

## Ещё раз о движении инерциоида Шипова

В.А.Жигалов

Проект «Вторая физика», [zhigalov@gmail.com](mailto:zhigalov@gmail.com)

Подробно рассматриваются экспериментальные данные, полученные Г.И.Шиповым в Тайланде на лабораторной установке по изучению движения инерциоидов. Показано противоречие экспериментальных данных как механике Ньютона, так и формуле нескомпенсированных сил инерции Г.И.Шипова.

### Вступление

Проблема движения инерциоидов имеет долгую историю, но в настоящее время далека до решения. С запуском в мае 2008 года спутника “Юбилейный” с инерциоидом в качестве экспериментального движителя всколыхнулся общественный интерес к феномену безопорного движения. Возобновились жаркие дискуссии на интернет-форумах.

Да, инерциоиды движутся, но как именно? Объясняется ли их движение только силами взаимодействия с опорой, либо феномен безопорного движения действительно существует? Для ответа на этот вопрос наиболее интересно изучить результаты строгих научных экспериментов. Автору известны две группы экспериментаторов, которые изучали движение инерциоидов по схеме Толчина: группа под руководством В.А.Меньшикова в НИИ Космических систем (экспериментирует с инерциоидами Толчина с 2002 года), а также группа под руководством Г.И.Шипова, которая проводила эксперименты в 2000-2004 гг. в Тайланде.

Работы, в которых описаны эксперименты группы Г.И.Шипова [1, 2], содержат в основном результаты экспериментов, которые приводятся как подтверждение теории Шипова. Такой подход "от теории" характерен для теоретической физики. Однако эксперименты, которые претендуют на переворот базовых представлений в такой хорошо изученной области, как теоретическая механика, требуют более подробного описания методики эксперимента, всестороннего анализа возможных ошибок и т.д. Иными словами, необходима прежде всего работа в стиле экспериментальной физики, в которой, быть может, собственно теоретическому обоснованию

может не уделяться много внимания, в то время как методика измерений, методика обработки данных, и наиболее полное изложение полученных результатов эксперимента выходит на первый план.

Настоящая работа подробно рассматривает экспериментальные данные, полученные в Тайланде на лабораторной установке Г.И.Шипова. Эти данные любезно предоставлены автору Г.И.Шиповым (сам автор не принимал участия в экспериментах в Тайланде). Целью настоящего исследования было ответить на следующие вопросы:

1. Вступают ли экспериментальные данные в противоречие с механикой Ньютона?
2. Можно ли найти объяснение движения в рамках механики Декарта, разрабатываемой Г.И.Шиповым?

Если имеющихся данных окажется недостаточно, чтобы ответить на эти вопросы, то появляется третий вопрос: какие дальнейшие эксперименты необходимо поставить, чтобы ответить на первые два вопроса?

Группа под руководством В.А.Меньшикова в 2007 году также опубликовала результаты своих лабораторных экспериментов в книге [3]. Эти результаты требуют отдельного рассмотрения и в настоящей работе не анализируются.

## **Описание экспериментальной установки Шипова**

Экспериментальный стенд представлял собой инерциоид, который свободно двигался горизонтально по одной линейной координате вдоль опоры по направляющим, при этом осуществлялось управляемое изменение скорости вращения грузов с помощью сервомотора, а также фиксировались линейная и угловая координаты тележки и грузов. Сигналы от датчиков поступали в компьютер, где составляли серии экспериментальных данных. Эти серии в виде бинарных файлов сохранялись на диск. Именно эти файлы, содержащие более двухсот серий, а также видеозаписи некоторых экспериментов и были переданы автору Г.И.Шиповым для анализа.

### **Тележка**

Тележка представляет собой сборную жёсткую конструкцию с установленным на ней сервомотором, схемой управления сервомотора, кинематикой, передающей крутящий момент от сервомотора к грузам,

вращающимся навстречу друг другу синхронно вокруг вертикальной оси. Также на тележке закреплены датчики линейной координаты (три фотопары) и датчики угловой координаты (также три фотопары). К оси вращения одного из грузов прикреплена круговая линейка с равномерно нанесёнными рисками, и ещё одна линейка связана с опорой для фиксации линейного перемещения. От тележки к компьютеру тянется лёгкий гибкий шлейф проводов.

Тележка стоит на лёгких дюралевых колёсах диаметром 40 мм, установленных на шарикоподшипниках. Колёса имеют проточенную канавку на внешней (цилиндрической) поверхности, благодаря которой тележка может двигаться строго по направляющим опоры (Рис. 1).

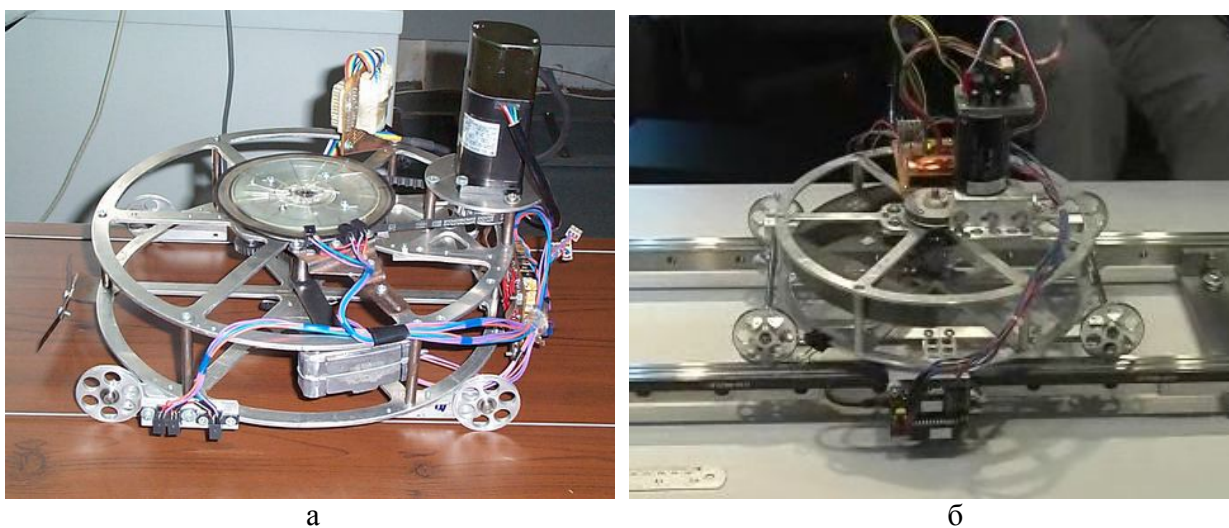


Рис. 1. Инерциоды Г.И.Шипова образца 2000 года (а) и 2004 года (б).

Масса тележки с двигателем без грузов составляет около 1.2 кг, масса и форма грузов варьируется в различных сериях.

### **Опора**

Опора представляет собой горизонтальную поверхность со стальными направляющими. Степень горизонтальности опоры обсуждается далее, в разделе "Анализ сил взаимодействия с опорой". В различных экспериментах инерциод испытывался на разных опорах: на стальных направляющих, на стеклянной поверхности (в т.ч. смазанной маслом), на поверхности стола. В экспериментах, которые анализируются в данной статье, инерциод двигался по стальным направляющим, показанным на Рис. 1а.

## Грузы, их привод и управление вращением

Судя по видеозаписям, в экспериментах использовались грузы различной массы и формы. Длина рычагов была фиксированной и составляла 100 мм. Вместе с данными серий записывался параметр, характеризующий отношений масс грузов и тележки и длину рычагов:

$$B = \frac{2m r}{M + 2m}$$

где  $r$  – радиус рычагов,  
 $m$  – масса одного груза,  
 $M$  – масса тележки.

## Сбор и обработка данных

Линейная координата тележки относительно опоры фиксировалась следующим образом. С тележкой были жёстко связаны три фотопары, которые могли фиксировать переходы с тёмных участков на светлые и обратно на линейке, прикреплённой к неподвижной опоре. Риски располагались на линейке равномерно и были отпечатаны на лазерном принтере. В различных сериях использовались линейки с числом рисок на метр 978 и 1310 (это число записывалось в файлы данных). С помощью двух фотопар фиксировалось движение, а также направление движения, третья фотопара срабатывала в точке 0 - начале линейной координаты.

Угловая координата грузов фиксировалась аналогичным образом: на круговую линейку были равномерно нанесены риски (в различных сериях использовались две линейки - с 360 рисками и 720 рисками), и три фотопары считывали движение с учётом направления, а также прохождение нулевой точки.

