электронный научно-технический журнал
ИНЖЕНЕРНЫЙ ВЕСТНИК
Издатель ФГБОУ ВПО "МГТУ им. Н.Э. Баумана". Эл No. ФС77-51036. ISSN 2307-0595

СТАТИСТИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВИБРОИЗОЛЯЦИИ АВТОМОБИЛЯ

12, декабрь 2016
Жеглов Л. Ф.[1,*], Фоминых А. Б.[1]

УДК: 629.113.(075.8)

[1]Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана
*sheglov.l.f@mail.ru

Введение

Оценка вибрационной безопасности автомобиля проводится при математическом моделировании с использование спектрального анализа замещением анализируемой системы виброизоляции линейной или нелинейной эквивалентными динамическими системами. Решение данной задачи может быть реализовано в частотной или временной области. Выбор области расчетов определяется заданной точностью выполненных вычислений. Работая в частотной области, решение задачи в нелинейной ее постановке при случайном возмущении осуществляется с использованием метода статистической линеаризации. При проведении моделирования данной системы во временной области, с заданной ошибкой определения спектральной плотности временного сигнала, его требуемая длина составляет 0,5 часа (20 км пройденный путь автомобиля со скоростью 40 км/ч). В предлагаемом к обсуждению материале проводится сравнительная оценка результатов решения данной задачи в рассматриваемых областях.

Моделирование динамической системы в частотной области

Существующие способы статистической линеаризации отличаются исходными целевыми функциями, определяющими статистическую адекватность замены нелинейной функции линейным аналогом [1-5]. Причем, различные коэффициенты статистической линеаризации, характеризуют уровень флуктуации и частотный состав вибросигнала на выходе нелинейного элемента. На первом этапе исследования рассматривается рядная двухмассовая динамическая система [6], эквивалентная четверти двухосного автомобиля, с кусочно-линейными характеристиками подвески и шины.

Проводится сравнительный анализ расчета данной динамической системы для трех случаев статистической линеаризации. При этом третий способ рассмотрен в двух вариантах: коэффициенты статистической линеаризации постоянные и функции частоты. Исходным возмущением на динамическую систему в этом случае является случайный процесс, моделирующий движение автомобиля по грунтовой дороге со скоростью 40 км/ч. Расчеты проводились согласно известной методики [6]. В табл.1 приведены значения коэффициен-

тов статистической линеаризации для всех способов ее реализации. Как следует из приведенных данных, все коэффициенты претерпевают значительные изменения. Особенно это касается коэффициентов, характеризующих потери энергии в динамической системе. Следует отметить, что определение коэффициентов проводится методом последовательных приближений, включающим требуемое число итераций.

Таблица 1. Значения коэффициентов статистической линеаризации

Индекс коэффициента	Способы статистической линеаризации			
	Первый	Второй	Третий	Линейная система
c_1, Н/м	$2{,}951*10^5$	$3{,}202*10^5$	$3{,}362*10^5$	$1{,}477*10^5$
k_1, Н*с/м	$3{,}71*10^3$	$2{,}643*10^3$	$2{,}648*10^3$	$8{,}277*10^3$
c_2, Н/м	$4{,}579*10^5$	$3{,}673*10^5$	$3{,}857*10^5$	$6*10^5$
k_2, Н*с/м	43,943	1,528	1,962	500

Примечание: c_1 - коэффициент жесткости упругого устройства подвески;
k_1 - коэффициент демпфирования демпфирующего устройства подвески;
c_2 - коэффициент жесткости шины; k_2 - коэффициент демпфирования шины.

Рассматривая третий способ с позиции определения частотной характеристики нелинейных элементов системы подрессоривания, получаем зависимости исходных коэффициентов от частоты возмущения. В качестве примера, приведены обозначенные характеристики для упругой составляющей подвески и шины (рис.1).

