

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

Б. А. Люшкин  
Г. Е. Уцын  
Н. Ю. Гришаева

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Методические указания к лабораторным и самостоятельным работам  
по дисциплине «Прикладная механика»  
для студентов технических направлений подготовки и специальностей  
всех форм обучения

Томск  
2024

УДК 531  
ББК 22.2

**Рецензент:**

**Бочкарева С. А.**, доцент кафедры механики и графики ТУСУР, канд. физ.-мат. наук

**Люкшин, Борис Александрович**

Исследование трения скольжения: методические указания к лабораторным и самостоятельным работам по дисциплине «Прикладная механика» для студентов технических направлений подготовки и специальностей всех форм обучения / Б. А. Люкшин, Г. Е. Уцын, Н. Ю. Гришаева – Томск : Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024. – 12 с.

Методические указания представляют собой руководство по выполнению лабораторных и самостоятельных работ для студентов, изучающих дисциплины «Прикладная механика». В пособии рассмотрена последовательность и оформление лабораторной работы по исследованию трения скольжения

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим специальностям всех форм обучения.

Одобрено на заседании каф. механики и графики, протокол №165 от 08.04.2024

УДК 531  
ББК 22.2

© Люкшин Б.А., Уцын Г.Е, Гришаева Н. Ю. 2024  
© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2024

## Содержание

Введение .....	4
1 Цель работы.....	4
2 Экспериментальное исследование условия самоторможения .....	4
3 Экспериментальное исследование трения между различными материалами.....	6
4 Определение КПД.....	7
5 Характеристика лабораторной установки.....	8
6 Порядок выполнения работы.....	9
7 Содержание отчета .....	10
8 Контрольные вопросы .....	10
9 Литература.....	11
Приложение А .....	12

## Введение

Сила трения, это сила, препятствующая относительному движению соприкасающихся тел. Рассматривая силу трения между твёрдыми телами, различают силу трения покоя, силу трения скольжения и силу трения качения.

Если тела неподвижны друг относительно друга, то говорят о силе трения покоя  $F_{\text{тр.п}}$ . Максимальное значение силы трения покоя не зависит от площади соприкасающихся поверхностей и пропорционально силе реакции опоры  $F_{\text{тр.п.макс}} = \mu_{\text{п}} \cdot N$ , где  $\mu_{\text{п}}$  - коэффициент трения покоя.

Сила трения скольжения возникает при относительном движении соприкасающихся тел. Она также пропорциональна силе реакции опоры  $F_{\text{тр.ск}} = \mu_{\text{ск}} \cdot N$ , но коэффициент пропорциональности  $\mu_{\text{ск}}$  называется коэффициентом трения скольжения. Коэффициенты трения зависят от материала соприкасающихся поверхностей. Коэффициент трения покоя больше коэффициента трения скольжения  $\mu_{\text{п}} > \mu_{\text{ск}}$  при малых скоростях, но последний слабо растёт с увеличением скорости относительного движения.

Сила трения качения возникает, например, при качении колеса по горизонтальной поверхности. Замедление вращения возникает вследствие малой деформации цилиндрической поверхности колеса и/или поверхности качения в месте их соприкосновения. Сила трения качения также пропорциональна силе реакции опоры  $F_{\text{тр.к}} = (h/R) \cdot N$ , где  $h$  - коэффициент трения скольжения, величина, имеющая размерность длины и зависящая от состояния контактирующих поверхностей.

## 1 Цель работы

Изучить опытную зависимость между коэффициентом трения скольжения и материалом трущихся пар, вычислить коэффициент полезного действия (КПД).

## 2 Экспериментальное исследование условия самоторможения

*Требования к испытанию.* Испытание проводится на сухой поверхности без использования смазки.

*Измерительные приборы.* В качестве измерительного прибора можно использовать угломер, с ценой деления  $1^{\circ}$ .

*Образец для испытания.* Для проведения испытания приняты две пары трения с разными коэффициентами трения.

*Краткие сведения об испытании.* Установлено, что на коэффициент трения влияют: площадь контакта, продолжительность неподвижного контакта тел, скорость скольжения, род и физическое состояние трущихся тел и др. В связи с этим невозможно пользоваться справочными таблицами коэффициентов трения для определенных пар материалов, если не указаны условия, при которых получены эти коэффициенты

Известно, что одна и та же пара материалов при различных условиях может иметь резко различные коэффициенты трения. Вот почему целесообразно, рассмотреть простейшие способы опытного определения коэффициентов трения покоя.

В этом случае полученные коэффициенты трения будут отвечать условиям работы трущейся пары.

*Испытание.* Пусть на наклонной плоскости с углом  $\alpha_0$ , который можно в процессе опыта изменять, лежит тяжелое тело весом  $G$  (рисунок 1).