Две фотопары, фиксирующие направление, были сдвинуты друг относительно друга примерно на половину расстояния между рисками. В результате имеется четыре события-перехода в одну сторону движения, и четыре - в другую, эти события составляют своего рода конечный автомат и используются в программе вычисления линейной и угловой координат. Датчики нулевой координаты используются для контроля ошибок срабатывания датчиков.

Сигналы с шести фотопар подавались на последовательный порт компьютера, одной фотопаре соответствовал один бит. Первые два бита - фотопары линейного движения, третий - 0 по линейной координате,

четвёртый и пятый - фотопары углового движения, шестой бит - 0 в угловой координате.

Время срабатывания фотопар фиксировалось с помощью компьютерного таймера с установленной частотой примерно  $10^{-5}$  сек (точное значение частоты таймера записывалось в файлы вместе с сериями данных).

## Пример результатов эксперимента

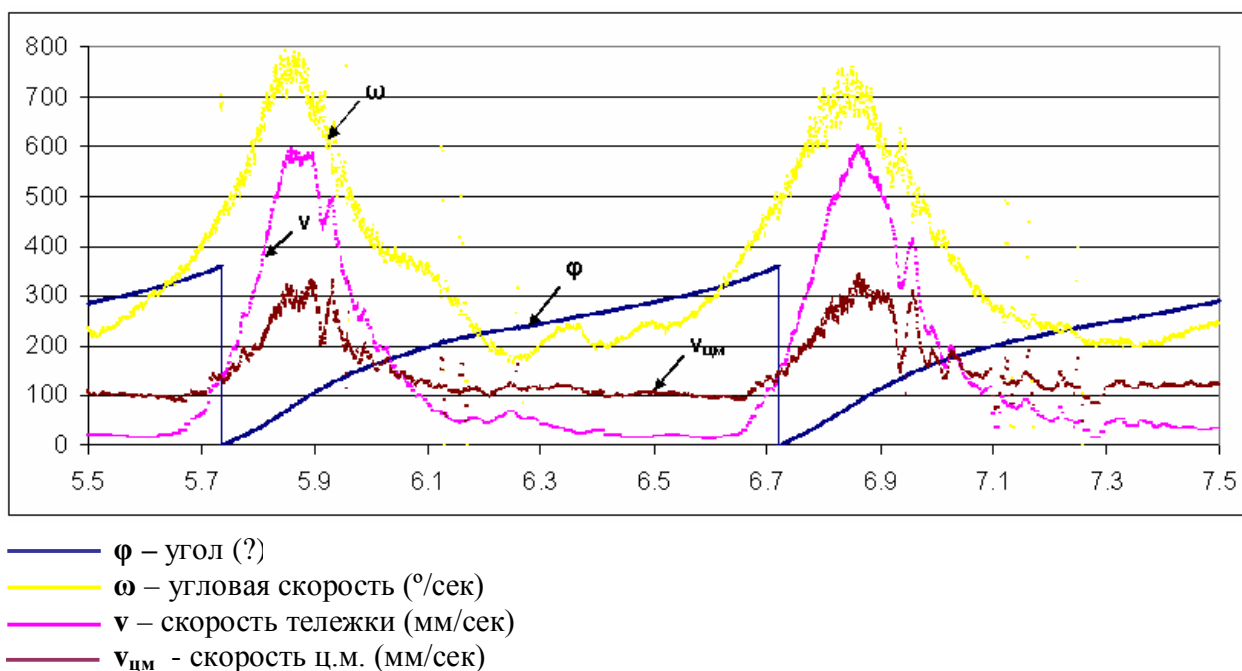


Рис. 2. Графики движения инерциоида.

На Рис. 2 показаны графики скорости тележки, центра масс, угловой скорости и угловой координаты грузов. Видно, что центр масс периодически меняет свою скорость, при этом тележка движется только в одном направлении, не откатываясь назад, и не останавливаясь. Это свидетельствует о силах, которые действуют на инерциоид. Какова природа этих сил – центральный вопрос исследований движения инерциоидов. В дальнейших разделах приведён анализ различных гипотез.

## Оценка погрешности измерений

Прежде чем рассмотреть гипотезы о причинах движения инерциоида, исходя из имеющихся данных, оценим погрешности измерений. В эксперименте на Рис. 2 использовалась линейка с числом рисок на метр

978, и угловая линейка с ценой деления 1 градус. Таймер компьютера генерировал тики с периодом 0.000010057 сек. При скоростях порядка 600 мм/сек (пиковые скорости на Рис. 2) время срабатывания датчиков между двумя рисками линейки будет  $1/600/0.978 = 0,0017$  сек, при погрешности измерения времени в один тик (т.е. примерно 0,6%).

Неравномерность нанесения рисок на линейке будет проявляться как «шум» в графике скорости (в предположении, что среднее расстояние между рисками не меняется). Попробуем оценить эту неравномерность. Для этого воспользуемся сериями свободного движения инерциоида вдоль опоры: грузы закреплялись неподвижно, инерциоид толкали, и он ехал до полной остановки. На Рис. 3 показан график такого движения. Среднеквадратичное отклонение скорости от линейной зависимости здесь равно 5,9 мм/сек. При среднем значении скорости 150 мм/сек среднеквадратичное отклонение составляет 4% от значения скорости, что можно принять за разумную оценку погрешности измерений линейной скорости<sup>1</sup>.

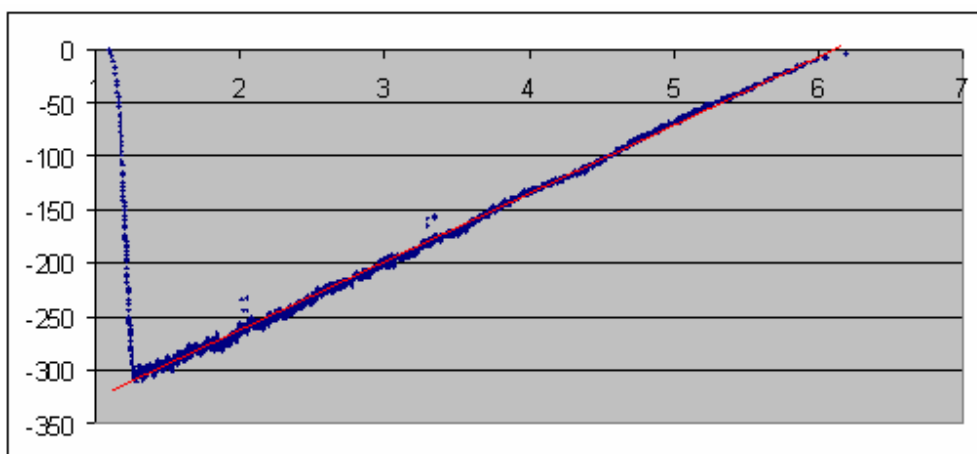


Рис. 3. График скорости под действием силы трения.

На графиках, помимо «шума», можно заметить «проколы», которые вызваны погрешностями срабатываниями датчиков (дребезг, ложные срабатывания). Они, как правило, резко выделяются из несглаженных графиков скоростей и при хорошем качестве данных практически не мешают анализу графиков.

Погрешность определения угловой скорости, на первый взгляд, существенно больше, если смотреть на «зашумлённость» графика при

<sup>1</sup> Это верхняя оценка: отклонения скорости от линейной вполне могут быть вызваны реальной неравномерностью движения инерциоида по опоре.

больших угловых скоростях (Рис. 2). Однако детальный анализ графика показывает высокочастотные колебания угловой скорости – с частотой примерно 120 Гц и амплитудой до 100 градусов в секунду (Рис. 4). Частота колебаний скорости практически не зависит от самого значения скорости. Это заставляет предположить, что эта составляющая вызвана не погрешностями измерений, а резонансными явлениями в кинематике привода либо особенностями сервомотора. Такая колебательная составляющая особенно проявляется на больших угловых скоростях (400-800 градусов/сек) – до 12%. При небольших скоростях (около 200 градусов/сек) амплитуда высокочастотной компоненты составляет около 10%. В таких пределах примем верхнюю оценку погрешности измерений угловой скорости.