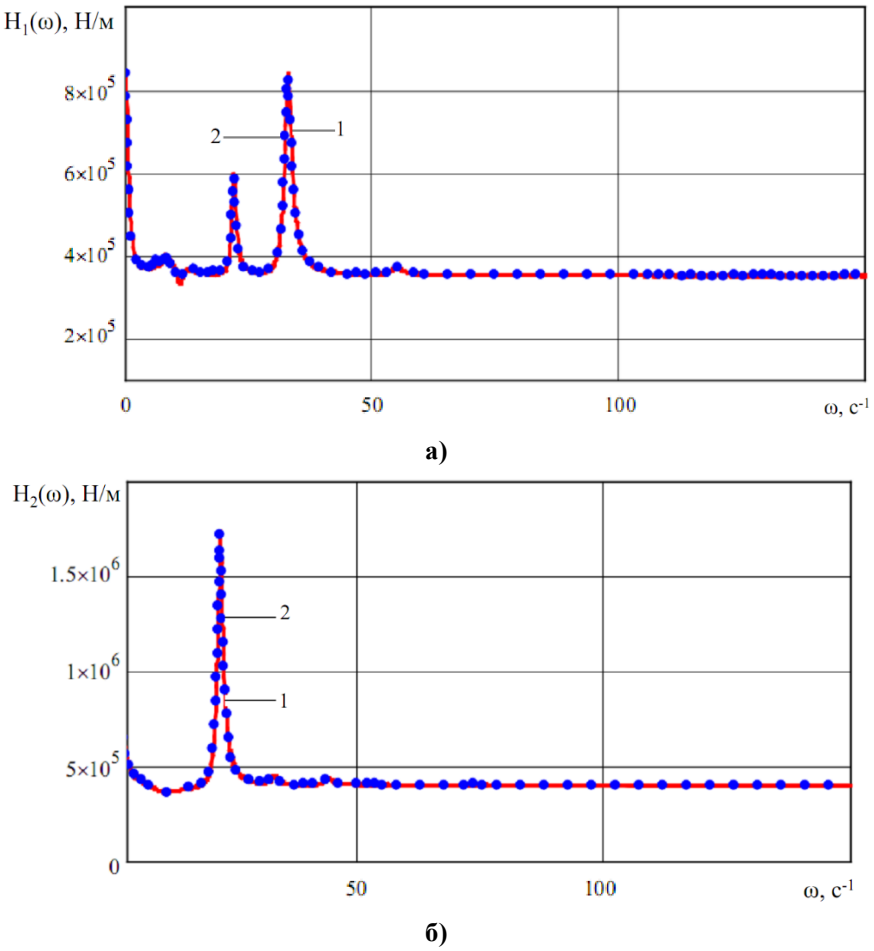
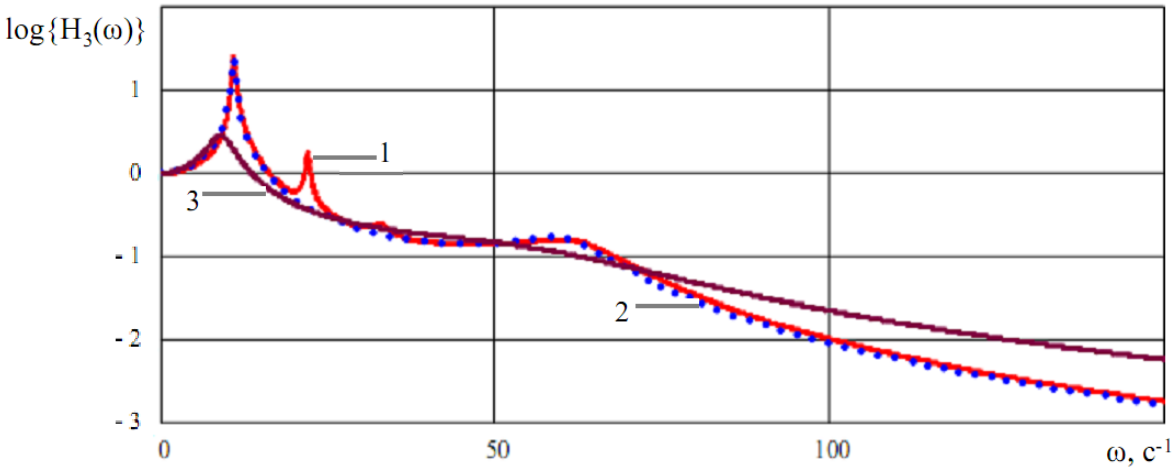
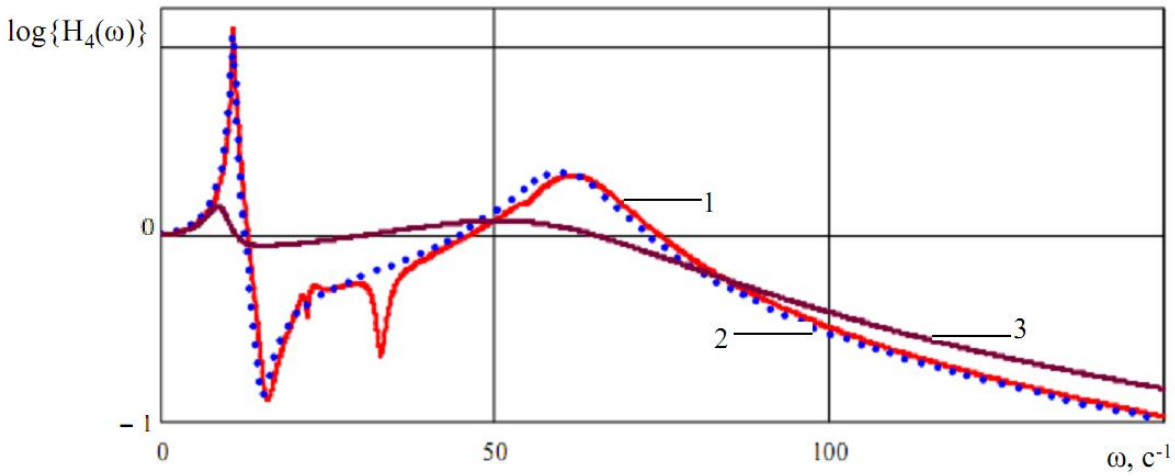


