УДК 629. 114. 026

Александров Е.Е., Пидашов В.В.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ПОДРЕССОРИВАНИЯ ГУСЕНИЧНЫХ МАШИН (ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЙ ВАРИАНТ)

Математическая модель системы подрессоривания гусеничной машины при её прямолинейном движении представляет собой систему дифференциальных уравнений, описывающих продольно-угловые и вертикальные колебания корпуса машины. Впервые наиболее полная математическая модель систем подрессоривания была получена проф. Груздевым Н.И. в 1944 г. и опубликована в работе [1]. Эта линейная модель явилась основой и была включена в основные вузовские курсы по теории подрессоривания гусеничных машин [2-4]. Нелинейные эффекты, связанные с нелинейностью упругих и демпфирующих элементов подвески, с ограничением хода опорных катков и их отрывом от грунта, стали учитываться в 70-х годах прошлого столетия представителями двух ведущих школ в области ходовых систем гусеничных машин – Московской школой, основателем которой был проф. Дмитриев А.А. [5], и Харьковской школой, основанной проф. Аврамовым В.П. [6]. Именно представителями Харьковской школы впервые была поставлена задача параметрического синтеза систем подрессоривания, под которой понимался целенаправленный выбор основных параметров, обеспечивающих наилучшие динамические характеристики системы. Так, в работе [7] была поставлена и решена задача оптимального выбора параметров подвески гусеничной машины при её работе в резонансных режимах, для чего предполагалось, что движение машины осуществляется по синусоидальной поверхности с различными скоростями движения. Сегодня очевидна ограниченность такого подхода, который только лишь позволил сдвинуть резонансные режимы из области наиболее вероятных скоростей движения машины. Понятно, что решение задачи параметрического синтеза системы подрессоривания может лежать только лишь в области стохастической теории динамических систем.

В данной работе сделана попытка решения задачи параметрического синтеза линейной системы подрессоривания гусеничной машины с использованием метода факторного эксперимента и с учётом случайного микро профиля дороги.

Уравнение вынужденных вертикальных колебаний подрессоренной части транспортного средства можно представить в виде:

$$\ddot{z}(t) + 2n\dot{z}(t) + k^2 z(t) = f(t), \tag{1}$$

где $z(t)$ – относительное положение центра масс транспортного средства относительно положения статического равновесия, $f(t)$ – функция, характеризующая случайный микро профиль дороги, n, k – параметры, характеризующие затухание колебаний и другие свойства подвески. Для выбора оптимальных значений параметров подвески n и k предлагается интегральный квадратичный функционал, который вычисляется на решениях уравнения (1):

$$I = \int_0^T \left(\dot{z}^2(t) + z^2(t)\right)dt. \tag{2}$$

Рассмотрим вначале простейшую задачу о нахождении значений параметров системы подрессоривания *n* и *k,* чтобы на решениях однородного дифференциального уравнения

$$\ddot{z}(t)+2\ \ n\ \ \dot{z}(t)+k^2 z(t)=0 \qquad (3)$$

достигал минимума функционал (2). Будем рассматривать параметры *n* и *k* в качестве факторов двухфакторного эксперимента, кодированные факторы представим в виде [8]:

$$\bar{x}_1=\frac{n-n_0}{\Delta n_0};\ \ \bar{x}_2=\frac{k-k_0}{\Delta k_0};$$

$$n_0=\frac{n_{\max}+n_{\min}}{2};\ \ \Delta n_0=\frac{n_{\max}-n_{\min}}{2};$$

$$k_0=\frac{k_{\max}+k_{\min}}{2};\ \ \Delta k_0=\frac{k_{\max}-k_{\min}}{2}.$$

Значения $n_{\max}$, $n_{\min}$, $k_{\max}$, $k_{\min}$ образуют прямоугольник возможных значений оптимизируемых параметров, который в общем случае может выбираться произвольно:

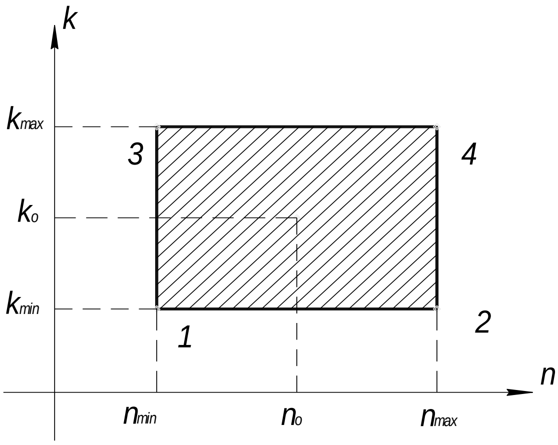

Рисунок – Прямоугольник возможных значений оптимизируемых параметров

Значения величин n_0 и k_0 называются факторами основного уровня. Точки 1, 2, 3, 4 назовём точками планирования и составим матрицу планирования:

Таблица – Матрица планирования

Номер опыта	x_0	x_1	x_2	y
1	+1	-1	-1	y_1 = 1.755
2	+1	+1	-1	y_2 = 1.441
3	+1	-1	+1	y_3 = 2.413
4	+1	+1	+1	y_4 = 1.890

