

Таким образом, устанавливается взаимосвязь между точностью определения минимума целевой функции $\epsilon \in [0, \epsilon_{\max}]$ и точностью решения краевой задачи ϵ_r , при достижении которой обеспечивается конечный вычислительный процесс решения краевой задачи равновесного состояния гибкого троса воздушного буксира.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Салтыков Н. Е. Гибкие нити в потоках. – Киев.: Наукова думка, 1974.
2. Васильев Ф. П. Численные методы решения экстремальных задач. – М.: Наука, 1988.

УДК 531/534; 629.783 : 523.3

Седельников А.В., Бязина А.В., Антилов Н.Ю.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИИ ВЕЙЕРШТРАССА – МАНДЕЛЬБРОТА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ МИКРОУСКОРЕНИЙ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Вопросу моделирования микроускорений посвящено много работ как отечественных, так и зарубежных авторов в виду значимости проблемы микроускорений для космических технологий [1].

В данной работе исследуется возможность аппроксимации уровня микроускорений с помощью фрактальной функции Вейерштасса - Мандельброта [2]:

$$W(t) = \sum_{n=-\infty}^{+\infty} \frac{(1 - e^{ib^n t}) e^{i\varphi_n}}{b^{(2-D)n}}$$

где D - клеточная размерность функции (может изменяться от 1 до 2), φ_n - произвольная фаза (может изменяться от 0 до 2π), b - параметр, определяющий какая часть кривой видна, t - аргумент функции.

Возможность аппроксимации упростила бы задачу оценки максимального значения микроускорений, а также времени затухания до пределов микрогравитационного штiria [3]. На рис. 1 изображена зависимость микроускорений от времени при включении управляющих ракетных двигателей (УРД) для космического аппарата (КА) типа «Ника-Т» с тремя упругими элементами (две панели солнечных батарей и панель радиатора) с учетом шести первых форм колебаний [1].

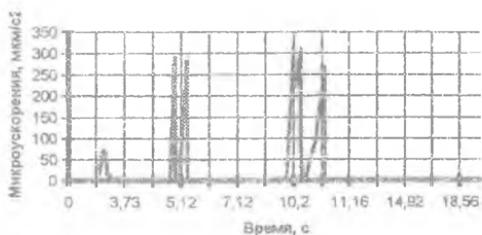


Рис. 1. - Зависимость микроускорений от времени на борту КА «Ника-Т» при включении УРД

На рис. 2 показана эта же зависимость с отрезанными скачками уровня при включении УРД.

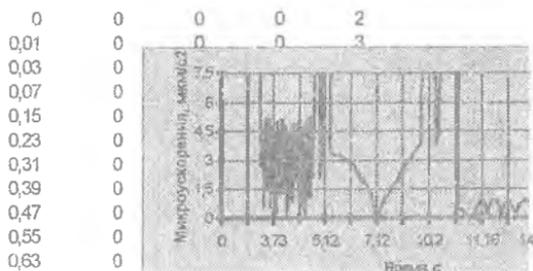


Рис. 2. - Фрагмент зависимости микроускорений от времени

На рис. 3 изображен отдельно взятый фрагмент между первым и вторым включениями УРД.

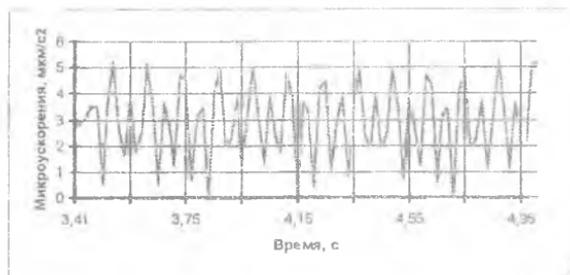


Рис. 3. - Фрагмент зависимости микроускорений от времени между первым и вторым включениями УРД

При слабом демпфировании с логарифмическим декрементом $\delta \approx 0,1$, близком к реальной характеристике материалов, на кривой (рис. 3) можно заметить повторяющиеся участки, что позволяет сделать вывод о фрактальной структуре кривой согласно [4] и аппроксимировать ее функцией Вейерштрасса-Мандельброта. Следует заметить, что слабое демпфирование позволяет применять для моделирования функцию (1) при нулевой фазе ($\varphi_n=0$). Действительная часть этой функции с учетом вышесказанного будет иметь вид:

$$W(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} \frac{1 - \cos b^n t}{b^{(2-D)n}} \quad (2)$$

Выбирая значения параметров $b = 0,01$ и $D = 1,999999999999$ (поскольку D не может быть равно 2), получаем зависимость, приведенную на рис. 4.

