

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПОГОННОЙ МАССЫ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА НА СРЕДНЕЕ ЗНАЧЕНИЕ МИКРОУСКОРЕНИЙ

Седельников А.В., Подлеснова Д.П.

*Институт энергетики и транспорта  
Самарского государственного аэрокосмического университета, Самара*

axe\_backdraft@inbox.ru

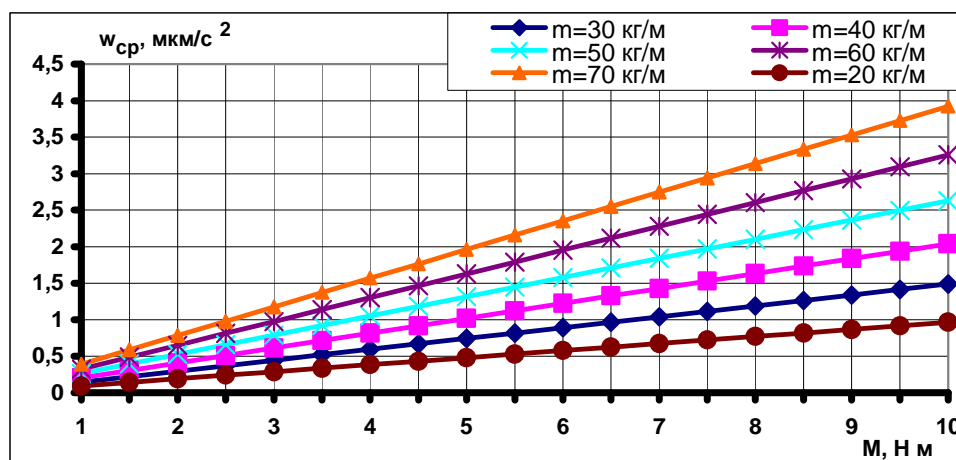
**Введение.** При построении фрактальной модели микроускорений с помощью функции Вейерштрасса-Мандельброта важно адекватно отождествить параметры функции с реальными физическими характеристиками возникновения поля микроускорений внутри космического аппарата (КА) при его орбитальном полете [1]. В ряде работ, посвященных этому отождествлению, фрактальная размерность функции  $D$  связывается с моментом от управляющих ракетных двигателей системы ориентации и управления движением КА (УРД) [2-4]. Рассматривается поле микроускорений создаваемое за счет колебаний больших упругих элементов (панелей солнечных батарей (ПСБ), радиатора, антенн и др.) сразу после выключения УРД [1].

**Постановка задачи.** Для исследования влияния погонной массы упругого элемента на среднее значение модуля микроускорений, создаваемых внутри КА при колебаниях этого элемента, была выбрана схема КА типа «НИКА-Т» с одним упругим элементом. Вектор момента от УРД был параллелен линии крепления упругого элемента к корпусу КА. Уравнения движения такого КА получены в работе [5]. Здесь упругий элемент рассматривается как жестко заделанная в корпус КА пластина.

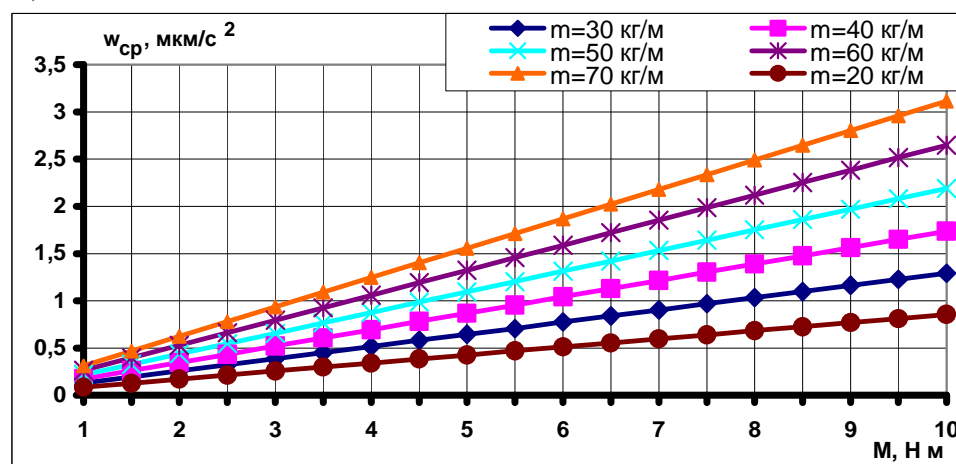
Исследования, проведенные в [6] показали, что учет упругости узла крепления ПСБ не дает существенных поправок в модель создания поля микроускорений, немного снижая амплитуду микроускорений и частоту передаваемых на корпус колебаний. Неучет данного снижения делает оценку более надежной, закладывая определенный запас.

