

# Математика и приложения

УДК 629.113

## Моделирование виброзащитной системы по мощности колебаний, действующих на человека

Бобровник А. И. (МТЗ), Микулик Т. Н., Рейзина Г. Н.  
Белорусский национальный технический университет

Проблема проектирования подвески сидения в значительной степени сводится к проблеме оптимизации ее параметров, на основании анализа результатов моделирования колебаний виброзащиты человека и выбора показателя наиболее полно учитывающего действие этих колебаний.

Любой объект характеризуется, во-первых, совокупностью конструктивных и физических признаков, во-вторых, набором параметров, входящих в уравнения статики и динамики, и, в-третьих, характеристиками, свойствами и параметрами, определяющими его эксплуатационные возможности.

Эксплуатационные возможности системы могут оцениваться по статическим и динамическим характеристикам, по реакциям на управляющие и возмущающие воздействия, по технико-экономическим показателям и т.п. Конструктивные и физические признаки системы поддресоривания обычно связаны с параметрами через сложные дифференциальные уравнения. Эти уравнения можно условно назвать «уравнениями проектирования». В свою очередь параметры входят в «уравнения динамики», решения которых дают интересующие свойства.

Задача анализа даже для сложных объектов может быть успешно и сравнительно быстро решена, так как, во-первых, все существующие виды математических описаний в той или иной степени приспособлены для решения именно этой задачи и, во-вторых, здесь эффективно используются средства математического и физического моделирования и вычислительной техники.

Задача синтеза несоизмеримо сложнее в связи с тем, что «уравнения динамики» и «уравнения проектирования», как правило, не линейны и не интегрируются аналитически, в них входит много величин, система конструктивных, физических и эко-

номических ограничений делает задачу неоднозначной и т.п. Вместе с тем именно задачи синтеза объектов простых или сложных являются предметом постоянной заботы любого инженера.

Применение идей и методов теории планирования эксперимента позволяет в ряде случаев произвести перестроение исходных, традиционных, моделей и получить их в виде алгебраических выражений, непосредственно связывающих свойства с параметрами, и параметры с конструктивными и физическими признаками системы, т.е. в форме, максимально приспособленной для решения задач синтеза [1].

Разумеется, в процессе указанного перестроения часть информации, содержащейся в исходной модели, утрачивается. Например, при переходе от модели в виде дифференциальных уравнений к модели в виде алгебраического уравнения, связывающего некоторые показатели процесса с параметрами системы, исчезает фактор времени.

Именно этот подход развит в настоящей работе при моделировании виброзащитной системы с учётом биомодели человека.

Объектом или динамической моделью в данном исследовании является система дифференциальных уравнений, описывающая изменение состояния системы поддрессоривания во времени при наличии управляющих и возмущающих воздействий:

$$M\ddot{z} + B\dot{z} + Az = Q(t). \quad (1)$$

Первая задача, которая решалась, – это нахождение параметров системы вторичного поддрессоривания сидения как функций обобщённых коэффициентов, характеризующих систему:

$$y = f(m, c, \eta, \tau).$$

Выбор величин  $y_i$  в качестве функций цели заслуживает особого с точки зрения последствий колебаний на человека. Установлено, что действие механических колебаний на организм зависит от частоты колебаний, их интенсивности (амплитуды), продолжительности действия и направления. В работах Р.В. Ротенберга приводятся следующие данные: колебания с частотой 3...5 Гц вызывают реакции вестибулярного аппарата и как следствие сосудистые расстройства и синдром укачивания (морскую болезнь). При колебаниях с частотами 5-11 Гц наблюдаются

расстройства аппарата внутреннего уха, печени, желудка; с частотами 11-45 Гц наблюдаются расстройства ряда внутренних органов, зрения; свыше 45 Гц механические колебания вызывают так называемую вибрационную болезнь.

Переходя к качественному решению – измерителю, характеризующему ощущения человека в автотранспортном средстве при колебаниях и количественной оценке, наиболее комплексной является оценка ощущений по мощности колебаний. Если  $F(t)$  – сила действующая на человека при колебаниях, а  $v(t)$  – скорость основания (сидения), то средняя мощность, подводимая к телу колеблющего человека:

$$W = \frac{1}{T} \int_0^T F(t) \cdot v(t) dt, \quad (2)$$

где  $T$  — время усреднения, для гармонического процесса равно его периоду, для случайного – его реализации. Так как подводимая мощность и, как результат, поведение человека как колебательной системы зависят от частоты колебаний и параметров системы. В данной работе [2] предлагается вводить весовой коэффициент  $k_{ij}$ , учитывающий воздействие колебаний:

$$W = \sum_{i=1}^n k_{ij} \cdot z_{ij},$$

причём коэффициент находится на основе экспериментальных данных, что вызывает определённые трудности. Опытные данные ограничены, известны лишь мощности:  $|W_1| = 0,2 - 3$  Вт, соответствующая комфорту, и  $|W_2| = 6 - 10$  Вт, соответствующая предельно допустимому ощущению. Таким образом, выбор величин  $y_1, y_2$ , соответствующих  $W_1, W_2$  в качестве функции цели, очевиден:

$$W = y = f(m, c, \eta, \sigma) = \frac{1}{T} \int_0^t (B\dot{q} + Aq)\dot{q} dt.$$

Авторами была разработана программа, реализующая математическое планирование эксперимента на языке программирования Borland C++ Builder v.6.0. Входными параметрами, кото-

рые фигурируют в программе, являлись: масса, жёсткость, коэффициент демпфирования и возмущение; они же представлены в программе как независимые переменные, обозначены соответственно  $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4$ .

Выходными являются полная сумма квадратов, остаточная сумма квадратов, сумма регрессии среднее квадратическое отклонение, коэффициент множественной корреляции, критерий Фишера (расчётный и теоретический), которые определяют адекватность модели и непосредственно само уравнение:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq y}}^n b_i x_i y_i .$$

В результате математического планирования эксперимента получены адекватные математические модели (полиномиальные зависимости), позволяющие проанализировать систему:

$$y_1 = 4,1 + 1,243Z_1 - 0,04Z_2 + 0,13Z_3 - 0,001Z_1Z_2 - 0,0192Z_2Z_3;$$

$$y_2 = 16,3 + 2,032Z_1 - 0,13Z_2 + 0,76Z_4 - 0,231Z_1Z_2,$$

где  $y_1 = W_1$ ,  $y_2 = W_2$ .

Располагая данными уравнений, проектировщик имеет возможность быстро произвести все необходимые расчёты и принять обоснованные решения.

В заключение отметим, что данный подход к разработке, совершенствованию показателей и измерителей, оценке ощущений колебаний, действующих на человека (биомодель), значительно лучше удовлетворяет существующим требованиям.

## Литература

1. Микулик, Н. А. Разработка факторных моделей, прикладных программ для решения задач вибронгруженности систем подпрессоривания / Н. А. Микулик, Г. Н. Рейзина // Доклады НАН Беларуси. – 2004. – Т. 48, № 4. – С. 102–106.
2. Ротенберг, Р. В. Подвеска автомобиля / Р. В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1997.