

УДК 531.382

## Модель расчёта момента силы трения при вращательном движении тела

*Постолов Ф.В., Егорова И.В., Петренко Н.В., Руденко Н.Б., Грачева Н.Н.*

*Азово-Черноморский инженерный институт, Донской ГАУ*

### Аннотация

*В статье рассмотрен один из видов механического движения – вращательное движение. Для автоматизации расчёта момента силы трения предложен алгоритм и написана программа на языке Python. Алгоритм состоит из блока ввода исходных данных, блоков расчёта промежуточных величин и искомой величины и вывода результатов вычислений.*

**Ключевые слова:** СИЛА ТРЕНИЯ, МЕХАНИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ, ТЕЛО, ЯЗЫК PYTHON, ОСЬ ВРАЩЕНИЯ, АЛГОРИТМ, ГРУЗ

Одним из видов механического движения является вращательное движение, при котором все точки твердого тела движутся по окружностям, центры которых лежат на одной прямой, называемой осью вращения. Ось вращения может располагаться внутри тела и за его пределами. Ось вращения в данной системе отсчёта может быть как подвижной, так и неподвижной. Например, в системе отсчёта, связанной с Землёй, ось вращения ротора генератора на электростанции неподвижна [1].

Основной закон динамики вращательного движения тела с неподвижной осью вращения устанавливает прямую пропорциональную зависимость между суммарным моментом сил, приложенных к телу и угловым ускорением  $\varepsilon$  тела [2]:

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{J} \bar{M} \quad (1)$$

где  $J$  – момент инерции тела относительно оси вращения,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ .

Закономерности, связывающие между собой величины  $\bar{\varepsilon}$ ,  $\bar{M}$ ,  $J$ , можно выявить на установке, которая называется маятником Обербека (рис. 1).

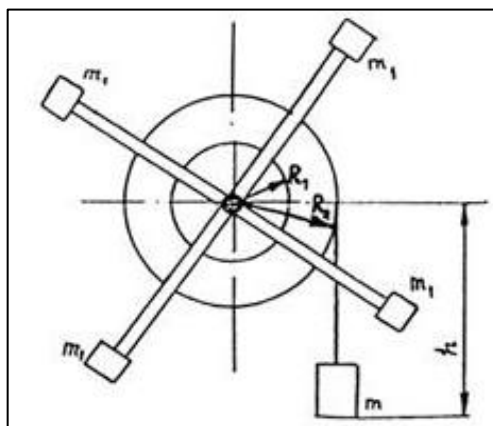


Рис. 1. Маятник Обербека

Груз, прикрепленный к нити, намотанной на большой или малый шкив, приводит систему во вращение. Меняя шкивы и изменяя массу груза  $m$ , изменяют вращающий момент  $M$ , а передвигая грузы  $m_1$  вдоль крестовины и фиксируя их в различных положениях, изменяют момент инерции системы  $J$ .

Общий вид лабораторной установки изображен схематически на рис. 2.

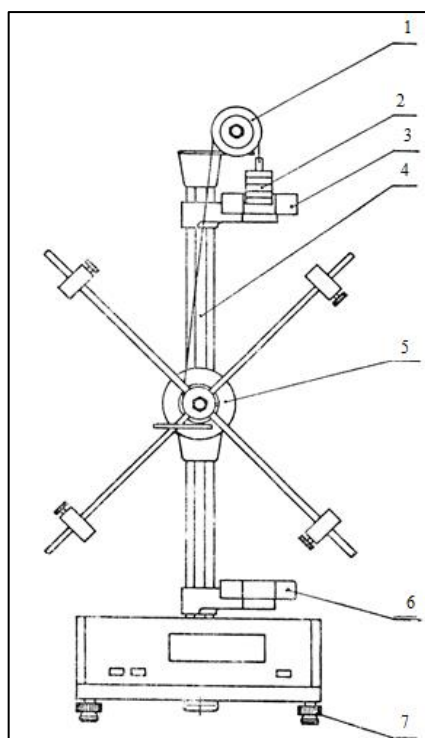


Рис. 2. Общий вид лабораторной установки

*Примечание:* 1 – шкив; 2 – груз; 3 – верхний подвижный кронштейн; 4 – вертикальная колонна; 5 – двухступенчатый шкив маятника; 6 – нижний неподвижный кронштейн; 7 – регулировочные винты.

На вертикальной колонне (4), установленной на основании, закреплены два кронштейна: нижний неподвижный (6) и верхний подвижный (3). Основание снабжено регулировочными винтами (7), обеспечивающими вертикальную установку колонны. На верхнем кронштейне (3) закреплен шкив (1). Через шкив переброшена нить, один конец которой прикреплен к двухступенчатому шкиву маятника (5). На втором конце нити закреплен груз (2). На обратной стороне маятника закреплен тормозной электромагнит, который удерживает маятник и грузы в состоянии покоя. Подвижный кронштейн (3) можно перемещать вдоль колонны и фиксировать его в любом положении, задавая, таким образом по миллиметровой шкале (1) высоту  $h$  падения груза.