Таким образом, ставится задача исследования изменения среднего значения модуля микроускорений, возникающих из-за колебаний упругого элемента, при изменении погонной массы этого элемента.

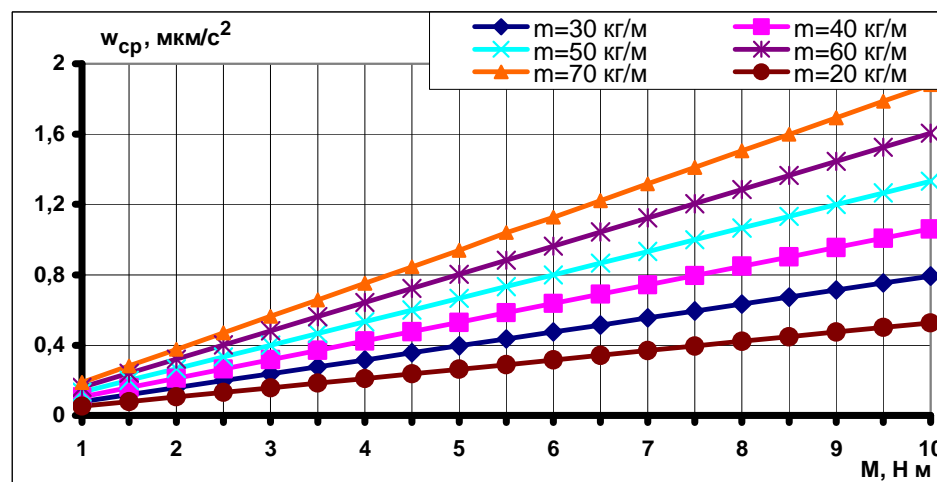
**Основные результаты работы.** На рис. 1 показаны зависимости среднего значения микроускорений от момента УРД при различных значениях погонной массы упругого элемента. Как видно, такой ход событий полностью соответствует изменению среднего значения ФВМ в зависимости от фрактальной размерности  $D$ , которая приведена на рис. 1 работы [7]. Тогда роль масштабного параметра  $b$  здесь играет как раз погонная масса упругого элемента.



