

Лабораторная работа №5

Изучение законов вращательного движения с помощью маятника Обербека

Содержание

Оборудование.....	1
Цель работы.....	1
Теоретическое обоснование.....	1
Результаты измерений и их обработка.....	3
Масса дополнительных грузов.....	3
1 комплект дополнительных грузов.....	3
2 комплект дополнительных грузов.....	4
3 комплект дополнительных грузов.....	5
Момент инерции пустого обода.....	6
Трение.....	6
Заключение.....	7

Оборудование

- Маятник Обербека
- 3 комплекта грузов
- Весы лабораторные
- Фотодиод

Цель работы

Определение момента инерции «пустого» маятника при помощи многочисленных измерений с грузами различной массы. Оценка влияния силы трения на полученные результаты.

Теоретическое обоснование

Конструкция маятника Обербека подразумевает, что к вращающемуся элементу прикреплён барабан радиуса R , на который наматывается нить, к другому концу которой привязан груз массы M . Обозначим момент инерции обода с набором грузов, как и I , пустого обода, как I_0 , мгновенное значение угловой скорости конструкции, как ω , мгновенное значение ускорения груза, как a , силу натяжения нити, как T .

Тогда, пренебрегая трением, из второго закона Ньютона получаем следующее уравнение для движения груза вниз:

$$Ma = Mg - T$$

Также, исходя из теоремы об изменении момента импульса:

$$TR = I \frac{d\omega}{dt} = I \frac{a}{R}$$

Исходя из приведённых выше уравнений:

$$Mg = \left(M + \frac{I}{R^2} \right)$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{gMR}{MR^2 + I} \text{ - для движения вниз}$$

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{gMR}{MR^2 - I} \text{ - для движения вверх}$$

Тогда для движения вниз:

$$I = \frac{gMR}{\frac{d\omega}{dt}} - MR^2$$

Для движения вверх:

$$I = - \left(\frac{gMR}{\frac{d\omega}{dt}} - MR^2 \right)$$

Тогда, исходя из того, что момент инерции — аддитивная величина, можем найти момент инерции пустого обода:

$I_0 = I - I_g$, где I_g - суммарный момент инерции навесных грузов, равный в нашем случае $M_0 * R^2$, M_0 - суммарная масса грузов. Тогда, момент инерции пустого обода можем найти по формуле:

$$I_0 = I - M_0 R^2$$

Результаты измерений и их обработка

Предварительные измерения

В ходе эксперимента использовались 3 комплекта дополнительных грузов со следующими массами:

- 860.25 г
- 855.90 г
- 866.56 г

Приборная погрешность лабораторных весов — 0.05 г

Радиус обода маятника - $29.00 \pm 0.05 \text{ см}$

В ходе эксперимента в качестве груза использовалась гайка массой $M = 196,15 \pm 0,05 \text{ г}$

1 комплект дополнительных грузов ($M_0 = 860.25 \pm 0.05 \text{ г}$)

График зависимости $\omega(t)$ в данном случае будет выглядеть следующим образом:

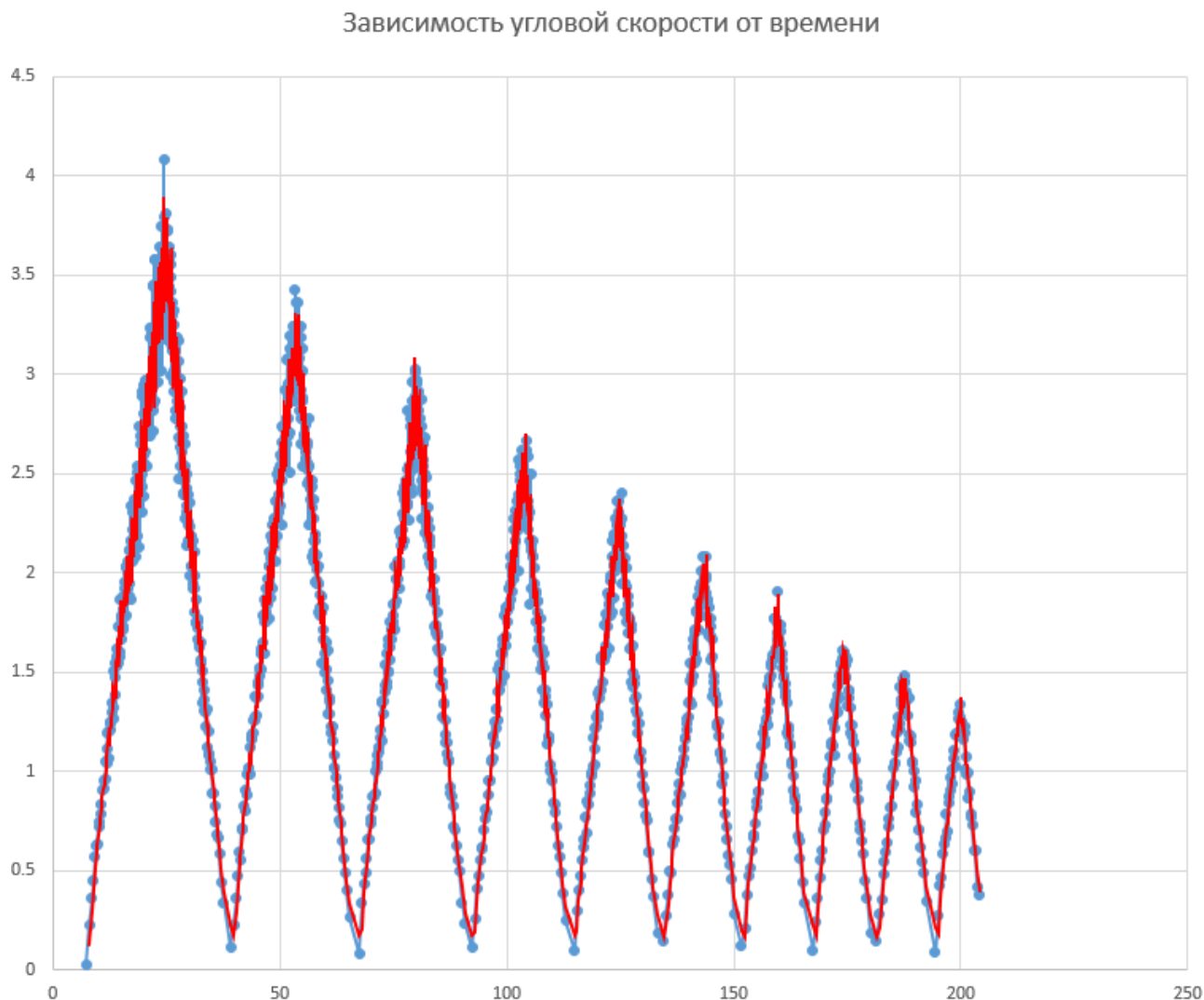


Рис. 1: Зависимость угловой скорости от времени с 1 комплектом грузов

Среднее значение углового ускорения:

$$\frac{d\omega}{dt} = 0.357 \text{ (рад/с}^2\text{)}$$

Т. о. момент инерции обода с этим набором грузов:

$$I = 1.55 \text{ (кг*м}^2\text{)}$$

Исходя из полученных данных, момент инерции пустого обода:

$$I_0 = 1.48 \text{ (кг*м}^2\text{)}$$

2 комплект дополнительных грузов ($M_0 = 1716.15 \pm 0.05 \text{ г}$)

График зависимости $\omega(t)$ в данном случае будет выглядеть следующим образом:

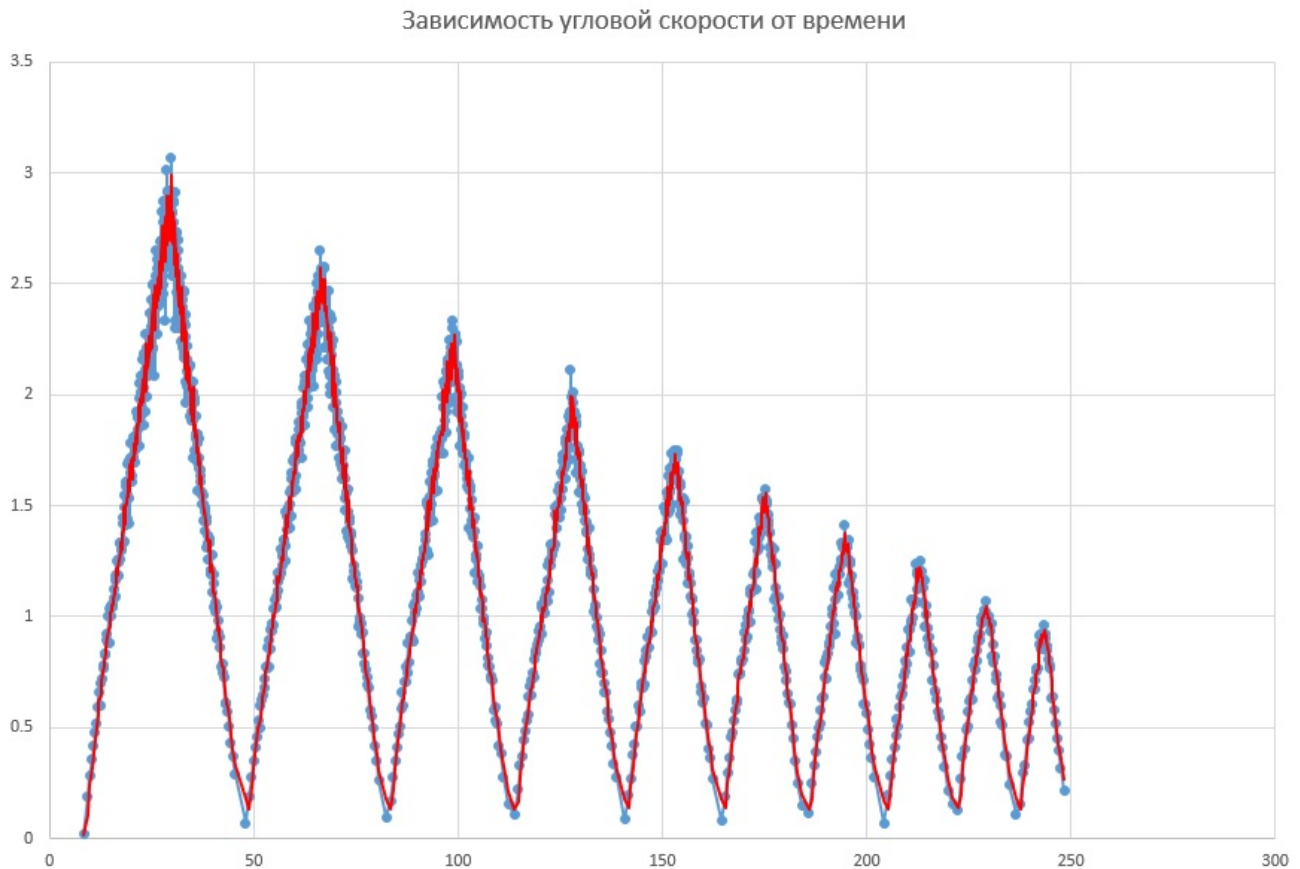


Рис. 2: Зависимость угловой скорости от времени со 2 комплектом грузов

Среднее значение углового ускорения:

$$\frac{d\omega}{dt} = 0.187 \text{ (рад/с}^2\text{)}$$

Т. о. момент инерции обода с этим набором грузов:

$$I = 2.96 \text{ (кг*м}^2\text{)}$$

Исходя из полученных данных, момент инерции пустого обода:

$$I_0 = 2.72 \text{ (кг*м}^2\text{)}$$

3 комплект дополнительных грузов ($M_0 = 2582.71 \pm 0.05 \text{ г}$)

График зависимости $\omega(t)$ в данном случае будет выглядеть следующим образом:

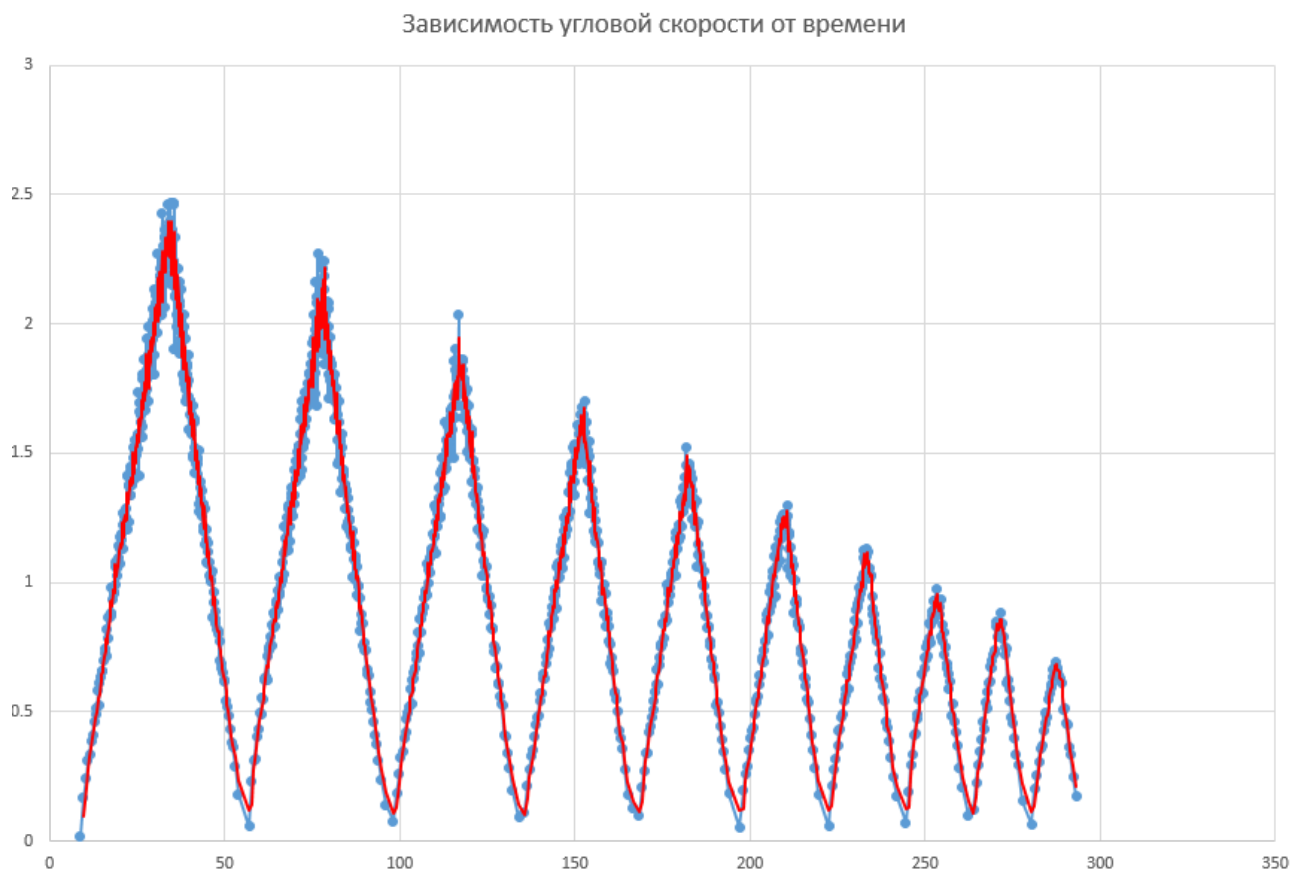


Рис. 3: Зависимость угловой скорости от времени с 3 комплектом грузов

Среднее значение углового ускорения:

$$\frac{d\omega}{dt} = 0.129 \text{ (rad/c}^2\text{)}$$

Т. о. момент инерции обода с этим набором грузов:

$$I = 4.3$$

Исходя из полученных данных, момент инерции пустого обода:

$$I_0 = 3.75 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}$$

Момент инерции пустого обода

Выше приведены расчётные значения момента инерции пустого обода. Найдём среднее:

$$I_{0cp.} = 2.65 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}$$

В ходе эксперимента так же была измерена зависимость угловой скорости пустого обода (без дополнительных грузов) от времени, её график представлен ниже:

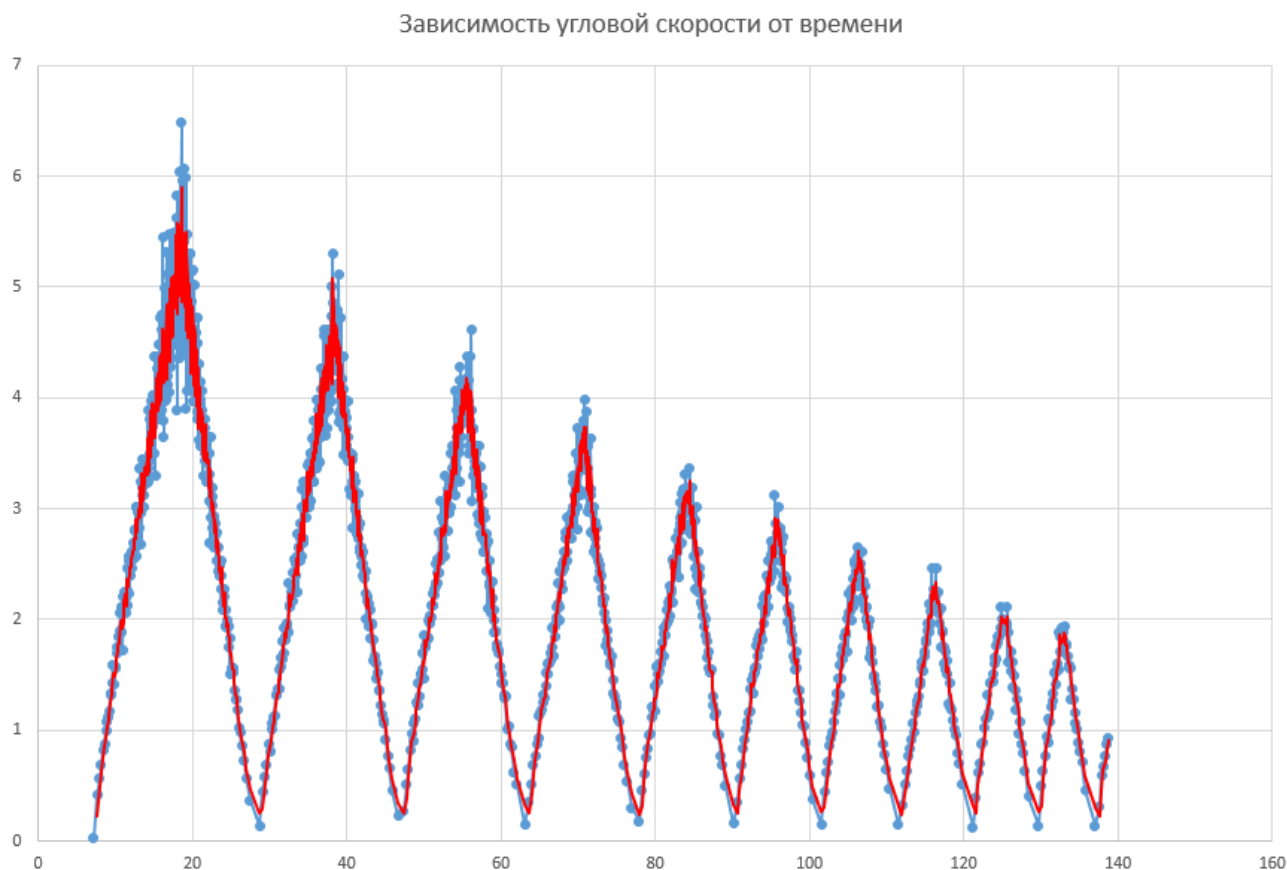


Рис. 4: Зависимость угловой скорости обода без дополнительных грузов от времени

Среднее значение углового ускорения:

$$\frac{d\omega}{dt} = 0.988 \text{ (рад/с}^2\text{)}$$

Т. о. момент инерции пустого обода:

$$I_0 = 0.55 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}$$

Трение

Во всех измерениях можно наблюдать затухающие колебания с экспоненциально убывающей амплитудой. Это вызвано различными силами трения — всей конструкции о воздух, нитки о вращающиеся конструкции, трением самого обода и т. д. Установить коэффициенты каждого из них, исходя только из приведённых выше данных, не представляется возможным.

Заключение

В ходе работы были измерены зависимости угловых скоростей от времени и с помощью них рассчитаны моменты инерции обода маятника Обербека с различными дополнительными грузами, с помощью теоремы Гюйгенса-Штейнера также было получено расчётное значение момента инерции пустого обода:

$$I_{0cp.}=2.65 \text{ (кг*м}^2\text{)}$$

Также были проведены измерения с ободом без дополнительных нагрузок, получен его момент инерции:

$$I_0=0.55 \text{ (кг*м}^2\text{)}$$

Результаты, полученные при расчёте момента инерции пустого обода мало того, что не сходятся между собой — их значение возрастает с зависимостью, близкой к линейной, так и абсолютно не сочетаются с прямым измерением момента инерции пустого обода. Скорее всего, это вызвано некорректной работой программы, при помощи которой были получены экспериментальные данные.