

**Уравнения для расчета инерцоидов с учетом конечных скоростей передачи возмущений между различными частями**

*Аннотация*

*На основе механики реальных тел с конечной скоростью передачи возмущений между различными частями и обработки экспериментов модифицированы уравнения для расчета инерцоидов. Возникающие внутренние силы, вызывающие безопорное движение центра масс, существенно зависят от материала и конструкции деталей инерцоида, условий многократного отражения волн возмущений от неоднородностей и внешнего окружения, что явилось причиной различия сил при экспериментах на земле, в воздухе и в космосе. Предложения по дополнению и совершенствованию измерительной системы в экспериментах с инерцоидами, могут существенно улучшить согласование с теоретическими зависимостями.*

В настоящее время отсутствуют количественные зависимости для расчета инерцоидов [1], хотя подтверждена невозможность использования классической механики Ньютона для описания их движения. В лабораторных условиях получены реальные силы, обеспечивающие безопорное движение инерцоидов. Однако при испытаниях близких (но отличных!) по конструкции инерцоидов, установленных на воздушном шаре или спутнике, получены были существенно более низкие силы. Так, рассчитанная по телеметрическим данным тяга инерцоида на спутнике была на порядок ниже, чем на земле[1]. Неясна и причина высокочастотных и других колебаний, одновременное изменение угловой скорости эксцентриков и перемещения корпуса, возникающие на определенных этапах движения инерцоидов.

Выполненные Г.И. Шиповым эксперименты недостаточны для подтверждения на основе его блестящей теории выведенных расчетных зависимостей применительно к движению инерцоидов. Теория описывает преобразование поступательного движения во вращательное и наоборот в экспериментах с кратковременным ударом без последующего подвода вращательной энергии, но не при длительных неравномерных подводах вращательной энергии, как в экспериментах Толчина. Вероятно требуется введение ещё дополнительных механизмов к механике Ньютона. Для корректировки расчетных зависимостей рассмотрим схематическую модель инерцоида, использованную Толчиным и Шиповым (см. например, рис.12[2]).

Наиболее просто необходимые динамические и кинематические связи можно вывести следующим образом. Координаты центра масс определяются как

$$x_c = \frac{\sum_{i=1}^N m_i x_i}{\sum_{i=1}^N m_i} = \frac{M(x - \Delta x_M) + 2m(x + r \cos \phi)}{M + 2m} = x + \frac{2mr \cos \phi}{M + 2m} - \frac{M\Delta x_M}{M + 2m} \quad (1)$$

$$x - x_c = -\frac{2m}{M + 2m} r \cos \phi + \frac{M\Delta x_M}{M + 2m} \quad (2)$$

где  $x$ ,  $m$  — координата положения оси вращения и масса эксцентрика,  $M$  — масса остальной (подвижной) части устройства,  $r$  — плечо вращения эксцентрика,  $\omega$ ,  $\phi$  — угловая скорость вращения и угловое расположение эксцентрика,  $\Delta x_M$  — постоянное расстояние между координатами оси эксцентрика и центром масс инерцоида, исключая вращающиеся массы.

Дважды дифференцируя последнюю зависимость по времени, получим

$$\dot{x} - \dot{x}_c = \frac{2m}{M + 2m} r \omega \sin \phi, \quad (3)$$

$$\ddot{x} - \ddot{x}_c = \frac{2m}{M + 2m} r (\omega^2 \cos \phi + \dot{\omega} \sin \phi), \quad (4)$$

При  $x_c = 0$ , т.е. при сохранении положения центра масс, последнее выражение совпадает с выражениями, выведенными Шиповым или Чичериным в полном соответствии с механикой Ньютона. Но обработка экспериментов с инерцоидами выявила, что в общем случае  $x$ ,  $x_c$  могут изменяться относительно независимо и требуется корректировка правой части уравнений. Это выполнено в теоретических разработках Г.И. Шипова. Однако при сравнении выведенных зависимостей с экспериментом оказалось, что их недостаточно для численного расчета инерцоида.

