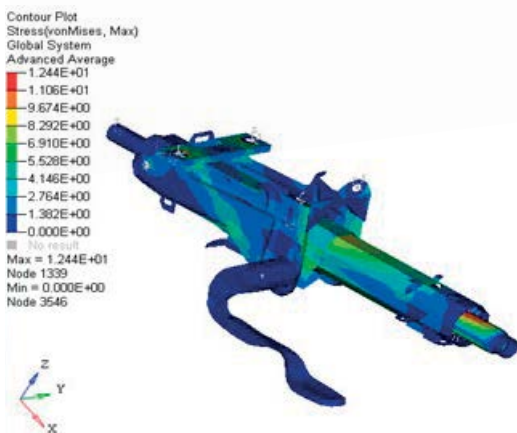


Рисунок 5. Результаты гармонического анализа рулевой колонки Volkswagen — вертикальные напряжения при максимальной по амплитуде частоте собственных колебаний 64,5 Гц

уравнения движения рулевых колонок с линейным поведением (линейные структуры) под воздействием стационарной, детерминированной вибрации.

При гармоническом анализе вводится предположение, что исследуемая система имеет линейные свойства, то есть реакция всегда пропорциональна силе возбуждения. Это предположение имеет три следствия для измерения амплитудно-частотных характеристик [1, 2, 3]:

1. Наложение — измеряемые амплитудно-частотные характеристики не зависят от типа и формы возбуждения. Возбуждение синусоидальной силой с изменением частоты даёт те же результаты, что и возбуждение случайной силой с широкополосным спектром;

2. Однородность — измеряемые амплитудно-частотные характеристики не зависят от уровня возбуждения;

3. Взаимность — измеряемые амплитудно-частотные характеристики не зависят от того, какая точка конструкции используется для возбуждения, а какая — для измерений (на основании теоремы взаимности Максвелла [7]).

Используемый в работе программный комплекс «Ан-сис» содержит три метода для анализа гармонического

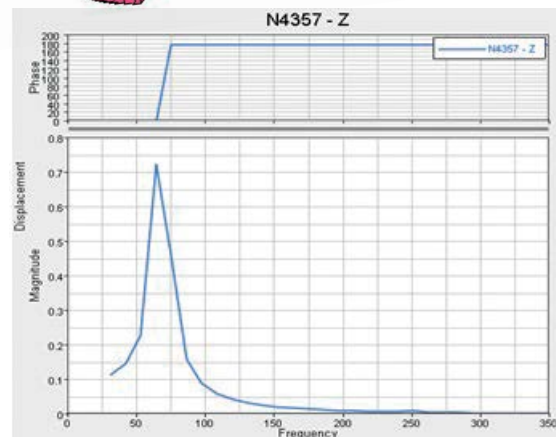


Рисунок 6. Фазовый и амплитудный спектры вертикальных перемещений точки крепления рулевого колеса рулевой колонки Volkswagen

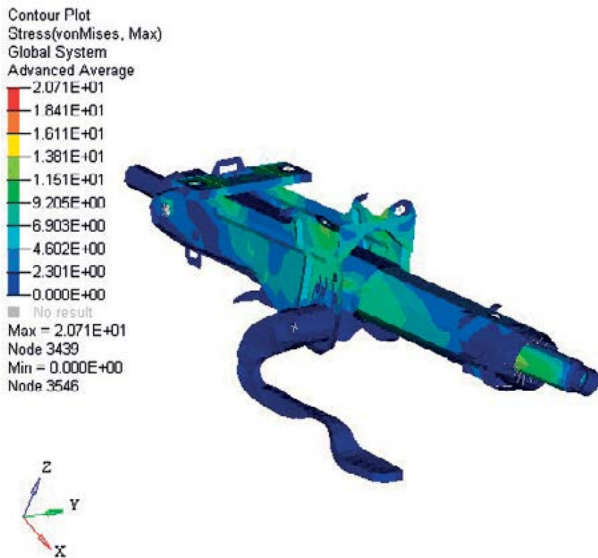


Рисунок 7. Распределение горизонтальных напряжений при максимальных по амплитуде частотах собственных колебаний 55,3 и 284,5 Гц рулевой колонки Volkswagen

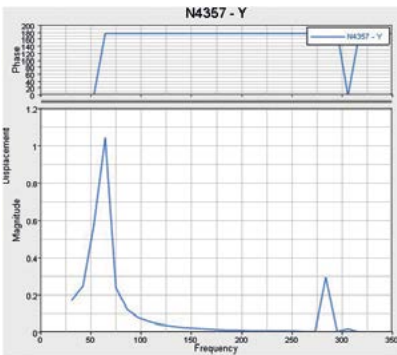


Рисунок 8. Фазовый и амплитудный спектры горизонтальных перемещений точки крепления рулевого колеса рулевой колонки Volkswagen

отклика: полный метод, редуцированный метод и метод суперпозиций режимов колебаний [8]. Применялся полный метод. Он использует полные матрицы системы для расчёта гармонического отклика (отсутствует сокращение матриц). Матрицы могут быть симметричными или несимметричными. При использовании JCG-решателя или ICCG-решателя полный метод очень эффективен в 3D-случаях, когда модель является громоздкой и детально описанной.