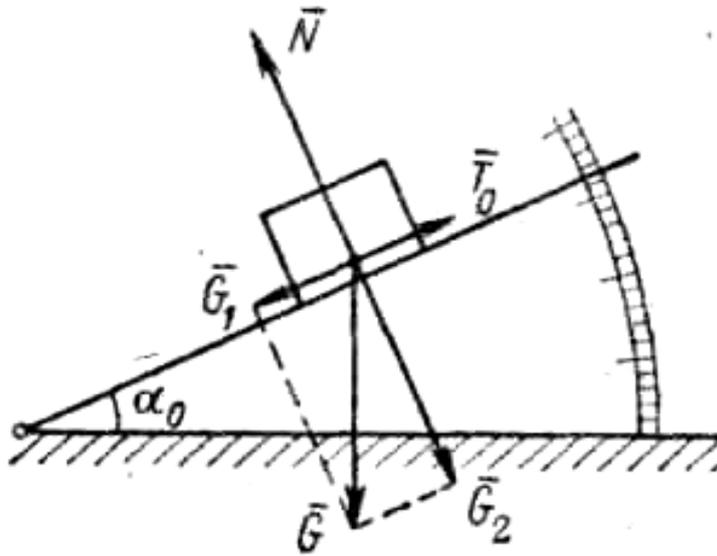


Рисунок 1 – Схема измерения

Разложим силу  $\vec{G}$  по двум направлениям:

- 1) по нормали к трущимся поверхностям

$$G_2 = G \cos \alpha_0;$$

- 2) по направлению, параллельному наклонной плоскости,

$$G_1 = G \sin \alpha_0$$

Составляющая веса  $\vec{G}_2$  вызовет со стороны плоскости нормальную реакцию  $\vec{N}$ , а в связи со стремлением тела к скольжению по плоскости возникнет сила трения

$$T_0 = f_0 N.$$

Но

$$N = G_2,$$

следовательно,

$$T_0 = f_0 G_2$$

где  $f_0$  — коэффициент трения покоя.

Составляющая веса  $\vec{G}_1$  направленная параллельно наклонной плоскости, стремится сдвинуть тело вниз по наклонной плоскости.

Если  $G_1 > T_0$ , тело будет двигаться равноускоренно; если  $G_1 < T_0$  тело будет находиться в покое; если  $G_1 = T_0$  тело будет находиться в состоянии предельного равновесия.

Определим значение угла наклонной плоскости, при котором тело будет находиться в состоянии предельного равновесия, характеризуемого равенством  $G_1 = T_0$ .

Сила трения

$$T_0 = G_1 = f_0 G_2 = f_0 G \cos \alpha_0,$$

но

$$G_1 = G \sin \alpha_0,$$

следовательно,

$$G \sin \alpha_0 = f_0 G \cos \alpha_0,$$

откуда,

$$f_0 = \frac{G \sin \alpha_0}{G \cos \alpha_0} = \operatorname{tg} \alpha_0.$$

Применяя этот способ, можно экспериментально определить коэффициент трения покоя как тангенс угла наклона плоскости, при котором тело начнет по ней скользить.

Из сказанного выше следует, что тело не будет под действием собственного веса скользить по наклонной плоскости при условии, что  $\operatorname{tg} \alpha_0 = f_0$ . Наклонная плоскость, обладающая указанным свойством, называется *самотормозящей*. Если при выполнении условия  $f_0 = \operatorname{tg} \rho_0$  начинается скольжение, можно представить условие самоторможения в виде

$$\alpha_0 \leq \rho_0$$

### 3 Экспериментальное исследование трения между различными материалами

Рассмотрим движение тела вверх по наклонной плоскости под действием силы  $F$ . Определим силу  $F$ , параллельную наклонной плоскости, в случае равномерного перемещения тела вверх по наклонной плоскости. Спроецируем силы, действующие на тело, на ось  $x$ .

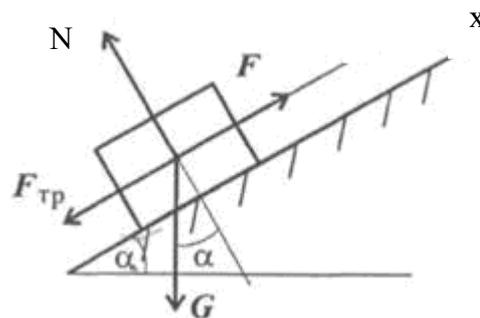


Рисунок 2 – Схема нагружения силами

Составим уравнение равновесия:

$$\sum X = 0; \quad F - G \sin \alpha - F_{\text{тр}} = 0.$$

Так как

$$F_{\text{тр}} = G \cos \alpha,$$

то

$$F = G \sin \alpha + f G \cos \alpha$$

Отсюда можно определить коэффициент трения скольжения

$$f = \frac{F - G \sin \alpha}{G \cos \alpha} = \frac{F}{G \cos \alpha} - \operatorname{tg} \alpha$$

#### 4 Определение КПД

Сила трения возникает при перемещении одного тела по-другому и всегда направлена в сторону, противоположную относительному перемещению. Зависимости от вида движения различают трение скольжения и трения качения.

