

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
Кіровоградська льотна академія Національного
авіаційного університету

**Матеріали
IV Міжнародної
науково-практичної
конференції**

*«Управління високошвидкісними рухомими
об'єктами та професійна підготовка операторів
складних систем»*

26-27 листопада

Кіровоград, 2015

В.Г. Хребет, к.ф.-м.н., доцент
 Национальный авиационный университет, г. Киев
 В.Г. Вербицкий, д.ф.-м.н. профессор
 Государственный экономико-технологический университет, г. Киев

Построение бифуркационного множества модели колесного экипажа на основе параметрического задания сил увода

В работе используется параметрическое описание экспериментально полученных зависимостей сил увода от угла увода для построения бифуркационного множества.

Массив данных представлен в безразмерном виде: боковая сила отнесена к вертикальной нагрузке, приходящейся на колесо; углы увода представлены в радианах. При параметризации используются рациональные функции в виде отношения полиномов пятой и второй степени. Количество коэффициентов, используемых при параметризации, совпадает с числом точек массива данных. Функции, описывающие параметризацию сил и углов увода, являются нечетными функциями параметра t (параметр параметризации не имеет в этом случае определенного механического смысла).

Ниже представлены массивы данных.

Массив данных 1 (для первой оси) - нормализованная сила увода $\left(\frac{Y_i}{N_1}, \delta_i, \text{рад} \right)$:

$$N_1 = 325 \cdot 9.81 \cdot H.$$

$\{(-0.1575; -0.6272), (-0.1313; -0.5878), (-0.1050; -0.5618), (-0.0788; -0.5225), (-0.0525; -0.4965), (-0.0263; -0.4049), (0, 0), (0.0263; 0.4049), (0.0525; 0.4965), (0.0788; 0.5225), (0.1050; 0.5618), (0.1313; 0.5878), (0.1575; 0.6272)\}$

Безразмерный коэффициент сопротивления увода

$$K_A = \frac{1291}{325 \cdot 9.81 \cdot 1.5 \cdot 0.0175}; \quad K_A = 15.4256888.$$

Зависимость силы бокового увода в параметрическом виде (Y_A – нормализованная сила увода, X_A – угол увода):

$$Y_A := \frac{0.065 \cdot (0.95 \cdot t^5 - 0.8 \cdot t^3 + 15 \cdot t)}{t^2 + 1};$$

$$X_A := \frac{t^5 + 2.2 \cdot t^3 + t}{t^2 + 1} \cdot 0.0175.$$

Параметр Z_A найден из условия, определяющего наклон явной зависимости силы увода как функции угла увода в начале координат:

$$Z_A := \text{solve} \left(\text{subs} \left(t = 0, \frac{\text{diff}(Y_A, t)}{\text{diff}(X_A, t)} \right) = 15.42568882 \cdot Z_A \right);$$

$$Z_A := 0.276871337.$$

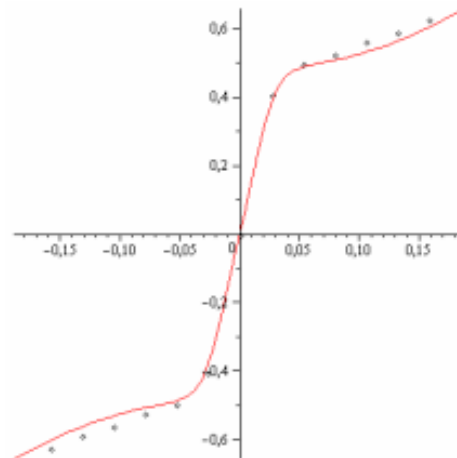


Рис 1 Зависимость силы бокового увода Y_A от угла увода

Массив данных 2 (для второй оси) - нормализованная сила увода $\left(\frac{Y_A}{N_2}, \delta, \text{рад}\right)$:

$$N_2 = 423 \cdot 9.81 \cdot H.$$

$\{(-9; -0,7444), (-7.5; -0,7227), (-6; -0,6825), (-4.5; -0,6022), (-3; -0,4617), (-1.5; -0,4617),$
 $(0, 0), (1.5; 0,4617), (3; 0,4617), (4.5; 0,6022), (6; 0,6825), (7.5; 0,7227), (9; 0,7444)\}.$