Гармонический анализ проводился на частотах, определённых при модальном анализе, и позволил детально проанализировать напряжения и перемещения рулевых колонок для того, чтобы сделать заключение о поведении рулевой колонки под воздействием вибрации [3, 7, 8, 9, 10].

На рис. 1–4 представлены объекты исследований. Это рулевая колонка в сборе, устанавливаемая на автомобилях платформы PQ35 концерна Volkswagen, и рулевая колонка в сборе, устанавливаемая на автомобилях платформы L42L концерна Renault — Nissan.

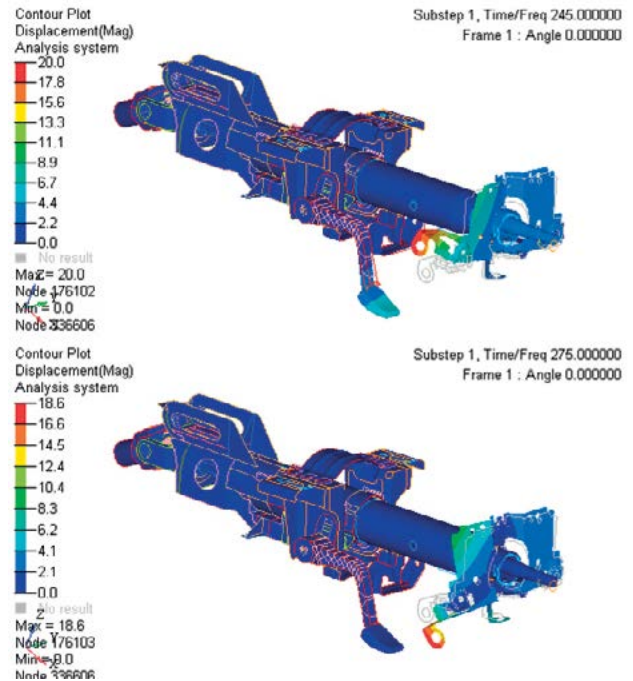


Рисунок 9. Результаты гармонического анализа рулевой колонки Nissan: распределение вертикальных напряжений при максимальных по амплитуде частотах собственных колебаний 245 и 275 Гц

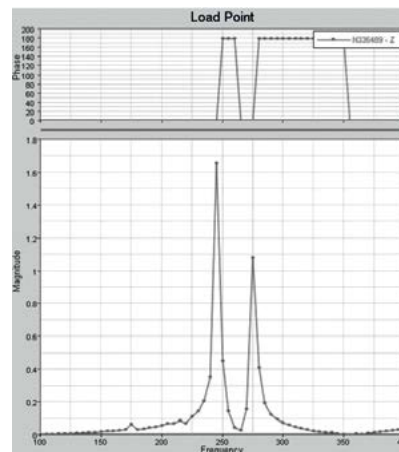


Рисунок 10. Фазовый и амплитудный спектры вертикальных перемещений точки крепления рулевого колеса рулевой колонки Nissan

На рис. 5–12 приведены результаты гармонического анализа рулевых колонок Volkswagen и Nissan: вертикальные и горизонтальные напряжения при максимальных по амплитуде частотах собственных колебаний, амплитудные и фазовые спектры вертикальных и горизонтальных перемещений точки крепления рулевого колеса.

Из представленных на рис. 5–8 результатов исследования отклика на вынужденные колебания (гармонического анализа) рулевой колонки Volkswagen можно сделать вывод о том, что под воздействием внешнего возбуждения в точке крепления рулевого колеса:

– наибольшие вертикальные перемещения 0,72 мм происходят при частоте 64,5 Гц;