Грузы закреплены на металлических стержнях и могут свободно перемещаться и фиксироваться на каждом стержне, что дает возможность ступенчатого изменения моментов инерции крестовины.

На подвижном кронштейне (3) закреплен фотоэлектрический датчик. На неподвижном кронштейне (6) закреплен фотоэлектрический датчик, вырабатывающий импульс конца измерения времени и включающий тормозной электромагнит [3].

Электромагнитный тормоз предназначен для фиксации подвижной системы в начале эксперимента, выдачи электрического сигнала начала отсчета времени и торможения подвижной системы после завершения отсчета времени [3].

К кронштейну (6) прикреплена платформа, ограничивающая движение груза. На основании (7) установлен блок управления и измерения времени. Маятник состоит из четырех стержней и двух шкивов различного радиуса, укрепленных на одной горизонтальной оси. По стержням могут перемещаться и закрепляться в нужном положении четыре (по одному на каждом стержне) груза одинаковой массы  $m_1$ . При помощи грузов различной массы  $m$  маятник может приводиться во вращение [3].

Суммарный момент силы  $M$ , действующей на маятник, складывается из момента силы упругости нити  $M_T$  [4]:

$$M_T = rT, \text{ Н} \cdot \text{ м} \quad (2)$$

где  $T$  – сила натяжения нити, Н;

$r$  – радиус шкива, м.

Тогда основной закон динамики вращательного движения [1] принимает вид:

$$\varepsilon = \frac{M_T - M_{TP}}{J}. \quad (3)$$

где  $M_{\text{тр}}$  – момента сил трения, направленного противоположно, Н·м.

Сила натяжения нити определяется из второго закона динамики поступательного движения:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{mg - T}{m}, \quad (4)$$

где  $a$  – ускорение груза, м/с<sup>2</sup>;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$m$  – масса груза, кг.

С учётом формулы [2] получим

$$M_T = rm(g - a) \quad (5)$$

Ускорение груза  $a$  находится из кинематического уравнения зависимости пути от времени для равноускоренного движения и равно:

$$a = \frac{2h}{t^2}, \quad (6)$$

где  $h$  – расстояние, пройденное грузом из состояния покоя до удара об ограничивающую платформу за время  $t$ , м.

Угловое ускорение шкива определяется из соотношения

$$\varepsilon = \frac{a}{r}, \text{ рад/с}^2 \quad (7)$$

Для определения  $J$  и  $M_T$  необходимо построить график зависимости  $\varepsilon = f(M_T)$  (рис. 3) [2, 4].

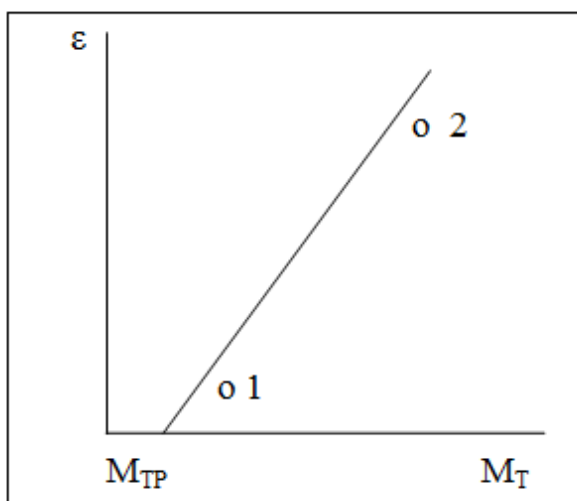


Рис. 3. График зависимости  $\varepsilon = f(M_T)$

Отрезок, отсекаемый прямой  $\varepsilon = f(M_T)$  на оси абсцисс, есть  $M_{Tр}$ , а тангенс угла наклона графика к оси абсцисс есть  $\frac{1}{J}$ . Поскольку формула [3] справедлива для любых двух точек на графике (рис. 2),  $J$  можно находить по формуле [5]

$$J = \frac{M_{T_2} - M_{T_1}}{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}, \text{ рад/с}^2 \quad (7)$$

Для автоматизации расчёта момента силы трения предложен алгоритм (рис. 4) и написана программа на языке Python.

Алгоритм состоит из блока ввода исходных данных, блоков расчёта промежуточных величин и искомой величины и вывода результатов вычислений. Вычисление момента силы трения зависит от высоты падения груза, поэтому вычисления выполняются несколько раз при различных значениях входящих величин.