Для этого также предлагалось при сохранении общей энергии системы учесть не только вторые производные (ускорение), но и четные производные четвертого и более высокого порядка [3] или интегральную историю взаимодействия [4]. Однако наиболее физически обоснованным является, по предложению безвременно ушедшего моего друга В. Г. Чичерина, введение конечных скоростей поперечных и продольных волн передачи возмущений в твердом теле. (В механике Ньютона эта скорость при взаимодействии бесконечна). Собственно говоря, во многом успех теории Эйнштейна объясняется и тем, что он ввел предельную конечную скорость распространения поперечных волн возмущений (скорость света) в "пустоте". Вероятно поперечный характер их вызван тем, что большинство элементарных осцилляторов колеблются в плоскостях, проходящих через направление распространения возмущений. О плохо регистрируемых и более редких продольных волн возмущений догадывался гениальный Н. Тесла, конструируя свои шарообразные и торообразные излучатели. В отличие от "пустоты", в твердых телах скорости распространения поперечных и продольных возмущений хорошо измерены [5] и используются в технических расчетах.

По Чичерину, порожденные силами инерции поперечные и продольные упругие волны распространяются от эксцентрика до опорных подшипников, многократно отражаются, и создается реакция от этих сил. При этом вследствие конечной скорости распространения упругих волн проекция сил инерции на оси вращения определяется не углом  $\phi$ , а несколько увеличенным углом  $\phi + \phi_{lo}$  или  $\phi + \phi_{cr}$ , где

$$\phi_{lo} = \frac{2(r - r_n)\omega}{C_{lo}} \quad (5)$$

$$\phi_{cr} = \frac{2(r - r_n)\omega}{C_{cr}} \quad (6)$$

$r_n$  - радиус опорного подшипника с осью, совпадающей с осью вращения,  $C_{lo}, C_{cr}$  - скорости распространения продольной (например, для стали 5300м/с) и поперечной (для стали 3500м/с) волн [5]. Последние величины не равны и создают движение центра масс. Если они были бы равны, то поперечные и продольные волны от инерционных сил пришли бы к оси синхронно и реакция от сил инерции, созданных в эксцентриках, была бы равной реакции на оси, то-есть могла бы рассчитываться известными способами.

По Чичерину, при расчетах реакции от распространения возмущений обязательно необходимо учитывать многократное отражение и поглощение, возмущений препятствиями и при переходе в другие среды. Суммарная величина некомпенсированного импульса  $q$  при  $n$ -кратном прохождении, стремящимся к бесконечности, хорошим качеством отражения и малым поглощением в стержне(плече), соединяющем эксцентрик с втулкой подшипника, определяется суммой

$$S = \sum_{n=0}^{\infty} (2n + 1)q^{n+1}, \quad (7)$$

которая является сходящейся, так как  $q < 1$ .

Уточненный результат этой суммы арифмо-геометрической прогрессии [6]

$$S = \frac{q}{1 - q} + \frac{2q^2}{(1 - q)^2} \quad (8)$$

При близких к единице значений  $q$  эта величина может достигать нескольких и более порядков.

Диапазон частот многократных отражений волн зависит от нескольких параметров: размеров плеча эксцентрика, скоростей распространения волн, условиями их отражения и др. Оценку его можно сделать по формулам

$$v_{lo} = \frac{C_{lo}}{2(r - r_n)} \quad (9)$$

$$v_{cr} = \frac{C_{cr}}{2(r - r_n)} \quad (10)$$

Для металлов этот диапазон лежит в области десятков килогерц. Для пластиков и органических материалов, в особенности анизотропных, характерны частоты на один-два порядка меньше и относительная разность между продольной и поперечной скоростями распространения возмущений

существенно больше. Следует учитывать и частоты низших и высших гармоник, которые могут совпадать с резонансными частотами элементов конструкции.

С учетом конечных скоростей распространения возмущений в рамках механики Ньютона уравнение (4) можно представить в следующем виде

$$\ddot{x} = \frac{2m}{M + 2m} r(\omega^2 \cos(\phi + K_{cr}\phi_{cr}) + \dot{\omega} \sin(\phi + K_{lo}\phi_{lo})), \quad (11)$$

где коэффициенты  $K_{cr}, K_{lo}$  учитывают влияние геометрических параметров, конструкционных материалов, величины и градиента угловой скорости, многократного отражения от неоднородностей, переходов между деталями из разных материалов, запаздывания воздействия возмущений.