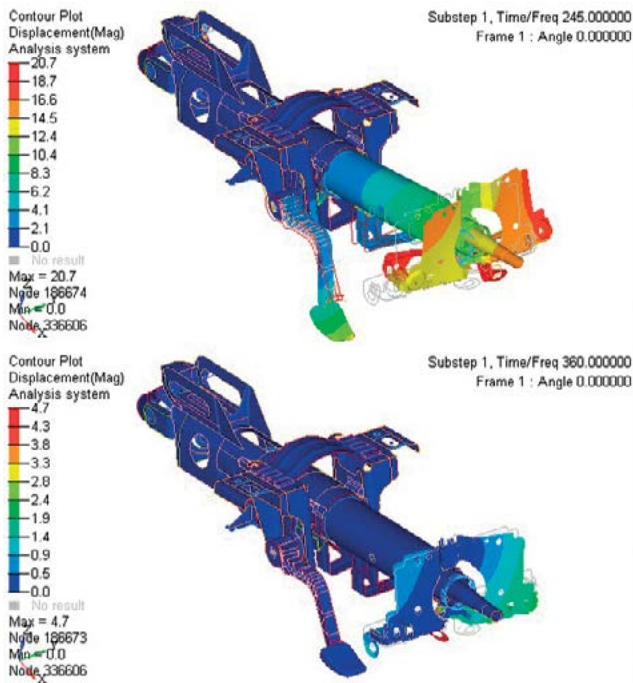


Рисунок 11. Распределение горизонтальных напряжений при максимальных по амплитуде частотах собственных колебаний 245 и 360 Гц рулевой колонки Nissan

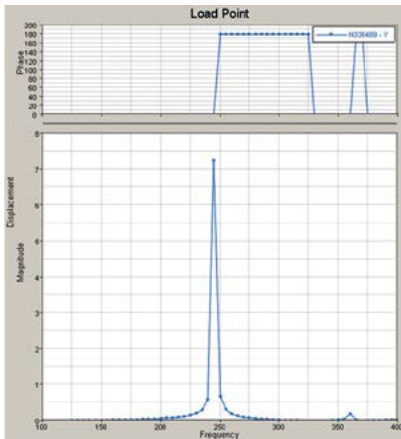


Рисунок 12. Фазовый и амплитудный спектры горизонтальных перемещений точки крепления рулевого колеса рулевой колонки Nissan

– наибольшие горизонтальные перемещения 1,04 и 0,3 мм происходят при частотах 55,3 и 284,57 Гц соответственно.

Из представленных на рис. 9–12 результатов исследования отклика на вынужденные колебания (гармонического анализа) рулевой колонки Nissan можно сделать вывод о том, что под воздействием внешнего возбуждения в точке крепления рулевого колеса:

– наибольшие вертикальные перемещения 0,42 и 0,23 мм происходят при частотах 245 и 275 Гц соответственно;

– наибольшие горизонтальные перемещения 0,74 и 0,01 мм происходят при частотах 245 и 360 Гц соответственно.

Из сравнения результатов гармонического анализа рулевых колонок Volkswagen и Nissan можно сделать вывод, что наибольшие перемещения (вертикальные и горизонтальные) рулевой колонки Nissan меньше, чем перемещения рулевой колонки Volkswagen.

У рулевой колонки Nissan частоты наибольших вертикальных и наибольших горизонтальных перемещений совпадают. Поэтому в случае воздействия с этой частотой на рулевую колонку Nissan внешних сил вероятность повышения колебаний (вибрации, «биения» руля) больше, чем у рулевой колонки Volkswagen, где эти частоты разнесены на 9 Гц (на 17 %).

При разработке конструкции автомобилей Nissan платформы L42L и Volkswagen платформы PQ35 необходимо стремиться к тому, чтобы на рулевую колонку не передавались вибрации с перечисленными частотами для предотвращения резонансных явлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Бабаков И. М. Теория колебаний: учеб. пособие. — М.: Дрофа, 2004. — 591 с.
2. Бидерман В. А. Теория механических колебаний. — М.: Высшая школа, 1980. — 408 с.
3. Блехман И. И. Вибрационная механика. — М.: Физматлит, 1994. — 400 с.
4. Правила ЕЭК ООН № 51 (02). Пересмотр 1. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения автотранспортных средств, имеющих не менее четырёх колёс, в связи с производимым ими шумом. — ЕЭК ООН, 1996. — 132 с.
5. Правила ЕЭК ООН № 117. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения шин в отношении звука, издаваемого ими при качении, и их сцепления на мокрых поверхностях. — ЕЭК ООН, 2010. — 80 с.
6. Седов Л. И. Механика сплошной среды. — М.: Наука, 1970. — Т. 1. — 492 с.
7. Шапкина Ю. В., Вахидов У. Ш. Анализ виброакустических параметров автомобиля // Труды НГТУ им. Р. Е. Алексеева. — 2013. — № 4. — С. 104–109.
8. Шапкина Ю. В., Китов А. Г., Вахидов У. Ш., Шапкин В. А. Применение инновационной системы численного моделирования (FEM) для исследования виброакустических характеристик (NVH) деталей автомобиля // Вестник Мининского университета. — Нижний Новгород: НГТУ. — 2013. — № 1 (4). — С. 374–385.
9. Шапкина Ю. В. Моделирование плотности потока энергии волн в деталях автомобилей // Современные проблемы науки и образования. — 2014. — № 2 [Электронный ресурс]. URL: www.science-education.ru/116-12858 (дата обращения: 22.04.2014).
10. Bianchini B. Active Vibration Control of Automotive Steering Wheels // SAE Noise and Vibration Conference Proceedings. — 2005. — № 1.