

СИНТЕЗ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМ ПОДРЕССОРИВАНИЯ МНОГООПОРНОГО ШАССИ

Канд. техн. наук Г.Н. РЕЙЗИНА

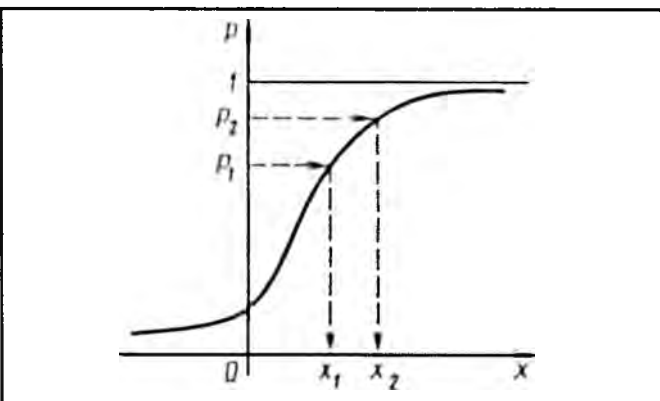
Белорусский национальный технический университет

Исследования систем поддресоривания многоопорного шасси позволяют установить количественные и качественные связи между их элементами, в том числе в динамике, следовательно, оценить ту или иную конструктивную схему АТС с точки зрения ее поведения в эксплуатации. Причем это касается как двухосных, так и многоосных машин.

Сказанное относится не только и не столько к выпускаемым, но и (даже больше) к создаваемым АТС: в последнем случае исследования позволяют выбрать такую систему виброизоляции системы поддресоривания, которая надежно защищала бы силовую установку, кабину, сиденья, груз от внешних воздействий.

В БНТУ давно занимаются данной проблемой. В частности, здесь разработана методика, в основу которой заложен системный подход, включающий несколько этапов: составление расчетной схемы АТС и его систем поддресоривания, а также уравнений, описывающих движение и связь с системами поддресоривания; определение внешних (дорожных) воздействий и начальных условий; решение дифференциальных уравнений; статистическая обработка полученных реализаций вибронгруженности; получение математических моделей на основе полного факторного эксперимента. В расчетных схемах и соответствующих им математических моделях поддресоривания массы считаются сосредоточенными, так как данные модели предназначены для определения осредненных характеристик вибронгруженности (математического ожидания, среднеквадратического отклонения и т. д.). Это значительно упрощает математическую модель.

Таким образом, специалисты БНТУ пользуются методикой, построенной на общепризнанных принципах. Но реализуется она с помощью совершенно специфических программ, которые хотя и набраны из стандартных модулей, но позволяют использовать и многомассовые разветвленные расчетные схемы АТС с распределенными параметрами. Важно и то, что управляющие и внешние воздействия формируются на основе определения случайных параметров работы АТС



(времени включения двигателя и тормозов, изменения скоростного и нагрузочного режимов), а в качестве случайных параметров рассматриваются "выбросы" микронеровностей с дорожного полотна и тормозной момент.

Каждый из перечисленных факторов определяют с помощью функции распределения $P = f(x)$ (см. рисунок). Для этого из таблицы случайных чисел берут — первое число (например P_1), которое и откладывают на оси ординат, т. е. принимают, что $f(x) = P_1$. Затем проводят линию, параллельную оси абсцисс, и по точке ее пересечения с кривой $P = f(x)$ находят значение случайного параметра x (например, распределения тормозного момента), которое можно использовать при моделировании вибронгруженности системы поддресоривания (подвески) и т. п. Потом из таблицы случайных чисел берут второе число (P_2) и определяют x_2 — новое значение случайного параметра.

Операция многократно повторяется. Благодаря этому появляется массив случайных параметров.

Далее по специальной программе определяют конкретные значения этих параметров. Но очевидно, что для решения задачи должна быть известна функция распределения $f(x)$ всех параметров, которые предполагают использовать для проектируемой системы.

Движение АТС формируют путем решения системы дифференциальных уравнений с помощью стандартных программ.