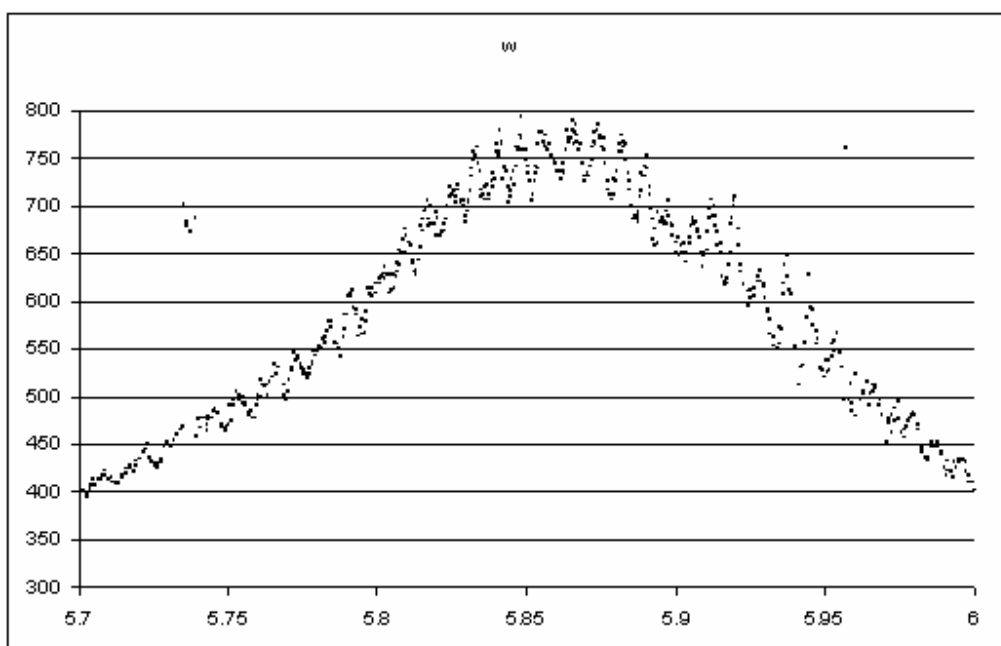


Рис. 4. Высокочастотные колебания угловой скорости грузов.

## Проверки на ложные срабатывания датчиков

Одним из самых трудоёмких в данной работе было проконтролировать качество данных, учитывая возможные ложные срабатывания датчиков. В небольшой части серий из-за дребезга срабатываний по угловой координате мог неправильно определяться угол грузов. К счастью, это можно проконтролировать по датчику нулевой координаты (если между нулевыми отметками не получается 360 срабатываний датчиков).

Поскольку программа чтения и обработки данных в данной работе писалась «с нуля»<sup>2</sup>, в неё была внесена соответствующая логика по исправлению дребезга, и такую погрешность удалось исключить. В то же время в некоторых графиках в работах Г.И.Шипова такая ошибка определения угловой координаты видна в виде небольшого запаздывания фазы графика скорости центра масс от скорости тележки, хотя она и не оказывается существенной для анализа данных.

## **Анализ сил взаимодействия с опорой**

### **Данные из эксперимента**

Анализ графиков свободного движения инерциоида с закреплёнными грузами позволяет оценить силы трения, которые действуют на инерциоид при движении. Автору было доступно 4 серии свободного движения, в двух из которых инерциоид двигался в одном направлении, и в двух – в другом. В дальнейшем вместо абсолютных значений сил трения, которые прямо пропорциональны весу инерциоида, будем пользоваться значениями замедления движения, которое от веса не зависит. Замедление инерциоида, показанное на Рис. 3, составляет 60 мм/сек<sup>2</sup>. Ещё одна серия, в которой движение инерциоида идёт в том же направлении, даёт среднее значение замедления 63 мм/сек<sup>2</sup>. В двух других сериях, где инерциоид двигался в обратном направлении, замедление составляет 42 и 43 мм/сек<sup>2</sup>. Такая значительная разница между замедлениями в двух направлениях (46%) может быть вызвана наклоном опоры. Оценим возможный угол наклона опоры, принимая дополнительное ускорение/замедление движения 10 мм/сек<sup>2</sup>:  $\arcsin(10/9810) = 0.058^\circ$ . Как видим, поверхность опоры практически строго горизонтальна.

Среднее замедление от сил трения по четырём сериям, таким образом, составляет 52 мм/сек<sup>2</sup>.

### **Расчётные данные**

Попробуем, исходя из описания устройства осей и колёс инерциоида, а также опоры, оценить расчётные силы трения, исходя из методик расчётов, принятых в технике. Тележка стоит на четырёх дюралевых

---

<sup>2</sup> При написании программы на VBA использовались алгоритмы из исходного кода оригинальной программы на Pascal, разработанной Евгением Ульяновым в 2000 году, при любезных консультациях самого Евгения.



колёсах диаметром 40 мм, которые свободно крутятся на осях на шарикоподшипниках с внутренним диаметром оси 3 мм (Рис. 5). Опора – стальные направляющие. Примем значение коэффициента трения качения равным  $k = 5 \cdot 10^{-5}$  м – значение для качения мягкой стали по мягкой стали<sup>3</sup>. Тогда замедление движению от трения качения поверхности колёс составит:

$$a = \frac{gk}{R}$$

где  $g$  – ускорение свободного падения,  $R$  – радиус колеса.

Получаем в результате 25 мм/сек<sup>2</sup>. Для дюралевых колёс это значение должно быть, видимо, несколько больше.

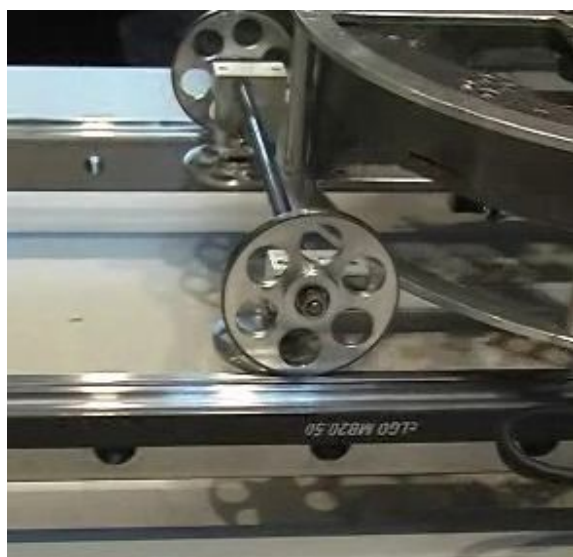


Рис. 5. Колёса инерциоида в движении по опоре.

Теперь оценим замедление от момента трения в шарикоподшипниках. Замедление от шарикоподшипника определим по формуле:

$$a = \frac{gfd}{2R}$$

где  $d$  – диаметр подшипника по внутреннему кольцу,  $R$  – радиус колеса,  $f$  – безразмерный коэффициент.

Принимая  $d = 5$  мм,  $f = 0.003$ , получаем значение  $a = 3.7$  мм/сек<sup>2</sup>.

---

<sup>3</sup> Значение взято из <http://fiz.1september.ru/articlef.php?ID=200502312>.

Оценим аэродинамическое трение по формуле силы лобового сопротивления:

$$F = \frac{1}{2} \rho v^2 S C_d$$

где  $\rho$  = плотность воздуха,  $v$  = скорость,  $S$  = площадь поперечного сечения,  $C_d$  = коэффициент сопротивления.

Принимая поперечное сечение, исходя из размеров инерциоида, равным  $10 \times 20 \text{ см}^2$ , скорость  $0,3 \text{ м/сек}$ , и коэффициент сопротивления равным  $1$ , получим силу сопротивления порядка  $0,001 \text{ Н}$ , и замедление порядка  $0,6 \text{ мм/сек}^2$ .

Итак, суммарные внешние силы трения, рассчитанные исходя из устройства инерциоида, дают замедление около  $30 \text{ мм/сек}^2$ . Эта оценка согласуется с экспериментально полученными значениями с учётом сделанных допущений. Соотношение различных внешних сил трения показано на Рис. 6.

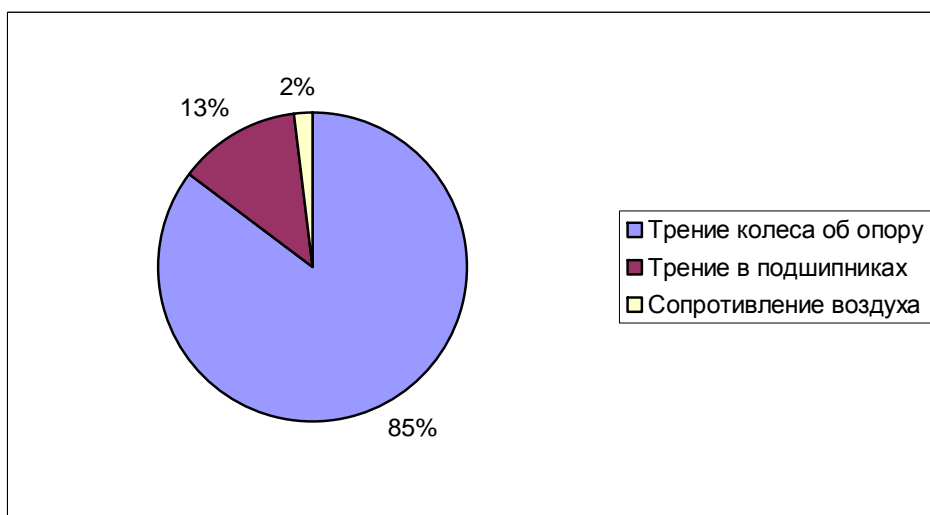


Рис. 6. Расчётное соотношение внешних сил трения, действующих на инерциоид Шипова.

