

УДК 62-75

СОЗДАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ ГРАВИТАЦИИ ПРИ ПОМОЩИ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ С КВАЗИНУЛЕВОЙ ЖЕСТКОСТЬЮ

© 2011 г.

А.Р. Валеев, А.Н. Зотов, Э.Ш. Имаева, А.Ю. Тихонов

Уфимский государственный нефтяной технический университет

a-zot2@yandex.ru

Поступила в редакцию 24.08.2011

Исследуется проблема создания искусственной гравитации во время длительных космических полетов. Предлагается использовать для этой цели упругие системы, имеющие заданную силовую характеристику с постоянной восстанавливающей силой. При колебательном процессе на жилой комплекс будет направлена почти постоянно (за исключением времени поворота на 180°) заданная сила, что эквивалентно силе притяжения.

Ключевые слова: квазинулевая жесткость, искусственная гравитация, колебания, длительный космический полет, силовая характеристика с постоянной восстанавливающей силой.

Постановка вопроса

Проблема создания искусственной гравитации в настоящее время стоит достаточно остро. Одним из основных препятствий к длительным полетам (например, на Марс) является отсутствие гравитации. Как показали исследования доктора медицинских наук В.С. Оганова, процесс восстановления нормальной минеральной плотности человека занимает в 2–3 раза больше времени, чем длится космический полет, и после продолжительных космических экспедиций растягивается на годы [1]. Физиологические возможности человеческого организма накладывают вполне определенное ограничение на величину допустимой угловой скорости. Многочисленными экспериментами на центрифугах выявлено, что уже при скорости, большей 4 об/мин, у испытуемых возможно нарушение нормального функционирования вестибулярного аппарата. Идею искусственной гравитации, создаваемой с помощью вращения, впервые выдвинул еще К.Э. Циолковский. Сейчас можно сказать, что особой необходимости в создании ускорения, эквивалентного нормальной земной гравитации, нет, так как уровень гравитации, в три-четыре раза меньший (0.25–0.3g), переносится человеком вполне нормально. Предлагается для создания искусственной гравитации использовать колебательную систему, имеющую силовую характеристику с участками квазинулевой жесткости.

Применение колебательной системы

Известны системы с упругим элементом, перемещающимся между двумя направляющими, заданной формы [2]. Такие системы позволяют получать силовые характеристики с участками с постоянной восстанавливающей силой необходимой длины. Колебания при силовой характеристике, изображенной на рис. 1, описываются следующим дифференциальным уравнением:

$$mx'' = -(kmg \operatorname{th}[k_*[|x| + x_0]]) + kmg \operatorname{sign}[x]/2, \quad (1)$$

где m – масса защищаемого от невесомости объекта; x – координата объекта; k – коэффициент «перегрузки» ($k = 0.3$); g – ускорение свободного падения; $k_* = 10000$ – коэффициент, учитывающий форму участка $BCDE$; x_0 – величина нулевого участка CD .

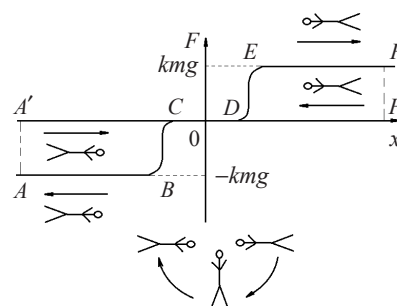


Рис. 1

При колебаниях вдоль направляющих на объект будут действовать силы сопротивления.

Так как упругий элемент, перпендикулярный оси направляющих, контактирует с направляющими через ролики, то сила сопротивления в зависимости от координаты $R(x)$ будет следующая:

$$R(x) = \frac{\mu kmg(1 + [f'(x)]^2)}{rf'(x)}, \quad (2)$$

где μ – коэффициент сопротивления качения; r – радиус роликов; $f'(x)$ – производная по x от функции $f(x)$, определяющей форму направляющих.

При создании вынуждающей силы, равной силе сопротивления $R(x)$, колебания будут описываться дифференциальным уравнением (1) (численное решение приведено на рис. 2а – зависимость 2; зависимость 1 – искусственная гравитация). Мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления в рассмотренных примерах, составляет всего несколько сотен ватт (в зависимости от коэффициента μ). Перегрузка kmg действует на участках AB и EF (см. рис. 1). На участке $BCDE$ происходит поворот «защищаемого» объекта на 180° . Графики, показанные на рис. 2, получены для $m = 20000$ кг; $CD = 3$ м – нулевой участок; $A'O = OF' = 8$ м (а); $A'O = OF' = 4.5$ м (б).

Соотношение времени «искусственной гравитации» t_1 к времени поворота t_2 зависит от координаты максимального смещения $A'O = OF'$ и величины нулевого участка $BCDE$. От этих же величин зависит и средняя угловая скорость поворота

на участке CD . На рис. 2 она составляет: а) $\omega_{cp} \approx \pi \text{ с}^{-1}$; б) $\omega_{cp} \approx \pi/2 \text{ с}^{-1}$.

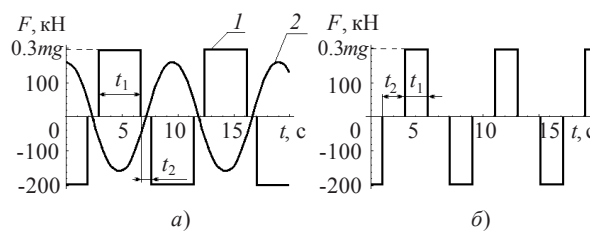


Рис. 2

Заключение

Предложенный метод может иметь ряд преимуществ перед традиционным методом центрифуги: меньшая материалоемкость; лучшая переносимость вестибулярного аппарата человека за счет поворота его в разные стороны. Данный вопрос требует дополнительных экспериментальных исследований.

Список литературы

1. Искусственная гравитация своими руками. <http://www.ps171.ru/?p=941>
2. Зотов А.Н. Oscillation of systems which have force-displacement characteristics with rectangular loops of hysteresis // Nonlinear dynamics-2010. Abstracts. September 21–24, 2010. Kharkov. P. 226–228.

DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL GRAVITY BY MEANS OF SYSTEMS WITH QUASI-ZERO STIFFNESS

A.R. Valeev, A.N. Zotov, E.S. Imayeva, A.Yu. Tikhonov

The article is devoted to the problem of creation of artificial gravity by means of systems with quasi-zero stiffness during long space flight. The elastic systems which have specified force characteristics with permanent restoring force can be used for this purpose. During oscillating process the given constant force will be direct at community almost all time (with the exception of about-face) that is equivalent to force of gravity.

Keywords: quasi-zero stiffness, artificial gravity, oscillation, long space flight, force characteristics with constant restoring force.