Такой же учет конечной скорости распространения возмущений может быть введен и в теоретические зависимости Г.И.Шипова при воздействии на инерцоид внешнего момента

$$\ddot{x} = \frac{2mr}{M + 2m} (\omega^2 \cos(\phi + K_{cr}\phi_{cr}) + \dot{\omega} \sin(\phi + K_{lo}\phi_{lo})) + \frac{2mr}{M + 2m} \Phi \omega, \quad (12)$$

$$r\dot{\omega} = \ddot{x} \sin(\phi + K_{cr}\phi_{cr}) + \frac{L}{2mr} - \Phi \dot{x} \dots \dots \dots (13)$$

$$\ddot{x}_c = \frac{2mr}{M + 2m} \Phi \omega \dots \dots \dots (14)$$

где  $L$  - внешний момент, действующий на ось вращения инерцоида,  $\Phi$  - функция, учитывающая перераспределение воздействия между вращательным и поступательным движением,  $\ddot{x}_c$  - ускорение центра масс.

Для подтверждения теоретических зависимостей и определения неизвестных коэффициентов была сделана попытка использовать опубликованные графики экспериментальных исследований инерцоидов Г.И.Шипова(рис.2[1]), наиболее оснащенные измерительным оборудованием.

Первые (касательные) и вторые производные (кривизну) можно определять на графиках только с большой ошибкой. С большой погрешностью согласуются графики измерения перемещений и скоростей, угла и угловой скорости по времени. Частично это обусловлено высокочастотными колебаниями всех величин, наблюдавшихся при движении инерцоида. По этим причинам возможно было обработать лишь вторичные зависимости, не включающие первые и вторые производные. Для этого уравнение (12) было проинтегрировано с учетом зависимости (14), перенесенной в левую часть уравнения (получен аналог зависимости (3)) :

$$\dot{x} - \dot{x}_c = \frac{2mr}{M + 2m} \int_0^t (\omega^2 \cos(\phi + K_{cr}\phi_{cr}) + \dot{\omega} \sin(\phi + K_{lo}\phi_{lo})) dt \quad (15)$$

или интегрируя по частям, пренебрегая изменением  $K_{lo}\phi_{lo}$ ,

$$\begin{aligned} \dot{x} - \dot{x}_c &= \frac{2mr}{M + 2m} \left( \int_0^t \omega^2 \cos(\phi + K_{cr}\phi_{cr}) dt + \omega \sin(\phi + K_{lo}\phi_{lo}) \Big|_0^t - \right. \\ &- \int_0^t \omega^2 \cos(\phi + K_{lo}\phi_{lo}) dt \Big) = \frac{2mr}{M + 2m} \left[ \omega \sin(\phi + K_{lo}\phi_{lo}) \Big|_0^t + \right. \\ &+ \int_0^t 2\omega^2 \sin \frac{K_{lo}\phi_{lo} - K_{cr}\phi_{cr}}{2} \sin\left(\phi + \frac{K_{lo}\phi_{lo} + K_{cr}\phi_{cr}}{2}\right) dt \Big] \end{aligned} \quad (16)$$

Используя данные рис. 12 работы [1], по специальной программе были рассчитаны диапазоны изменения величин  $K_{cr}\phi_{cr}=0.05...0.15$  и  $K_{lo}\phi_{lo}=0.05...0.2$  в этих экспериментах. В этих пределах выявилась тенденция увеличения коэффициентов с ростом угловых скоростей вращения эксцентриков. К сожалению, более определенную оценку этих величин при использовании модифицированных уравнений Г.И.Шипова нельзя получить ввиду отсутствия измерения момента, а также недостаточной точности измерений. Для измерения момента можно было передать энергию на вал гироскопа через моментомер или заранее протарировать приводной сервомотор или пружину на специальном стенде с электро- или гидротормозом и моментомером или вывешенным балансирным корпусом.

При использовании непосредственно уравнений действующих сил желательна установка акселерометров. Сравнение графиков изменения угловой скорости эксцентрика и скорости корпуса и центра масс [1] показывает, что движение инерцоида весьма схоже с поведением систем с (например, транспортным) запаздыванием. Для таких систем характерны временной сдвиг первичного воздействия и реакции, в особенности при увеличении скоростей, резонансные явления, тривиальное поведение при низких скоростях. Это также свидетельствует о влиянии на движение инерцоида конечности скорости передачи воздействий. Дополнительно к предложенным зависимостям для отражения этого явления возможно использовать дополнение В.Чичерина к второму закону Ньютона в виде интегрального члена, учитывающего предысторию взаимодействия, но не нарушающего закон сохранения энергии.