Безразмерный коэффициент сопротивления увода

$$K_B = \frac{1916}{423 \cdot 9.81 \cdot 1.5 \cdot 0.0175}; \quad K_B = 17.5896347.$$

Зависимость силы бокового увода в параметрическом виде (Y_B – нормализованная сила увода, X_B – угол увода):

$$Y_B := \frac{0.0731 \cdot (0.23 \cdot t^5 + 2.25 \cdot t^3 + 13.5 \cdot t)}{t^2 + 1};$$

$$X_B := \frac{t^5 + 1.8 \cdot t^3 + t}{t^2 + 1} \cdot 0.0175.$$

Параметр Z_B найден из тех же соображений, что и параметр Z_A :

$$Z_B := \text{solve}\left(\text{subs}\left(t = 0, \frac{\text{diff}(Y_B, t)}{\text{diff}(X_B, t)}\right) = 17.58963478 \cdot Z_B\right);$$

$$Z_B := 0.311920361.$$

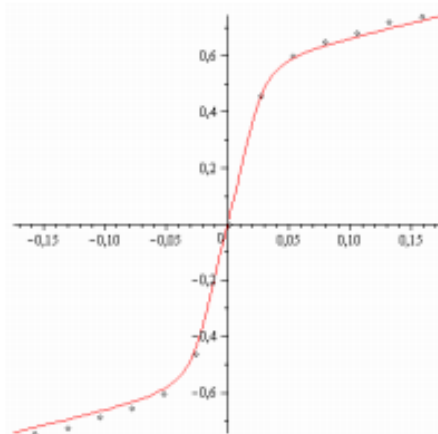


Рис 2 Зависимость силы бокового увода Y_B от угла увода

В пакете численно-аналитических преобразований Maple реализована программа построения бифуркационного множества на основе метода продолжения по двум параметрам с использованием параметрически заданных сил увода. С деталями метода продолжения по параметру можно познакомиться в монографии Лобаса Л.Г., Вербицкого В.Г. [1].

Результаты построения бифуркационного множества приводятся на рисунке. Точке заострения (каспу) соответствует критическая скорость прямолинейного движения экипажа. Остальные точки бифуркационного множества представляют собой критические значения параметров V – продольной скорости движения экипажа и θ – угла поворота колесного модуля экипажа, при которых теряется устойчивость круговых стационарных режимов.

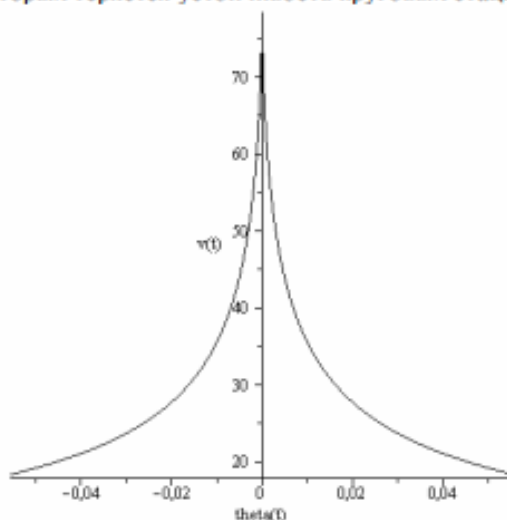


Рис 3 Бифуркационное множество модели двухосного автомобиля

Параметрическое задание функций сил увода дает возможность более точно описать реальные характеристики нелинейных зависимостей сил увода, хотя процесс определения коэффициентов, входящих в аналитическую аппроксимацию, на данный момент полностью не формализован.

Список литературы

1. Лобас Л.Г., Вербицкий В.Г. Качественные и аналитические методы в динамике колесных машин-Киев: Наук. думка, 1990-232 с.