Рис. 1. Частотные коэффициенты для упругой составляющей подвески (**а)** и шины (**б)**.
1, 2 – различные способы вычисления коэффициентов

В этом случае интерес представляет трансформация амплитудно-частотных характеристик рассматриваемой системы (рис.2). Наряду с резонансными частотами имеем максимум характеристики на частоте кратной первой резонансной частоте.



а)



б)

Рис. 2. Амплитудно-частотные характеристики динамической системы:
а) перемещение подрессоренной массы; **б)** перемещение неподрессоренной массы;
1- третий способ линеаризации с учетом изменчивости коэффициента от частоты;
2- третий способ линеаризации; 3 – линейная система.

Интегральная оценка показателя вибрационной безопасности, среднего квадратического отклонения виброускорения подрессоренной массы, проводилась без частотной корректировки его значений (табл. 2).

Таблица 2. Значения показателя вибрационной безопасности

Показатель	Способы статистической линеаризации				
	Первый	Второй	Третий	Третий (ЧХ)	Линейная система
σ_y, м/с^2	12,9	16,9	17,6	17,4	4,71

Из приведенных данных следует, что второй и третий способы имеют различие в 4%, два третьих 1%. Наибольшее различие между первым и третьим способами 27%. Далее для сравнительной оценки результатов моделирования в частотной и временной области будем использовать третий способ статистической линеаризации.

Моделирование динамической системы во временной области

Решение рассматриваемой задачи в представленных случаях реализуется в программной среде Mathcad. С этой целью формирующие фильтры, обеспечивающие задание кинематического возмущения на динамическую систему в данном случае, моделируются в виде рекуррентных разностных уравнений [7]. Так как база данных по характеристикам микропрофиля дорожной поверхности находится в частотной области, то необходимо выполнить некоторые математические процедуры для перехода к временному аргументу [8]. В данном случае реализуется несколько другой алгоритм определения характеристик модуля, преобразующего входной сигнал в виде «белого» шума в основной сигнал кинематического возмущения. Исходной функцией является квадрат модуля частотной характеристики формирующего фильтра. Дальнейшее преобразование проводится с учетом частоты свертывания с последующей факторизацией [6, 7, 9].

Выполнение расчетов во временной области для сопоставления с полученными данными во временной области осуществлялось предварительное тестирование [10, 11]. В качестве объекта тестирования был принят линейный вариант динамической системы (табл. 3). Для получения спектральных характеристик процессов во временной области использовалось быстрое преобразование Фурье, окно Ханна при перекрытии 50% и 127 усреднениях. На основании полученных данных проводились интегральная и октавная оценки (табл. 3).

Таблица 3. Значения октавных показателей вибрационной безопасности. Линейная система

	Среднее квадратическое отклонение виброускорения подрессоренной массы				
Частота, Гц	1	2	4	8	16
Булыжная дорога. v=80 км/ч					
$\sigma_{лв}$, м/с^2	1,266	2,508	1,972	2,505	1,329
$\sigma_{лч}$, м/с^2	1,303	2,534	1,926	2,411	1,151
Грунтовая дорога. v=40 км/ч					
$\sigma_{лв}$, м/с^2	1,565	3,582	1,846	1.663	0,993
$\sigma_{лч}$, м/с^2	1,597	3,71	1,741	1,563	0,607

Примечание: $\sigma_{лв}$ и $\sigma_{лч}$ - средние квадратические отклонения виброускорения подрессоренной массы, определенные во временной и частотной области соответственно.

Приведенные в табл.3 данные позволяют сделать заключение о возможности сравнительной оценки при решении поставленных задач.