Фактор x_0 называется фиктивным фактором и введён для общности подхода к вычислению коэффициентов функции регрессии y, которую зададим в виде полинома:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 \,. \tag{4}$$

Функция регрессии y_i (i = 1…4) вычисляется в точках эксперимента 1, 2, 3, и 4 путём численного решения системы дифференциальных уравнений:

$$\begin{gathered} \dot{z}_1(t) = z_2(t); \\ \dot{z}_2(t) = -k_i^2 z_1(t) - 2n_i z_2(t);\; i = 1\ldots 4, \\ \dot{z}_3(t) = z_1^2(t) + z_2^2(t), \end{gathered} \tag{5}$$

при начальных условиях $z_1(0) = 1$, $z_2(0) = 1$, $z_3(0) = 0$, причём

$$z_{3i}(T) = I_i = \int_0^T \left[\dot{z}_1^2(t) + z_2^2(t) \right] \; dt \;\; ; \;\; z_{3i}(T) = y_i. \tag{6}$$

Пользуясь полученной матрицей планирования, с помощью формулы:

$$b_j = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_{ji} y_i}{N} \;\; ; \;\; j = 0,\; 1..\;\; S \;\; , \tag{7}$$

где N – число опытов, S – число неизвестных коэффициентов, вычислим коэффициенты функции регрессии (4):

$$\begin{gathered} b_0 = \frac{1.755 + 1.441 + 2.413 + 1.890}{4} = 1.875; \\ b_1 = \frac{-1.755 + 1.441 - 2.413 + 1.890}{4} = -0.209; \\ b_2 = \frac{-1.755 - 1.441 + 2.413 + 1.890}{4} = 0.277; \\ b_{12} = \frac{1.755 - 1.441 - 2.413 + 1.890}{4} = -0.052. \end{gathered}$$

Для поиска минимума функции регрессии (4) продифференцируем её по факторам $\bar{x}_1$ и $\bar{x}_2$, результаты дифференцирования приравняем нулю:

$$\frac{\partial y}{\partial \bar{x}_1} = b_1 + b_{12} \bar{x}_2; \;\; \frac{\partial y}{\partial \bar{x}_2} = b_2 + b_{12} \bar{x}_1. \tag{8}$$

Из уравнений (8) получаем оптимальные значения кодированных факторов:

Да

$$\bar{x}_1^{\,*} = -\frac{b_2}{b_{12}} = 5.297; \quad \bar{x}_2^{\,*} = -\frac{b_1}{b_{12}} = -4.005.$$

Подставляя $\bar{x}_1^{\,*}$ и $\bar{x}_2^{\,*}$ в (4), получаем $y^* = 0.766$.

Таким образом, глобальный минимум функции регрессии (4) находится вне заштрихованного прямоугольника. Локальный минимум находится в вершине 2 и составляет $y_2 = 1.441$, что достаточно близко к глобальному минимуму.

Абсолютные значения оптимальных варьируемых параметров составляют:

$$\begin{aligned} n^* &= n_0 + \bar{x}_1^{\,*}\Delta n_0 = 6.148; \\ k^* &= k_0 + \bar{x}_2^{\,*}\Delta k_0 = 2.498. \end{aligned} \tag{9}$$

Заключение. Обобщая проделанную работу, можно сказать, что решение детерминированной задачи параметрического синтеза систем подрессоривания гусеничных машин при случайном микро профиле дорожного покрытия позволяет получить значения параметров, характеризующих работу подвесок, с достаточно высокой точностью.

Литература

1. Груздев Н.И. Танки: теория. – Москва: Машгиз. 1944. – 482 с.

2. Буров С.С. Конструкция и расчет танков. – Москва: Издание академии бронетанковых войск. 1972. – 602 с.

3. Балдин В.А. Теория и конструкция танков. – Москва: АБТВ. 1972. – 782 с.

4. Забавников Н.А Основы теории транспортных гусеничных машин. – Москва: Машиностроение. 1975. – 448 с.

5. Дмитриев А.А., Чобиток В.А., Тельминов А.В. Теория и расчёт нелинейных систем подрессоривания гусеничных машин. – Москва: Машиностроение. 1976. – 207 с.

6. Аврамов В.П. Динамика гусеничной транспортной машины при прямолинейном движении по неровностям. – Киев: УМК ВО. 1992. – 97 с.

7. Александров Е.Е., Епифанов В.В., Дущенко В.В. и др. Колебания в транспортных машинах. – Киев: ВИПОЛ. 1995. – 256 с.

8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – Москва: Наука. 1976. – 280 с.

УДК 629. 114. 026

Александров Є.Є., Підашов В.В.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ПІДРЕСОРЮВАННЯ ГУСЕНИЧНИХ МАШИН (ДЕТЕРМІНОВАНИЙ ВАРІАНТ)

Розкривається один із засобів параметричного синтезу систем підресорювання гусеничних машин. Описується рішення детермінованої задачі оптимізації з використанням метода факторного експерименту з урахуванням випадкового мікро профілю дороги. Оптимальні параметри підвіски отримано.