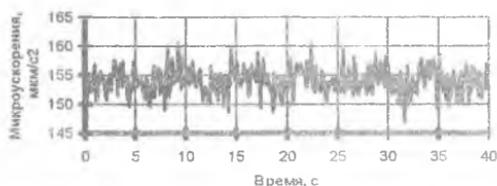


Рис. 4. - Действительная часть функции Вейерштрасса-Мандельброта

Вводя масштабные коэффициенты оси абсцисс $\zeta_x = 1,95$ и по оси ординат - $\zeta_y = 0,5$, получаем зависимость, приведенную на рис. 5. Коэффициент ζ_x всегда постоянен, т. к. характеризует переход параметра t функции (2) в реальное время. Масштабный коэффициент ζ_y

зависит от максимального значения микроускорений, которое, в свою очередь, зависит от внешних возмущающих факторов (в данном примере – это момент от УРД).

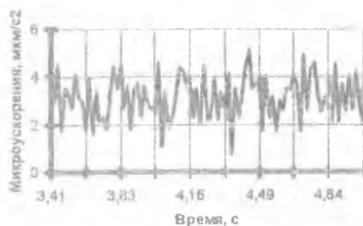


Рис. 5. - Моделирование микроускорений при помощи функции Вейерштрасса-Мандельброта

Погрешность моделирования (рис. 6) составляет в среднем 2,51 %, а максимальная погрешность равна 18,42%.

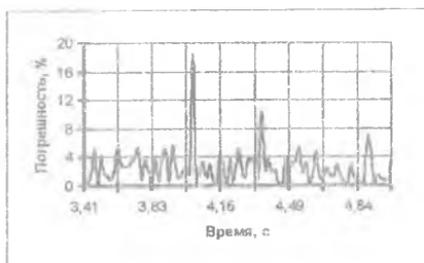


Рис. 6. - Погрешность аппроксимации

В результате численного моделирования выявлена корреляция числа учитываемых форм колебаний и клеточной размерности функции (2) [5].

Таким образом, выбирая масштабный коэффициент ζ , в соответствии со значениями возмущающих параметров, а клеточную размерность – с числом учитываемых форм, можно получить оценку уровня микроускорений. Следует отметить, однако, что при нулевой фазе оценку микроускорений нельзя проводить на бесконечно большом временном интервале.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Авраменко А.А., Седельников А.В. Моделирование остаточной микрогравитации на борту орбитального КА // Изв. Вузов Авиационная техника. - 1996. - № 4. - с. 22-25.
2. Mandelbrot B.B. The Fractal Geometry of Nature. - New York : W.H. Freeman, - 1983.
3. Седельников А.В. Критерий учета нелинейности в модели демпфирования собственных колебаний упругих элементов космической станции. - Деп. в ВИНИТИ. - № 2537-В96. - 23 с.
4. Mandelbrot B.B. Self-affine fractal sets // Fractal in Physics (eds. L. Pietronero & E. Tosatti) North-Holland, Amsterdam. - pp. 3-28.
5. Mauldin R.D. On the Hausdorff dimension of graphs and random recursive object // Dimension and Entropies in Chaotic Systems (ed. G. Mayer-Kress, Springer-Verlag, Berlin).-1986 - pp. 28 - 33.

УДК 629.78

Юдинцев В. В.

УРАВНЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ СВЯЗАННЫХ ТВЕРДЫХ ТЕЛ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ

Рассматривается задача построения уравнений движения механических систем ракетно-космической техники, с целью их дальнейшего решения на ЭВМ. Особенностью рассматриваемых механических систем является изменчивость их структуры во времени, возможность “включения” и “выключения” связей с течением времени при выполнении некоторых условий. Приведем два примера таких систем.

Первый пример – система, состоящая из центрального блока и створок головного обтекателя, которые в процессе своего отделения при развороте на определенный угол теряют кинематическую связь с центральным блоком. Второй – система, состоящая из центрального блока и боковых блоков, в процессе отделения которых число степеней свободы в общем случае изменяется от 10 до 24. Обычно тела рассматриваемых механических систем соедине-