## О силах трения покоя

Единственный аргумент, который выдвигают оппоненты при критике сторонников гипотезы безопрного движения инерциоидов – сила трения зависит от скорости, и инерциоид движется, используя эту разницу: в одном направлении он движется медленнее, чем в другом, силы трения при этом различны, и в результате он движется в направлении быстрого

движения. Этот эффект, действительно, должен проявляться, при наличии трения скольжения<sup>4</sup>. Однако в рассматриваемых результатах автор не нашёл проявления этого эффекта.

Во-первых, поскольку силы трения качения практически не зависят от скорости в рассматриваемом диапазоне скоростей (это показывают свободные прогоны инерциоида по опоре с закреплёнными грузами), а при движении внешнего скольжения нет – только качение, то такой зависимости при движении и не может быть. Во-вторых, анализ движения инерциоида на малых скоростях, перед остановкой, показал даже обратный эффект: из графиков видно, что замедление на малых скоростях (до 20 мм/сек) даже несколько уменьшается (Рис. 7).

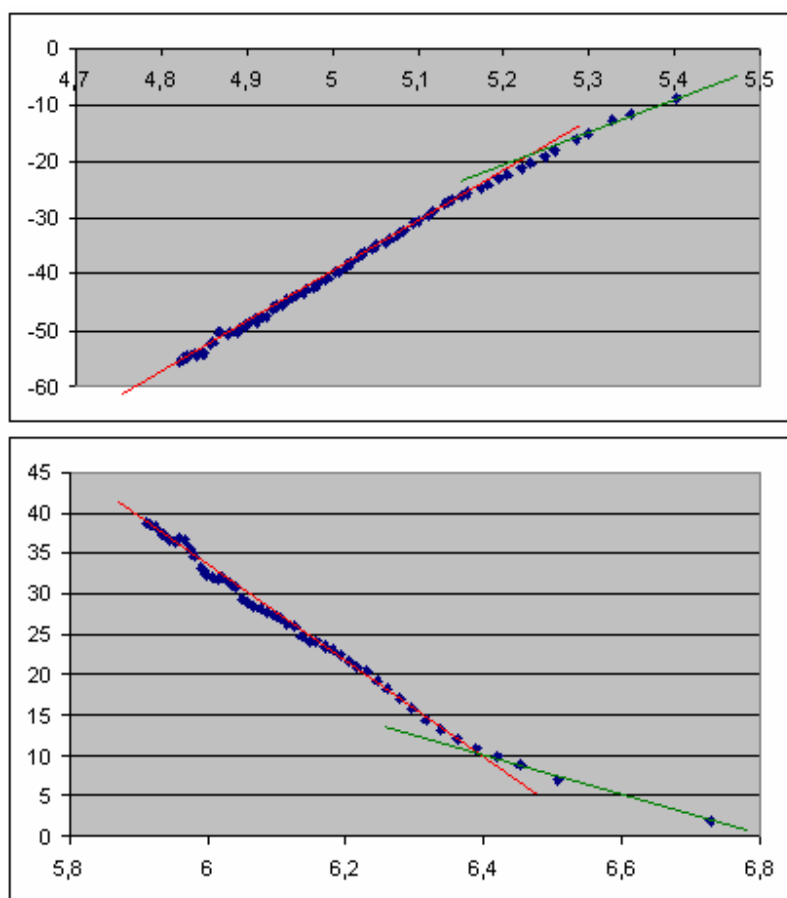


Рис. 7. Графики скорости (мм/сек) при остановке инерциоида.

Объяснение этому эффекту предложил Евгений Ульянов: при остановке инерциоида перестают действовать силы инерции, которые деформируют

<sup>4</sup> В оригинальных инерциоидах Толчина использовались колёса, насаженные на ось без подшипников качения.

сборный корпус, и энергия упругих деформаций превращается в добавку к кинетической энергии, что несколько завышает скорости при остановке.

Но остаётся вопрос о силе трения покоя: её невозможно измерить в движении, а датчики линейной координаты работают только при движении тележки.

В работе [2] приведены измеренные силы трения для инерциоида на стеклянной поверхности, применяемого для изучения короткого удара: 3,8 грамм для трения качения и 5 грамм для трения покоя при общей массе инерциоида 1170 г. Такое значение сил трения покоя соответствует замедлению движения, равному  $42 \text{ мм/сек}^2$ , что хорошо согласуется со значениями замедления, полученными выше, для трения при движении.

Возможно, на вопрос, есть ли существенно большие силы трения покоя, помогут ответить графики движения, где инерциоид периодически меняет направление, пребывая некоторое время в зоне очень малых скоростей. Тогда, если силы трения покоя существенны, должен наблюдаться эффект «залипания» инерциоида в нулевой скорости. При этом должна образовываться горизонтальная «полочка» скорости тележки в нуле. Наличие или отсутствие такого эффекта удобно рассмотреть на режимах, где тележка проходит нулевую скорость с примерно постоянной силой, приложенной со стороны вращающихся грузов.

На Рис. 8 показан такой режим вибратора. Из графика видно, что горизонтальной полочки скорости в нуле нет, и, по-видимому, в этом случае проявляется тот же эффект, что и на Рис. 7 - некоторое изменение ускорения вследствие деформации корпуса инерциоида при остановке и смене направления движения. Этот эффект проявляется в изломе графика скорости тележки в нуле.

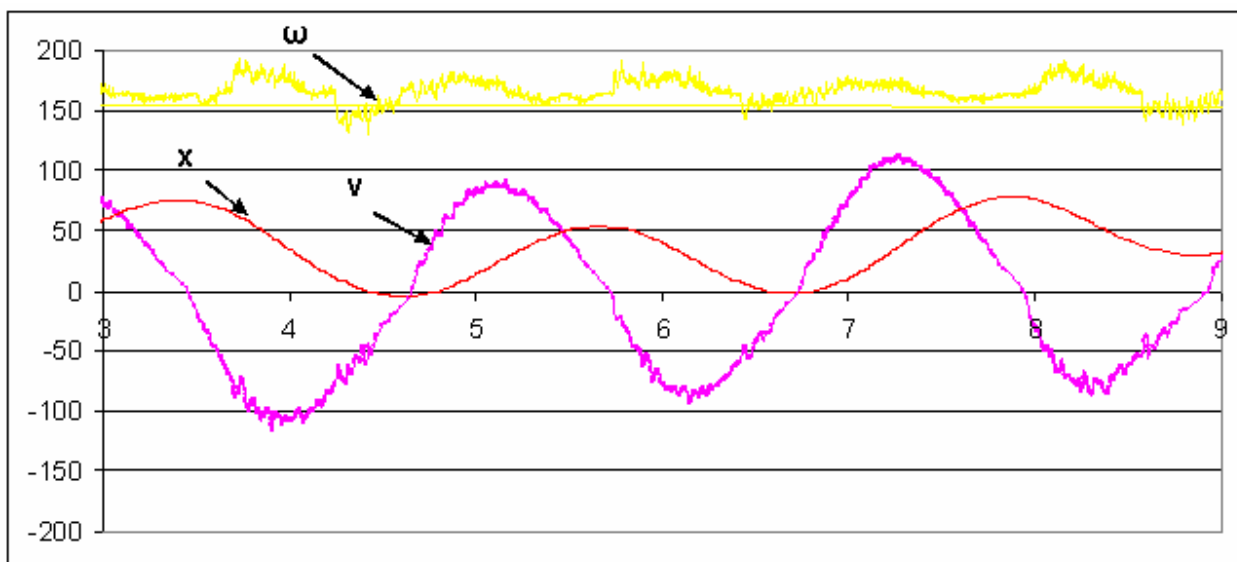


Рис. 8. Режим вибратора.

Таким образом, внешние силы трения, действующие на рассматриваемый инерциод, практически не зависят от скорости. Эффекта превышения сил трения покоя над силами трения качения, которые могли бы существенно влиять на движение инерциода, не обнаружено.