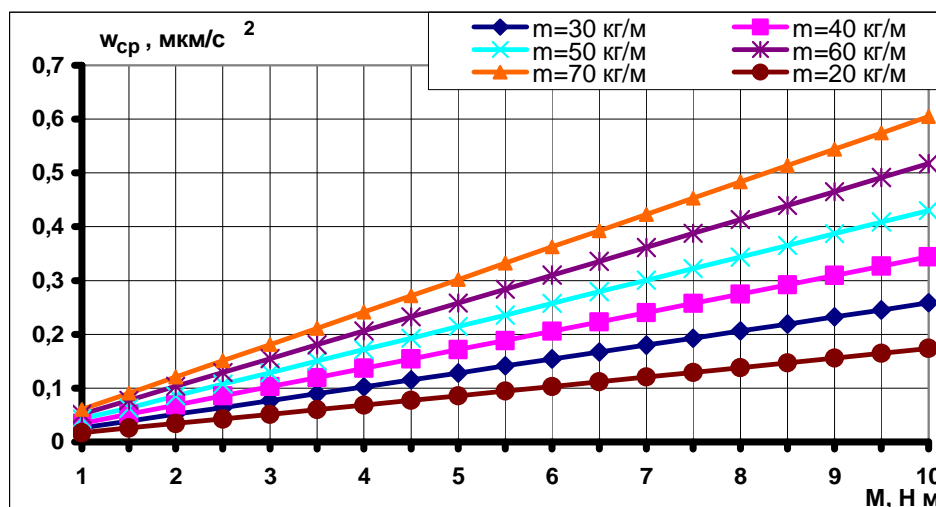
**Рис. 1.** – Динамика изменения среднего значения микроускорений от момента УРД при общей массе КА 6500 кг и длине ПСБ 4,6 м  
 Аналогичные зависимости получены и при другой длине упругого элемента (рис. 2-5).



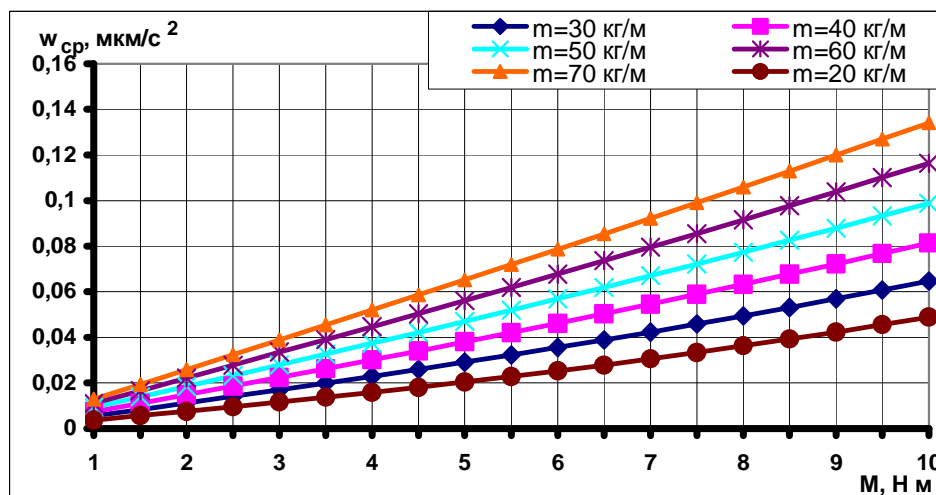
**Рис. 2.** – Динамика изменения среднего значения микроускорений от момента УРД при общей массе КА 6500 кг и длине ПСБ 3,6 м



**Рис. 3.** – Динамика изменения среднего значения микроускорений от момента УРД при общей массе КА 6500 кг и длине ПСБ 2,6 м



*Рис. 4. – Динамика изменения среднего значения микроускорений от момента УРД при общей массе КА 6500 кг и длине ПСБ 1,6 м*



*Рис. 5. – Динамика изменения среднего значения микроускорений от момента УРД при общей массе КА 6500 кг и длине ПСБ 0,6 м*

Эти зависимости практически прямолинейны. Сам модуль микроускорений при вращательном движении КА вокруг центра масс складывается из нормальной и касательной компонент. Как известно, нормальное ускорение зависит от квадрата угловой скорости вращения КА и в данной задаче является малой величиной более высокого порядка малости по сравнению с касательным ускорением. В свою очередь касательное ускорение линейно связано с угловым ускорением вращения КА, которое также линейно зависит от момента УРД в данной постановке задачи, где считается, что все другие моменты малы по сравнению с моментом УРД.

Несмотря на то, что при получении зависимостей, представленных на рис. 1-5, учитывались обе компоненты, влияния нормальной компоненты

совершенно незаметно. В дальнейшем эти корреляционные зависимости можно считать идеальными прямыми, начинающимися в точке ( 0; 0 ).