Для определения эффективности метода статистической линеаризации были проведены расчеты анализируемой динамической системы в случае движения автомобиля с раз-

личными скоростями по булыжной и грунтовой дороге, использую принятые ранее способы. В качестве примера приводятся расчетные данные однотипные с данными табл.4.

Таблица 4. Значения октавного показателя вибрационной безопасности. Линейная система

	Среднее квадратическое отклонение виброускорения подрессоренной массы				
Частота, Гц	1	2	4	8	16
Булыжная дорога. v=80 км/ч					
$\sigma_в$, м/с^2	1,935	5,102	1,717	2,513	1,713
$\sigma_{вл}$, м/с^2	1,377	7,47	1,922	2,668	1,514
$\sigma_{чл}$, м/с^2	1,299	7,452	1,691	2,547	0,744
Грунтовая дорога. v=40 км/ч					
$\sigma_в$, м/с^2	2,836	6,959	2,32	2,122	1,877
$\sigma_{вл}$, м/с^2	1,692	18,278	2,891	2, 818	3,23
$\sigma_{чл}$, м/с^2	1,348	17,931	1,868	1,672	0,428

Примечание: $\sigma_в$, $\sigma_{вл}$, $\sigma_{чл}$ - средние квадратические отклонения виброускорения подрессоренной массы, определенные во временной области, во временной области с коэффициентами статистической линеаризации и частотной области, в частотной области при статистической линеаризации.

Наряду с приведенными данными проводился анализ аналогичным образом для всех способов статистической линеаризации для перемещений и скоростей перемещений масс, прогибов подвески и шины, их скоростей. Получены результаты аналогичны приведенным ранее.

Заключение

На основании решения нелинейной задачи моделирования системы виброизоляции автомобиля следует:

- поставленную задачу возможно решить в частотной области при спектральном анализе системы, что удобно для оценки и контроля частотной структуры динамической системы;

- необходимо при расчете рассматривать также величины, которые характеризуют безопасность движения автомобиля, так как, например, среднее квадратическое отклонение прогиба шины в первом и втором случае составляет 26 мм и 35 мм соответственно;

- разработана методика анализа нелинейной системы виброизоляции в частотной и временной области, что позволяет перейти к решению комплексной задачи систем виброизоляции автомобиля.

Список литературы

[1]. Казаков И.Е., Доступов Б.Г. Статистическая динамика нелинейных автоматических систем. М.: Изд-во физико-математической литературы. 1962. 332 с.

[2]. Первозванский А.А. Случайные процессы в нелинейных автоматических системах. М.: Физматгиз. 1962. 352 с.

[3]. Бромберг П.В., Дмитриев А.Н., Егупов Н.Д. и др. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Книга 3. Часть II. Теория нестационарных, нелинейных и самонастраивающихся систем автоматического регулирования. / Под ред. В.В. Солодовникова. М.: Машиностроение. 1969. 368 с.

[4]. Хачатуров А.А., Афанасьев В.Л., Васильев В.С., Гольдин Г.В., Додонов Б.М., Жигарев В.П., Кольцов В.И., Юрик В.С., Яковлев Е.И. Динамика системы дорога-шина-автомобиль-водитель / Под общ. ред. А.А. Хачатурова. М.: Машиностроение. 1976. 536 с.

[5]. Бедулев А.В., Жеглов Л.Ф. Статистическая линеаризация при расчете систем виброизоляции колесных маши / Материалы Всероссийской научно-технической конференции, посвященной 100-летию начала подготовки инженеров по автомобильной специальности в МГТУ им. Н.Э. Баумана. (25-26 ноября 2009 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2009. С. 289-293.

[6]. Жеглов Л.Ф. Спектральный метод расчета систем подрессоривания колесных машин: учеб. пособие для вузов. 2-е изд., испр. и доп. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2013. 212 с.

[7]. Быков В.В. Цифровое моделирование в статистической радиотехнике. М.: Советское радио. 1971. 328 с.

[8]. Чабунин И.С. К вопросу моделирования микропрофиля дороги по колеям / Известия МГТУ «МАМИ». 2013. №1(15). Т.1. С. 225-229.

[9]. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. М.: Мир. 1989. 540 с.

[10]. Алексеев А.А. Оценка адекватности математической модели нелинейной системы подрессоривания / Материалы международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. (22-23 ноября 2006 г., МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва). М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2006. С. 270-281.

[11]. Cai G.Q., Suzuki Y. On statistical quasi-linearization / International Journal of Non-Linear Mechanics. 2005. Vol. 40. Is. 8. C.1139-1147. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2005.04.006