## Противоречия движения инерциода механике Ньютона

Итак, давайте вернёмся к графикам движения инерциода, из которых видно, что центр масс (ц.м.) периодически меняет свою скорость (Рис. 9). Ускорение, которое имеет ц.м. системы, составляет в некоторые интервалы времени величину порядка  $1000 \text{ мм/сек}^2$ , что примерно в 20 раз превышает возможные ускорения под действием сил трения, и в 100 раз превышает ускорения от возможного наклона опоры. К тому же, поскольку в этой серии на показанном интервале инерциод около 5 секунд движется без отката назад, силы трения могут быть направлены только против хода движения, и могут только препятствовать движению (на рисунке наклонной линией показано «нормальное» замедление инерциода под действием установленных сил трения). И, даже если предположить, что в начальный период, когда инерциод ходил вперёд и назад, имела место зависимость силы трения от направления либо скорости, то, «разогнавшись» таким образом, он мог затем только тормозиться. Но этого не происходит, более того, средняя скорость центра масс растёт при движении в одном направлении. Таким образом, силами трения такое движение ц.м. совершенно не объясняется.

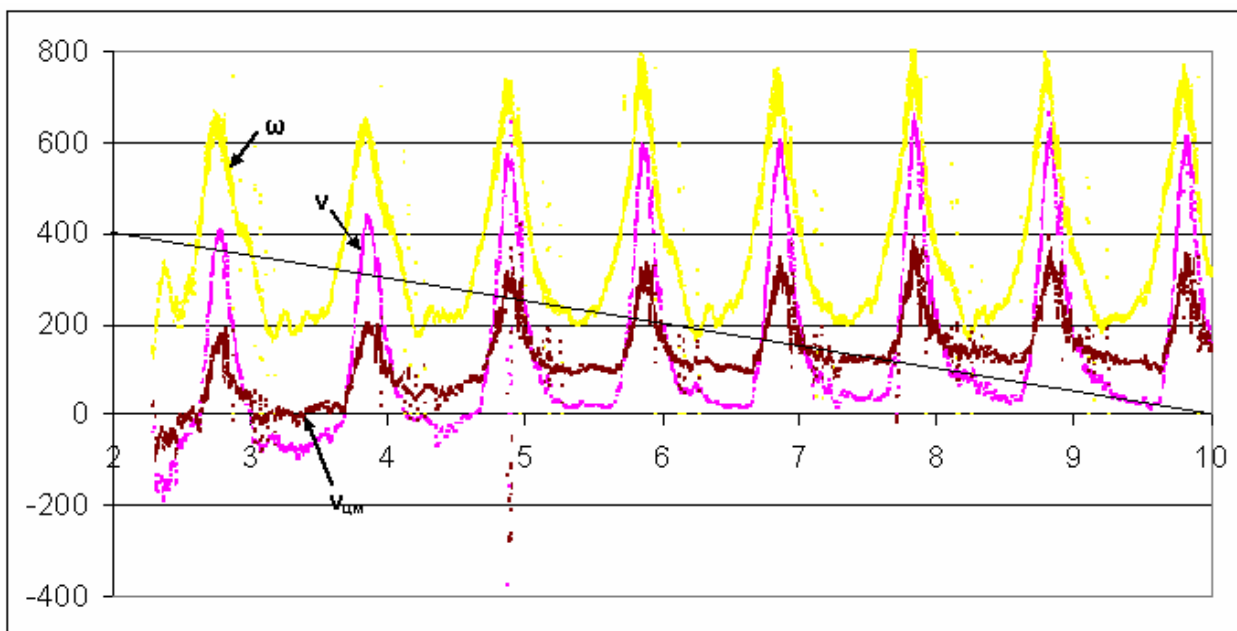


Рис. 9. Графики скоростей инерциоида. Наклонная линия – изменение скорости, которое должно быть под действием сил трения.

Наконец, существует последняя возможность попытаться объяснить этот и аналогичные графики, не выходя из рамок механики Ньютона (и, разумеется, в предположении, что инерциоид не дёргают периодически резко за шлейф и не толкают руками). Что, если имеется ошибка при расчёте скорости ц.м.? Формула для расчёта скорости ц.м.:

$$V_{\text{цм}} = V - B \omega \sin(\varphi)$$

Значение параметра  $B$  задаётся в файлах данных для каждой серии. В приведённом графике параметр  $B$  равен 0.022 м (что соответствует массе груза 170 г). Попробуем так подобрать этот параметр, чтобы убрать пики скорости ц.м. На Рис. 10 показана та же серия, но при подобранном параметре  $B = 0.034$  м (тогда масса одного груза составляла бы 310 г). Хотя пики первого порядка ушли, но всё равно остаётся непонятным поведение тренда скорости ц.м.: что-то разгоняет инерциоид против сил трения и не даёт ему остановиться. К тому же маловероятна ошибка учёта массы грузов в 2 раза.

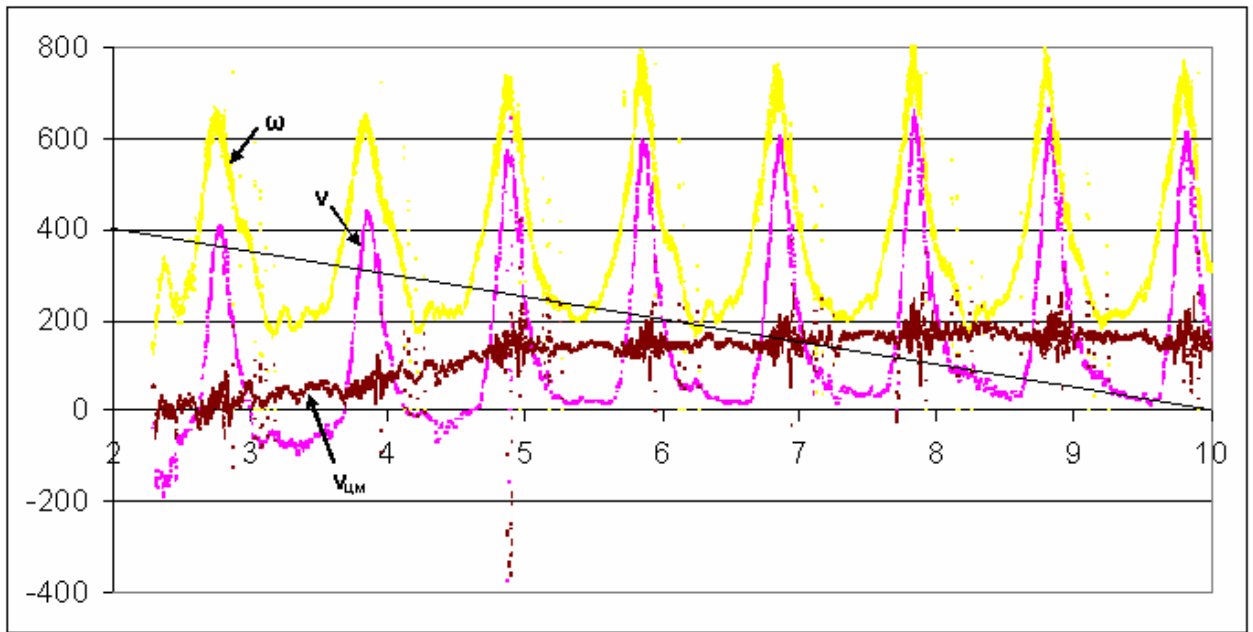


Рис. 10. График скоростей при параметре  $B = 0.034$  м.

В других же сериях вовсе невозможно сгладить пики скорости ц.м. варьированием параметра  $B$  (Рис. 11). Причём можно заметить, что anomalously резкие изменения скорости тележки и ц.м. происходят одновременно с резкими изменениями угловой скорости грузов. Особенно хорошо этот эффект проявляется при больших значениях угловой скорости, а также в углах нахождения грузов в районе  $90^\circ$  и  $270^\circ$ . При этом изменения угловой скорости непропорциональны изменениям скорости тележки, например, резкое изменение угловой скорости на 40% сопровождается изменением скорости тележки на 70% - отсюда возникает изменение скорости центра масс.