Рассмотренные материалы и расчеты позволяют сделать следующие выводы:

1. Механика Ньютона не позволяет описать движение инерцоидов.
2. Теория Г.И. Шипова также недостаточна для разработки зависимостей для расчета инерцоидов и возможно должна быть дополнена учетом конечности и неравенства скоростей распространения поперечных и продольных волн инерционных возмущений, многократного отражения их в твердых телах.
3. "Нелогичное" поведение параметров в экспериментах с инерцоидами (Жигалов) очень схоже с изменением параметров в системах с запаздыванием.
4. Для согласования теории и экспериментов необходимо существенно повысить точность и снизить инерционность динамических измерений перемещений, линейных и угловых скоростей по времени, а также использовать

малоинерционные акселерометры для непосредственного измерения ускорений, входящих в теоретические зависимости.

5. Для сравнения теории с экспериментом необходимо измерение момента, приложенного к валу привода эксцентриков. Для этого нужно передавать на вал энергию через малоинерционный моментомер или предварительно протарировать привод на специальном тарировочном устройстве с введением дополнительных датчиков (тока, напряжения и др.). Целесообразно также проверить гипотезу В.А.Жигалова по влиянию собственного момента инерции эксцентриков путем использования при одинаковой массе их материалов разных плотностей и размеров (например, свинец или дерево), то-есть отказаться от представления эксцентриков в виде точки с конечной массой.

6.Для проверки влияния скорости передачи возмущения целесообразно опробовать различные анизотропные материалы (композиты, армированные и органические направленно структурированные(растущие) материалы типа хитин, геликопротеидов паутины [7]) в конструкции плеча эксцентрика. В этих материалах необходимо определить скорости распространения поперечных и продольных возмущений (подобно, как это выполнено для металлов).

7. Различие результатов в экспериментальных исследованиях инерцоидов на Земле, воздушном шаре и космосе вероятно обусловлено различием в условиях прохождения и отражения возмущений в подшипнике, в корпусе из другого металла и контакте с окружающей средой. Поэтому целесообразно исследовать влияние конструкции, материала корпусных деталей и взаимодействия их с окружающей средой (граничные условия).

8.Целесообразно исследовать амплитудно-частотные характеристики инерцоидов и их частей в высокочастотном диапазоне.

9. В соответствии решением Межведомственной научно-технической комиссии под руководством Келдыша- Королева- Курчатова необходимо восстановить организацию по разработке безопорных двигателей для космоса и земных целей. Автор вследствие своего возраста (так же как Толчин, Акимов, Чичерин) не доживет до промышленного образца безопорного двигателя, а также потому, что вид из его окна на шпиль МГУ заслонило здание, построенное для работников КГБ.

### **Литература**

[1]Жигалов В.А. Ещё раз о движении инерцоида Шипова. Проект " Вторая физика", <http://www.second-physics.ru/sochi2009/pdf/p445-464.pdf>

[2] Шипов Г.И.4D гироскоп в механике Декарта, Кириллица, 2006  
<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0231004a/02311026.htm>,

<http://www.shipov.com>

[3] Геловани И.А., Смольяков Э.Р.Гипотеза о влиянии высших производных на движение центра масс, ДАН РФ,т.393, №6, 2003, с.159-162.

[4]. Чичерин, В.Г. Меньшиков, Инерцоиды – движители постоянной тяги с наложенными гармоническими колебаниями // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.21589, 22.12.2015.

[5] Физические величины. Справочник под ред. Григорьева И.С., Мелихова Е.З., М., Энергоиздат,1991.

[6] Градштейн И.С., Рыжик И.М. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. М., Госиздат физ.-мат. литературы, изд.4,1962,1100стр.

[7] Багров Д.И., Вербки из паутины, Квант, 4, 2010  
[https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya-biblioteka/431210/Verevka\\_iz\\_pautiny](https://elementy.ru/nauchno-populyarnaya-biblioteka/431210/Verevka_iz_pautiny)