Цель, которую ставит перед собой исследователь, очевидна: это управление параметрами подвески многоопорной машины. Данная задача, безусловно, многокритериальная. И способы ее решения могут быть разными. Но в БНТУ исходят из предположения, что полином показателя вибронгруженности $y_c(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ограничен членами второго порядка и учитывает только парные взаимодействия факторов. То есть можно записать:

$$X_0 = x_0 = 1; X_1 = x_1; X_2 = x_2; \dots; X_n = x_n; X_{n+1} = x_1^2;$$

$$X_{n+2} = x_2^2; \dots; X_{2n} = x_n^2; X_{2n+1} = x_1 x_2;$$

$$X_{2n+2} = x_1 x_3; \dots; X_m = x_{n-1} x_n.$$

Тогда исходные уравнения могут быть представлены уравнением $Y_c = BX$, где Y_c — вектор частных критериев; B — матрица оценок коэффициентов регрессии; X — вектор факторов размерности.

Отсюда следует, что составляющие данного уравнения в матричной форме будут иметь вид:

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_r \end{bmatrix}; \quad X = \begin{bmatrix} x_0 \\ x_1 \\ \dots \\ x_m \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} b_{01} & b_{11} & \dots & b_{m1} \\ b_{02} & b_{12} & \dots & b_{m2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{0r} & b_{1r} & \dots & b_{mr} \end{bmatrix}$$

$$BX = \begin{bmatrix} x_0 b_{01} + x_1 b_{11} + x_2 b_{21} + \dots + x_m b_{m1} \\ x_0 b_{02} + x_1 b_{12} + x_2 b_{22} + \dots + x_m b_{m2} \\ \dots \\ x_0 b_{0r} + x_1 b_{1r} + x_2 b_{2r} + \dots + x_m b_{mr} \end{bmatrix}$$

Значит, $Y_c = b_{oc} + x_1 b_{1c} + x_2 b_{2c} + \dots + x_m b_{mc}$, или, в исходных переменных: $Y_c = b_{oc} + \sum_{i=1}^n b_{ic} x_i + \sum_{i+j}^n b_{ijc} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ijc} x_i^2$.

Могут быть, естественно, и дополнительные условия, полученные из экспериментального анализа особенностей эксплуатации и технологии производства машины, а также количественного влияния конструктивных ее факторов на обобщенный показатель вибронгруженности. В итоге такого анализа ряду параметров придадут конкретные значения. Остальные же берут из шкалы предпочтительности (такая шкала разработана).

Принимая зависимость показателей вибронгруженности от количественного значения параметров (факторов) линейной, получают значение показателя J вибронгруженности параметров x_i . Он имеет следующий вид: $J = \min \sum_{i=1}^n k_i x_i$ (Здесь k_i — коэффициент пропорциональности.) Тогда задача синтеза параметров решается совместно с задачей оптимизации (минимизации) колебаний (вибронгруженности) с помощью такой системы уравнений:

$$J = \min \sum_{i=1}^n k_i x_i \quad (X \in X^*)$$

$$\left. \begin{aligned} f(x_1, x_2, \dots, x_n, a) &= 0 \\ J &= \min \sum_{i=1}^n k_i x_i; X \in X^* \end{aligned} \right\}$$

(В данной системе первое уравнение получается из уравнения регрессии вида $y = bx$ при фиксированных значениях $y = y^*$; $a = b_0 - y^*$. Причем значение y^* принимается из технического задания на машину по соответствующему показателю.)

Аналогичным образом ставят задачу при многокритериальном варианте. Но число критериев эффективности может быть сокращено, если в результате факторного эксперимента обнаружится сильная корреляция между какими-либо показателями.

Причем надо иметь в виду, что на практике имеется возможность априорного задания желаемых значений всех частных критериев.

Если уравнения регрессии включают в себя только линейные члены, то задача синтеза решают методом линейного программирования, и ее запись имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} b_{11}x_{11} + b_{12}x_{12} + \dots + b_{1n}x_{1n} &= a_1 \\ b_{21}x_{21} + b_{22}x_{22} + \dots + b_{2n}x_{2n} &= a_2 \\ \dots &\dots \\ b_{r1}x_{r1} + b_{r2}x_{r2} + \dots + b_{rn}x_{rn} &= a_r \\ J &= \min \sum_{i=1}^n k_i x_i \end{aligned} \right\}$$

При наличии же нелинейных членов используют методы нелинейного программирования.