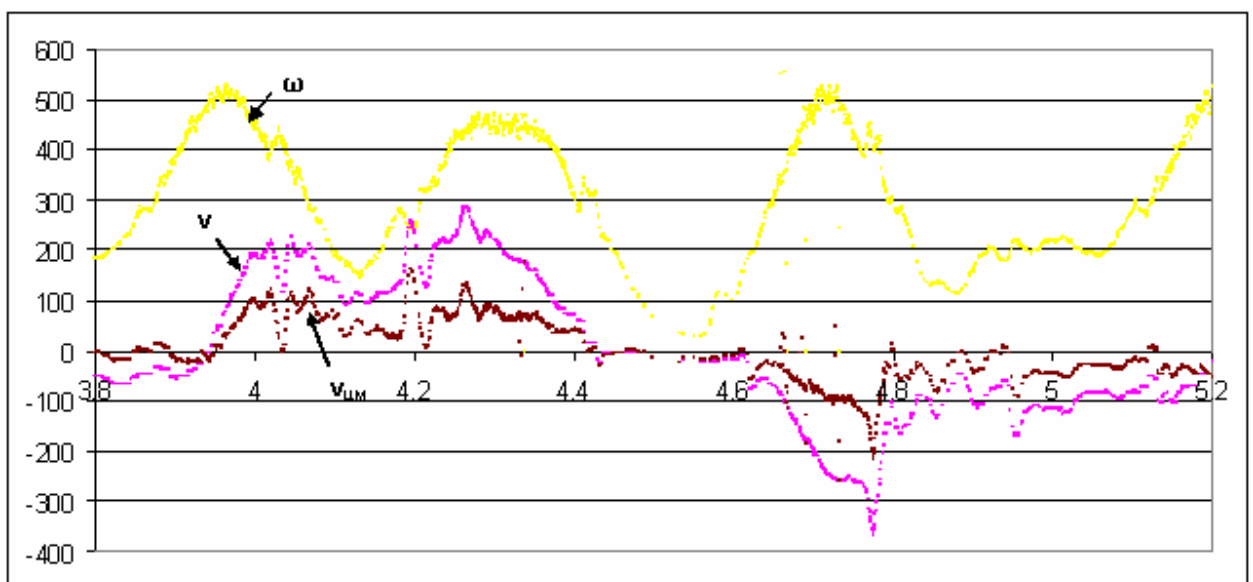


Рис. 11. Пики скорости ц.м., неустранимые подбором параметра В.

Эти пики невозможно объяснить ни погрешностями измерения скоростей, ни погрешностями срабатывания датчиков: на протяжении многих циклов, из серии в серию, скорость центра масс инерциоида аномально откликается на изменения угловой скорости вращения грузов, и практически не меняется, если скорость вращения грузов постоянна.

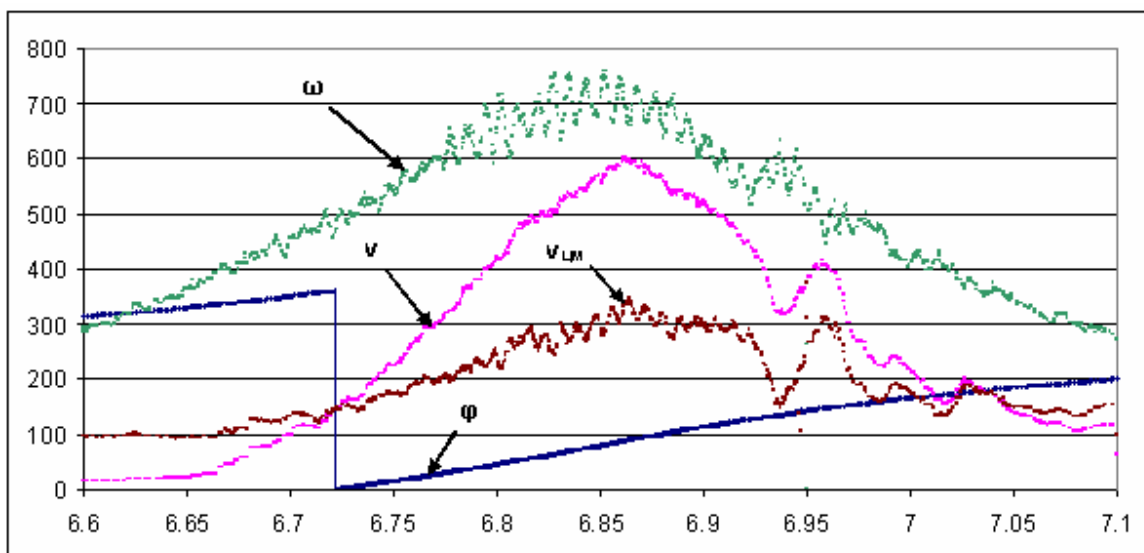


Рис. 12. Графики движения инерциоида.

На Рис. 12 показаны графики изменения скоростей в интервале 0,5 сек, в период максимальных значений скоростей и их производных. Видно, что, помимо положительной корреляции угловой скорости грузов и скорости тележки в тренде, существуют участки с отрицательной корреляцией, характеризующиеся большим значением ускорений, которые можно охарактеризовать как внутренние удары. Т.е. на фоне положительной зависимости линейной скорости от угловой, существуют короткие участки отрицательной зависимости, когда угловая скорость грузов меняется резко (см. поведение графика в районе 6.95 сек на Рис. 12). Примечательно, что такое поведение прямо противоречит закону сохранения импульса: в этих углах увеличение угловой скорости грузов должно сопровождаться пропорциональным увеличением скорости тележки, а не уменьшением.

Ещё одна «странная» особенность графиков изменения скорости ц.м. – её нарастание в тренде начинается не в момент начала нарастания угловой скорости вращения грузов, и не с определённого угла поворота грузов, а лишь начиная с некоторого порогового значения угловой скорости, близкого к 400 °/сек. Эта особенность присуща практически всем



имеющимся сериям с диапазоном изменений угловой скорости от 100-200 до 600-1000 °/сек. В то же время отрицательная корреляция в «ударных» участках наблюдается и при меньших угловых скоростях.

## Применение формулы Шипова к экспериментальным данным

В работе [2] Г.И.Шиповым из вакуумных уравнений была выведена формула нескомпенсированных сил инерции, действующих на центр масс инерциоида при неравномерном вращении грузов. Ускорение, которое получает ц.м., в соответствии с этой формулой:

$$a_{ц.м.} = 2B\omega \sqrt{\frac{\dot{\omega} \sin \varphi \cos \varphi}{1 - A \sin^2 \varphi} + \frac{\ddot{\omega}}{A\omega}} \quad (1)$$

где константы  $A = 2m/(2m + M)$ ;  $B = rA$ .

Эта формула описывает зависимость ускорения ц.м. инерциоида от угла грузов и первых трёх его производных. Анализ формулы показывает, что она содержит проблемы, которые заставляют усомниться в её верности. Во-первых, графики скорости ц.м. показывают, что ускорение ц.м. может быть обоих знаков, а формула допускает только положительные значения. Во-вторых, подкоренное выражение может также иметь знак, и тогда непонятно, что делать с корнем.

К сожалению, проверить напрямую соответствие этой формулы (даже без учёта знака) имеющимся экспериментальным данным невозможно, поскольку точность измерения угловой скорости не позволяет вычислить её вторую производную (первую производную можно приближённо вычислить при сглаживании графика). Однако можно отметить следующие особенности экспериментальных данных:

- 1) Ускорение ц.м. зависит в тренде от углового ускорения, а также от угловой скорости с положительным знаком;
- 2) В «ударных» участках, т.е. там, где велико значение второй производной угловой скорости, зависимость ускорения ц.м. от углового ускорения становится обратной.

На Рис. 13 показано сравнение экспериментальных данных скорости ц.м. ( $v_{цм}$ ) с теоретическими ( $v_{цм}^*$ ), полученными из модифицированной формулы (1), из которой был исключён член со второй производной, знак первого члена выносился из-под корня, а к ускорениям из формулы были

добавлены силы трения. Местами видна некоторая корреляция с положительным знаком, местами с отрицательным; порядок ускорений соответствует экспериментальным – но не более того. Модифицированная таким образом формула не объясняет феномен отмеченной выше «критической угловой скорости», выше которой тренд скорости ц.м. коррелирует с трендом угловой скорости, и в целом в текущем виде не может служить для моделирования экспериментальных данных.