С помощью метода наименьших квадратов были определены коэффициенты линейной модели парной регрессии:

$$\overline{w_{cp}} = a_1 M + a_0, \quad (1)$$

где  $M$  – момент УРД.

На рис. 6 представлена зависимость коэффициента  $a_1$  от погонной массы упругого элемента при различной длине этого элемента.

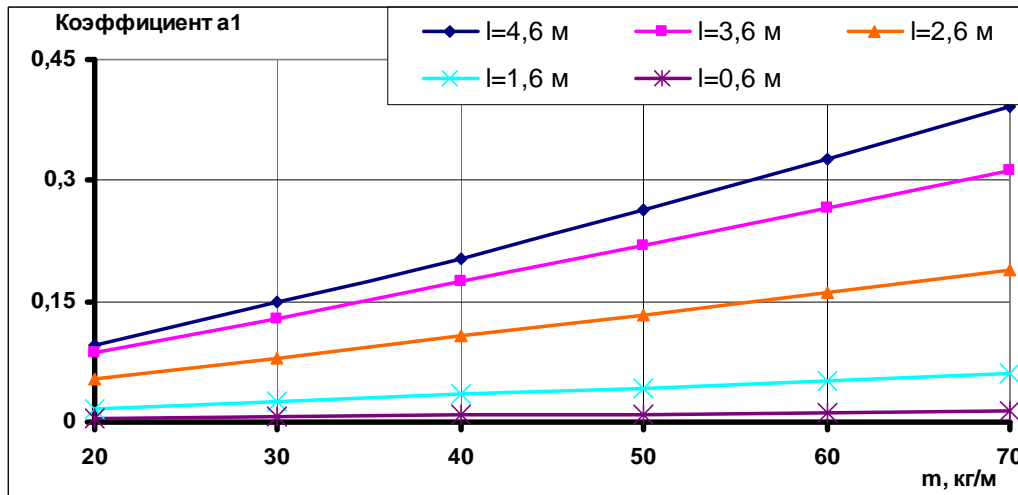


Рис. 6. – Динамика изменения коэффициента  $a_1$  при варьировании параметрами упругого элемента

Одним из показателей качества аппроксимации зависимостей рис. 1-5 функциональной зависимостью ( 1 ) является величина другого коэффициента  $a_0$ . При идеальной аппроксимации значение этого коэффициента должно быть равно нулю, т.к. выше было указано на то, что все корреляционные прямые проходят через точку ( 0; 0 ).

На рис. 7 представлена зависимость коэффициента  $a_0$  от погонной массы упругого элемента при различной длине этого элемента.

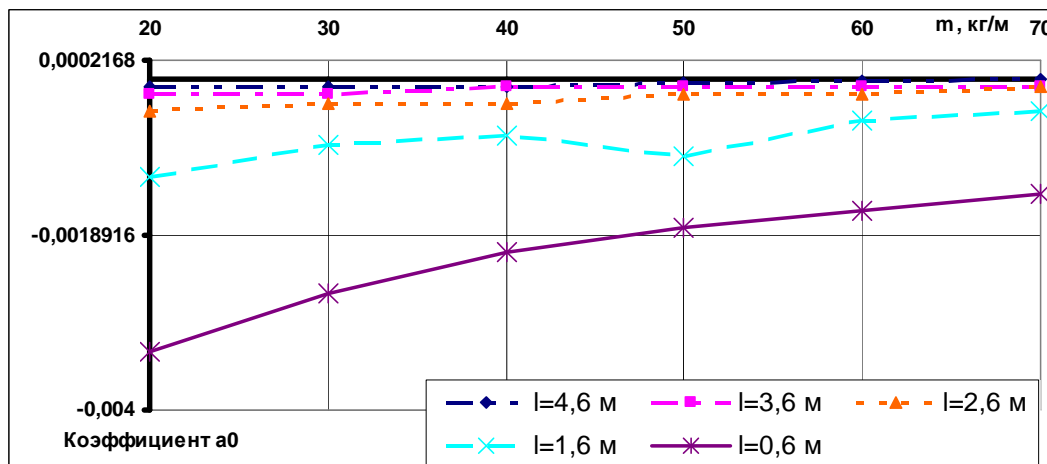


Рис. 7. – Динамика изменения коэффициента  $a_0$  при варьировании параметрами упругого элемента