Таким образом, процедура синтеза связана с задачей оптимизации. Причем формулируя последнюю, следует учитывать тот очевидный факт, что сочетания параметров $X_{\text{опт}}$ может дать экстремум, как правило,

только одному из частных критериев. Поэтому среди этих критериев желательно выделить ведущий (y_1), в наибольшей степени характеризующий эффективность системы. Остальные же могут быть представлены как ограничения, и их целесообразные значения следует принимать на основе обобщенных показателей эксплуатации ближайших прототипов АТС. Кроме того, и само уравнение вибронгруженности в этом случае также должно играть роль ограничения. Тогда постановка задачи имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} y_1 &= \text{opt} f_1(x_1, x_2, \dots, x_n); \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq a_2; \\ \dots &\dots \\ f_r(x_1, x_2, \dots, x_n) &< a_r; \\ f_{r+1}(x_1, x_2, \dots, x_n) &\leq P, \end{aligned} \right\}$$

где f_1 — правая часть уравнения регрессии для ведущего критерия y_1 ; f_2, f_3, \dots, f_r — правые части уравнений регрессии для остальных $r - 1$ критериев; f_{r+1} — правая часть уравнения колебания; a_2, a_3, \dots, a_r — заданные значения ограничений для соответствующих критериев; P — допустимые вероятности значения параметров или в случае вибронгруженности — σ (среднеквадратическое ускорение). В итоге задача сводится к оптимизации данного критерия при учете ограниченной конструктивных факторов и, возможно, ряда (или всех) частных критериев.

Дополнительные резервы эффективности и экономии могут быть выявлены в результате взаимного сопоставления всех критериев в пространстве параметров X , примыкающем к точке экстремума $X_{\text{опт}}$.

В процессе синтеза могут возникнуть гипотезы, подтверждение которых может дать дополнительный положительный эффект, но исходных материалов для их проверки недостаточно. В этом случае проводят еще и активный эксперимент.

В качестве тестового примера использования рассмотренной выше методики были определены оптимальные параметры дополнительного подрессоривания силовой установки одного из серийных автомобилей. Задача оптимизации ставилась следующим образом: в некоторой ограниченной области для каждого параметра найти такие параметры виброизолирующей подвески, при которых вибрационная мощность P_u принимала бы минимальные значения в определенном диапазоне частот собственных колебаний установки на подвеске. При этом рассматривали два варианта подрессоривания двигателя: на четырех (существующий) и трех подушках. Причем в последнем случае две подушки располагались со стороны отбора мощности на колеса, третья — на картере по оси коленчатого вала.

Выходными данными анализа в пределах заданных ограничений были координаты x, y, z ; жесткость C_x, C_y, C_z подушек; минимальная (f_{min}) и максимальная (f_{max}) частоты собственных колебаний силовой установки, а также значение вибрационной мощности P_u . Результаты расчета приведены в таблице.

Реализация предлагаемой схемы подвески позволит сместить резонанс в нерабочую зону частоты колеба-

Вариант	Жесткость, Н/м			Координаты, мм, серийных опор № 1 и 2			Координаты, мм, серийных опор № 3 и 4			Координаты, мм, опытных опор № 1 и 2			Координаты, мм, опытной опоры № 3			Частоты, Гц		$P_{\text{в}}$, Вт
	C_x	C_y	C_z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	x	y	z	f_{min}	f_{max}	
Серийный	2003	2003	11 150	726	265	-213	-29	265	-213	—	—	—	—	—	—	4,6	22,5	0,501
Опытный	2320	1032	2590	—	—	—	—	—	—	706	225	200	760	15	200	5,13	10,2	0,201

ний двигателя и тем самым значительно снизить уровень его вибрации.

Рассмотренный метод синтеза параметров колебаний может быть включен в процесс проектирования новых АТС. Его эволюционный характер определяется не только широким использованием результатов эксплуатации существующих машин, но и тем, что разработка нового образца сопровождается сравнением результатов моделирования процессов эксплуата-

ции нескольких вариантов подвесок АТС. Ускоренный характер процедуры обеспечивается заменой значительной части реального процесса эксплуатации процессом моделирования, что в сочетании с широким использованием средств вычислительной техники и метода планируемого многофакторного эксперимента обеспечивает сокращение сроков как проектирования новых машин, так и поступления их в эксплуатацию.