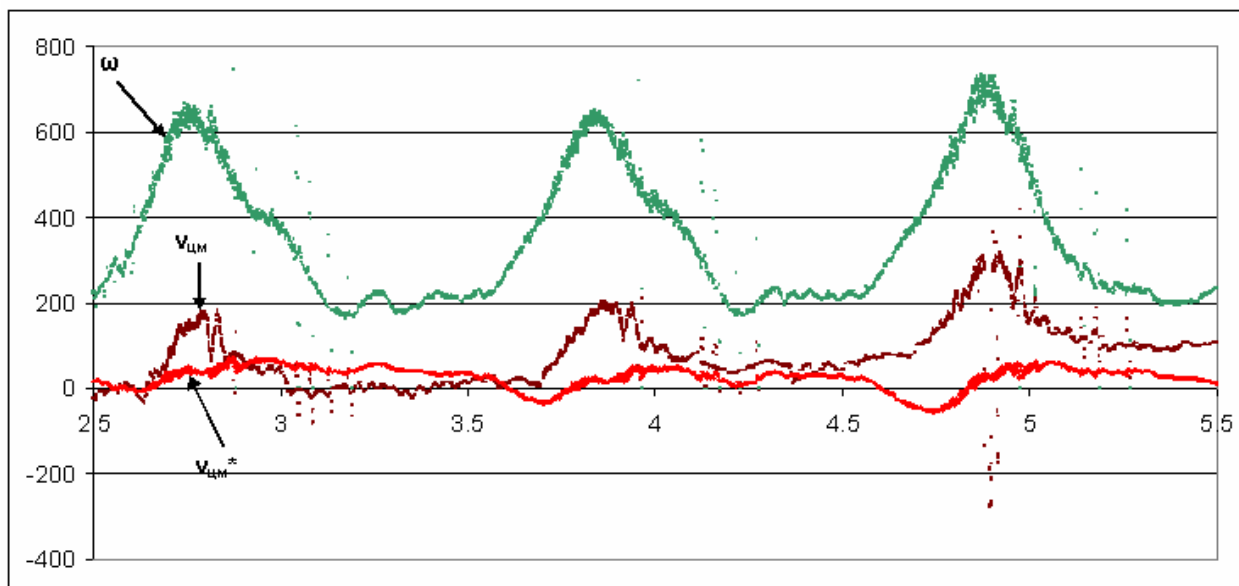
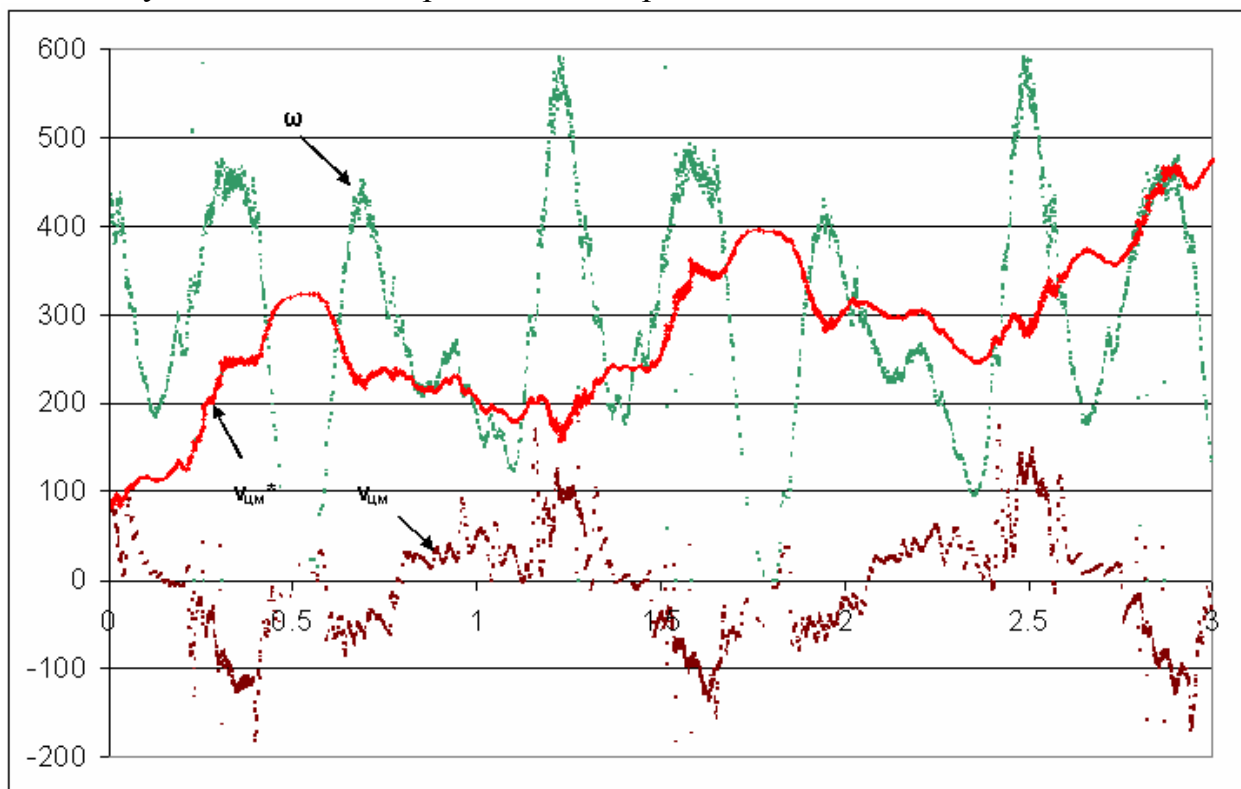


Рис. 13. Примеры сравнений экспериментальных данных с теоретическим моделированием с использованием формулы (1).

## Проблемы теоретического моделирования инерциоида Толчина

Анализ работ, в которых выполнялось теоретическое моделирование инерциоида Толчина, выявил один существенный недостаток, присущий всем теоретическим моделям, независимо от того, используется при этом механика Ньютона либо механика Шипова. Этот недостаток заключается в том, что модели пренебрегали собственным моментом инерции грузов, принимая грузы за материальные точки с некоторой массой.

Важность учёта собственного момента инерции грузов иллюстрируется следующим примером. Рассмотрим инерциоид с нулевой центральной массой. Грузы массой  $m$  свободно вращаются без трения с некоторой скоростью  $\omega$  вокруг невесомого шарнира  $O$  на невесомых абсолютно твёрдых рычагах длиной  $r$  (Рис. 14):

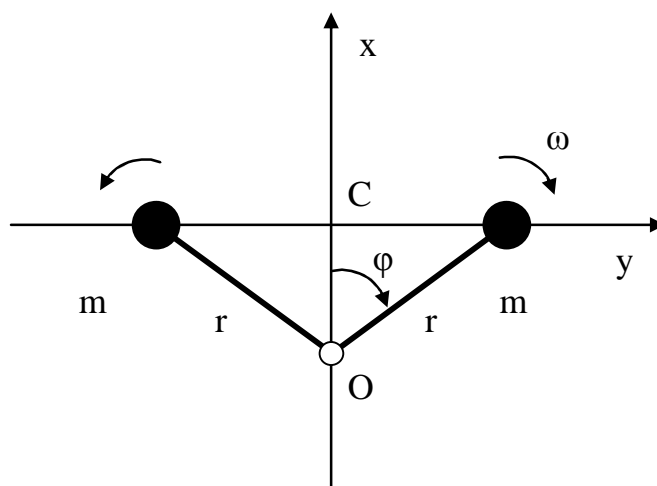


Рис. 14. Схема инерциоида с нулевой центральной массой.

Давайте рассмотрим эту простейшую конструкцию в рамках механики Ньютона. Применим законы сохранения импульса и энергии. Поскольку центр масс  $C$  системы, расположенный посередине отрезка, соединяющего грузы, должен покоиться (в выбранной нами инерциальной системе отсчёта), то грузы, вращаясь вокруг подвижного шарнира  $O$ , будут ходить поступательно вдоль оси  $y$ , а шарнир  $O$  - вдоль оси  $x$ .

В двух крайних точках своего движения, расходясь на максимальное расстояние, грузы будут иметь нулевую поступательную скорость, а точка  $O$  в этот момент движется с максимальной для себя скоростью, проходя через ц.м. системы (Рис. 15, позиция I). Проходя навстречу друг другу через центр масс  $C$ , грузы будут иметь максимальную поступательную скорость (Рис. 15, позиция II). В этот момент точка  $O$ , напротив, стоит на месте, имея нулевую мгновенную скорость.

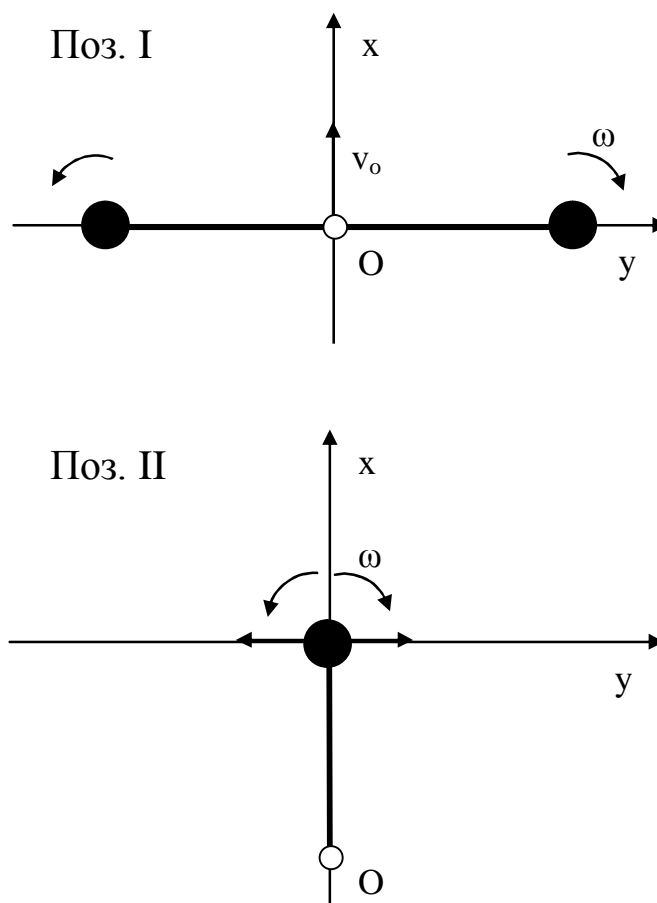


Рис. 15. Схема инерциоида в двух позициях.