**Основные выводы по работе.** Проведенные исследования показывают, что зависимость между средним уровнем микроускорений, возникающих во внутренней среде КА из-за колебаний упругих элементов, и погонной массой упругих элементов представляет собой практически идеальные прямые линии (1). Оценка точности линейной модели с помощью коэффициента  $a_0$  (рис. 7) позволяет сделать вывод о том, что неточности аппроксимации, скорее всего, связаны с округлением при построении корреляционных зависимостей рис. 1-5, чем с влиянием нормальной компоненты микроускорений.

С другой стороны, необходимо отметить, что влияние погонной массы упругого элемента на зависимость среднего значения микроускорений от момента УРД аналогично влиянию масштабного параметра  $b$  ФВМ на зависимость ее среднего значения от фрактальной размерности  $D$  [7]. Поэтому можно говорить о качественном отождествлении двух этих параметров при построении фрактальной модели микроускорений с помощью ФВМ.

Следует, однако, заметить, что, в отличие от связи момента УРД с фрактальной размерностью ФВМ  $D$ , масштабному параметру  $b$  соответствует не только погонная масса упругого элемента. По-видимому, он связан с любым параметром КА, характеризующим массовую долю упругого элемента в общей массе самого КА.

Дальнейшим этапом работы является исследование влияния длины упругого элемента, а также изменения общей массы КА при неизменных параметрах упругого элемента на модуль микроускорений. Эти исследования позволят сформировать единый, физически реальный параметр, соответствующий масштабному коэффициенту  $b$  ФВМ.

### Литература

1. **Седельников А.В.** Фрактальная оценка микроускорений для слабого демпфирования собственных колебаний упругих элементов космического аппарата I // Изв. вузов Авиационная техника. - 2006. - № 3. - с. 73-75.
2. **Седельников А.В.** Качественное отождествление параметров функции Вейерштрасса-Мандельброта при оценке микроускорений // Научные чтения в Самарском филиале РАО. – Часть 1. Естествознание. – М.: Изд. УРАО. – 2006. – 137 – 158.
3. **Седельников А.В., Подлеснова Д.П.** Выявление физического смысла параметров функции Вейерштрасса-Мандельброта при оценке с помощью нее микроускорений // Материалы XXXI-х Академических чтений по космонавтике. – Москва. – 2007. – с. 88-89.
4. **Седельников А.В., Подлеснова Д.П.** Основные принципы построения аналитической зависимости параметров функции Вейерштрасса-Мандельброта для оценки микроускорений // Успехи современного естествознания. - № 12. – 2006. – с. 82 – 83.

5. **Авраменко А.А., Седельников А.В.** Моделирование поля остаточной микрогравитации на борту орбитального КА // Изв. Вузов Авиационная техника. – 1996. - №4. – с. 22-25.
6. **Седельников А.В., Ефимова Е.А.** Учет влияния упругости узла крепления упругих элементов космического аппарата на оценку микроускорений внутри рабочей зоны технологического оборудования при моделировании условий для технологических процессов // Сборник статей III-й Всероссийской научно-практической конференции «Инновации в машиностроении». – Пенза. – 2003. – с.115-117.
7. **Седельников А.В., Поделеснова Д.П., Ярош Н.С.** Исследование зависимости коэффициентов линейной модели парной регрессии от параметров функции Вейерштрасса-Мандельброта при моделировании среднего значения функции с помощью ее фрактальной размерности // Успехи современного естествознания. - № 9. – 2006. – с. 100-103.