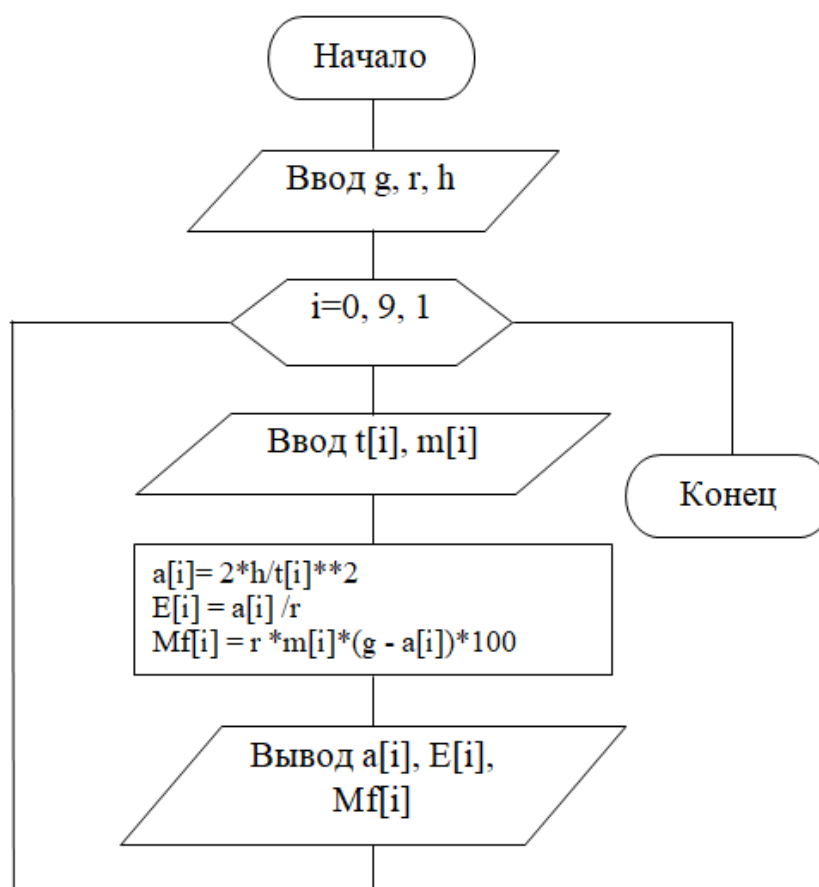


Рис. 4. Алгоритм расчёта момента силы трения

Для расчётов были использованы стандартные библиотеки языка программирования Python. Входные величины представляют собой массивы данных, элементы которых вводятся циклически. Весь вычислительный процесс оформлен в виде функции, что позволяет избежать дублирования кода при использовании различных исходных данных (рис. 5).

```
g=9.81
r =float(input("Введите значение: r = "))
h =float(input("Введите значение: h = "))

def mom_vol_tr_calculation (r, h):
    print("-----i = ", i)
    t[i] = float(input("Введите значение: t = "))
    m[i] = float(input("Введите значение: m = "))
    a[i]= 2*h/t[i]**2
    E[i] = a[i] /r
    Mf[i] = r *m[i] * (g - a[i])*100
    print("a[" ,i, "]= ",a[i])
    print("E[" , i, "]= ", E[i])
    print("Mf[" , i, "]= ", Mf[i])
```

Рис. 5. Фрагмент программы на языке Python

Таким образом предложен алгоритм и написана программа на языке Python для автоматизации расчёта момента силы трения при вращательном движении. Решение подобной практической задачи с применением изложенной в работе методики позволяет минимизировать время, затрачиваемое для проведения вычислений и снизить вероятность допущения ошибок.

#### **Список использованных источников:**

1. Леонтьев Н.Г. Лекции по физике. Т. 1. Механика. Механические колебания. Молекулярная физика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Н.Г. Леонтьев, А.В. Белюсов. – зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2022. - 180 с.– Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.
2. Лабораторный практикум по физике. Часть 1. Механика. Механические колеба-

Постолов Ф.В., Егорова И.В., Петренко Н.В., Руденко Н.Б., Грачева Н.Н.  
Модель расчёта момента силы трения при вращательном движении тела

.....  
**Электронный научно-производственный журнал**  
**«АгроЭкоИнфо»**  
=====

ния. Молекулярная физика и термодинамика [Электронный ресурс]: учебное пособие / Под общей редакцией Н.Г. Леонтьева. – Электрон. дан. – зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО ДГАУ, 2021, - 108 с. – Режим доступа: Локальная сеть Библиотеки Азово-Черноморского инженерного института ФГБОУ ВО Донской ГАУ.

3. Трофимова Т.И. Курс физики / Т.И. Трофимова. - М.: ВШ, 1985, - § 4,6,16,18.

4. Савельев И.В. Курс общей физики / И.В. Савельев. Т.1. - М.: Наука, 1987, - § 4,5,8,9,38, 39;

5. Яворский Б.М. Справочник по физике / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф - М.: ВШ, 1989. - § I.1.4, I.2.4, I.4.1, I.4.2, I.4.3.

=====

**Цитирование:**

Постолов Ф.В., Егорова И.В., Петренко Н.В., Руденко Н.Б., Грачева Н.Н. Модель расчёта момента силы трения при вращательном движении тела [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2024. – № 4. – Режим доступа: [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/4/st\\_413.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2024/4/st_413.pdf)  
DOI: <https://doi.org/10.51419/202144413>.