Рассмотрим кинетическую энергию системы в позиции I. Поскольку грузы имеют нулевую мгновенную поступательную скорость, то вся энергия системы должна быть заключена в их вращении. Но, если собственный момент инерции груза  $J_0$  - относительно собственного центра масс - равен нулю (как предполагают рассмотренные теоретические модели), то энергия также равна нулю, и внутреннее циклическое движение такой конструкции просто невозможно!

Введя собственный момент инерции каждого груза  $J_0$ , мы спасаем эту систему от "паралича". Можно показать, что в этом случае угловая скорость вращения грузов будет осциллировать:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{J_0}{J_0 + mr^2 \cos^2 \varphi}} \quad (2)$$

При этом происходит перераспределение энергии каждого из грузов из поступательной во вращательную и обратно: в позиции II внутренняя поступательная энергия системы максимальна, в позиции I - минимальна (в данном случае она равна нулю).

Для инерциоида с ненулевой центральной массой формула принимает следующий вид:

$$\omega = \omega_0 \sqrt{\frac{J_0 + J(1 - A)}{J_0 + J(1 - A \sin^2 \varphi)}} \quad (3)$$

где  $J = mr^2$ ,

$$A = \frac{2m}{2m + M}$$

Очевидно, учёт собственного момента инерции грузов тем важнее, чем выше поступательная скорость точки O, вокруг которой грузы вращаются: для рассмотренного случая нулевой центральной массы ( $A=1$ ) эта скорость максимальна, а для неподвижно закреплённой точки O ( $A=0$ ) собственный момент инерции грузов, действительно, можно отдельно не учитывать, и просто приплюсовывать его к J.

В соответствии с формулой (3) частота осцилляций угловой скорости вдвое выше частоты вращения грузов.

Осцилляция угловой скорости вращения грузов хорошо видна на графиках движения инерциоида в сериях, в которых изучался абсолютно упругий удар со свободно вращающимися грузами (Рис. 16). Амплитуда осцилляций при  $A=0.27$  и  $J_0$ , равным 10% от J, составит 13% от максимальной угловой скорости, и около 15%, если  $J_0$  не учитывать.

Из графиков также видно, что и фактическая скорость центра масс свободно движущегося инерциоида существенно осциллирует (с амплитудой, составляющей около 17% от амплитуды скорости тележки), что противоречит классической механике, но качественно согласуется с механикой Г.И.Шипова [2].

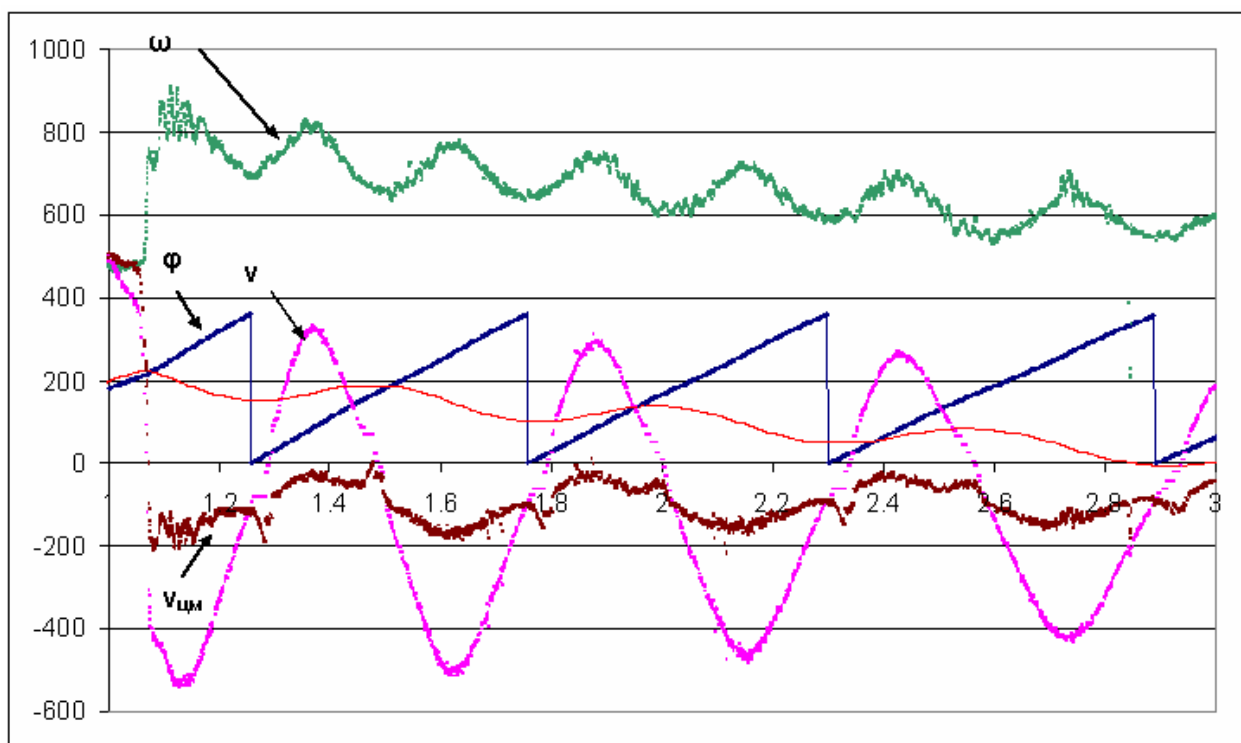


Рис. 16. Осцилляция угловой скорости грузов ( $\omega$ ) и скорости центра масс ( $v_{цм}$ ) при свободном движении инерциоида после абсолютно упругого удара.

## Выводы

1. Анализ экспериментальных данных, полученных Г.И.Шиповым в Тайланде, показывает anomalous движение инерциоида, не подчиняющееся классической механике. Скорость центра масс системы периодически изменяется во времени; характер такого изменения невозможно объяснить силами взаимодействия инерциоида с опорой и другими внешними силами.
2. Экспериментальные данные подтверждают возможность безопорного движения, которая следует из механики Г.И.Шипова, и качественно соответствуют основным её выводам. Однако формула нескомпенсированных сил инерции в работе [2] не соответствует полученным экспериментальным данным. В то же время в экспериментальных данных прослеживается некоторая зависимость ускорения ц.м. от угловой скорости вращения грузов и её производных.
3. Необходимо дальнейшее продолжение как экспериментов, так и теоретической работы по инерциоидам. Дальнейшие эксперименты должны обеспечивать достаточную точность измерения угловой скорости для учёта её первой и второй производных. Также будет

полезно устанавливать датчики ускорений, а также напрямую измерять момент сил, развиваемый мотором-тормозом.

4. Возможно, учёт собственного момента инерции грузов позволит уточнить теоретические модели, описывающие движение инерциоида Толчина.

## **Благодарности**

Автор благодарит Геннадия Шипова за предоставленные экспериментальные данные, а также Евгения Ульянова за ценные замечания по формату исходных данных, алгоритмам обработки результатов эксперимента и по устройству экспериментальной установки.

## **Литература**

1. Шипов Г.И., Сидоров А.Н. Теоретические и экспериментальные исследования реактивного движения без отбрасывания массы // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.10724, 03.10.2003 (<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0231/004a/02310000.pdf>)
2. Шипов Г.И. 4D гироскоп в механике Декарта // «Академия Тринитаризма», М., Эл № 77-6567, публ.13938, 26.10.2006 (<http://www.trinitas.ru/rus/doc/0231/004a/02311026-01.pdf>)
3. Меньшиков В.А., Дедков В.К. Тайны тяготения / М., НИИ КС, 2007. ([http://www.second-physics.ru/lib/books/menshikov\\_tainy\\_tyagotenia.zip](http://www.second-physics.ru/lib/books/menshikov_tainy_tyagotenia.zip))