При наличии сил трения и сопротивления воздуха не вся затраченная работа используется в машинах или механических устройствах. Полученная работа  $A_{п}$  всегда меньше затраченной  $A_з$ , и их отношение определяет важнейшую технико-экономическую характеристику – коэффициент полезного действия (КПД), который всегда меньше единицы и обычно измеряется десятичной дробью или в %:

$$\eta = \frac{A_з}{A_{п}} 100 \% \quad (1)$$

В этой лабораторной работе необходимо определить КПД при подъеме тела по наклонной плоскости.

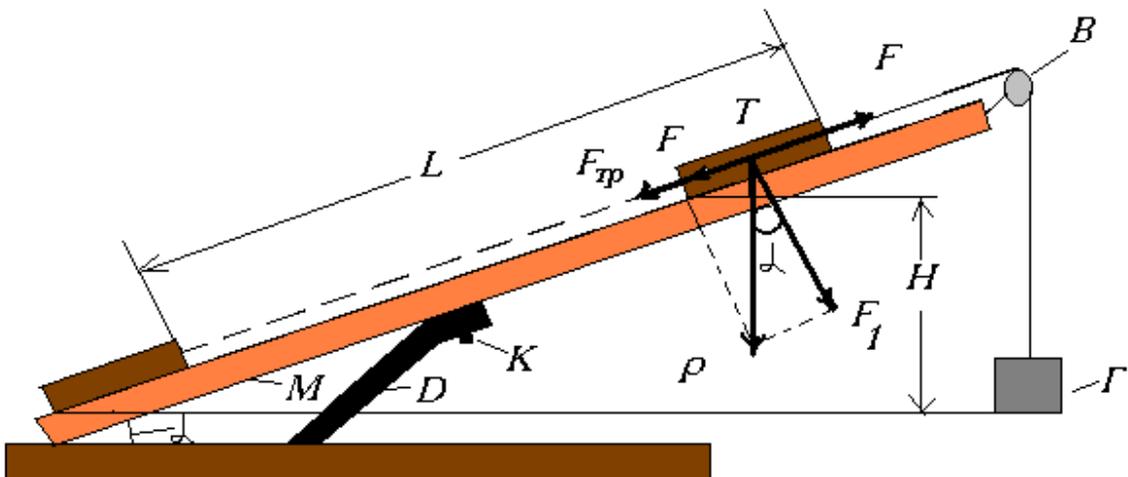


Рисунок 3 – Схема установки

На рисунке 3 приведена схема установки и расставленные силы. На основании  $M$  – плоскость, которая расположена под углом  $\alpha$ . Угол изменяется и фиксируется с помощью винта  $K$  на стержне  $D$ . Тело  $T$  и гири связаны с нитью, которая проходит через блок  $B$ . Если на подставку подвешиваем гири разных масс, то тело движется по наклонной плоскости в сторону блока  $B$ . Из рисунка 3. видно, что на тело  $T$  действует сила тяжести  $P$  с составляющими  $F_1$  и  $F_2$ , а также, сила трения  $F_{тр}$  и сила приводящая тело в движении  $F$ .

Если выполняется следующее условие:

$$F = F_2 + F_{тр} \quad (2)$$

то тело движется равномерно и перемещается на расстояния  $l$ .

В этом случае затраченная работа равна произведению силы на перемещение:

$$A_з = F \times l \quad (3)$$

Полезная работа равна произведению силы тяжести **P** на высоту **H**:

$$A_{\text{п}} = P \times H \quad (4)$$

Таким образом формулу (1) можно написать в следующем виде используя формулы (3) и (4):

$$\eta = \frac{A_{\text{п}}}{A_{\text{з}}} = \frac{PH}{Fl} 100\% \quad (5)$$

С помощью формулы (5) можем определить КПД экспериментальным путем. Для этого наклонную плоскость расположите, как приведено на рисунке 4.

## 5 Характеристика лабораторной установки

Для проведения лабораторной работы используется установка **M9** (рисунок 4).

**Приборы и принадлежности:** Наклонная плоскость, подложки из различных материалов, гири, масштабная линейка.

Объектами испытаний являются соприкасающиеся тела, выполненные в виде пластин, укрепленных на наклонной плоскости и на платформе, которая может перемещаться по наклонной плоскости (рисунок 4.).

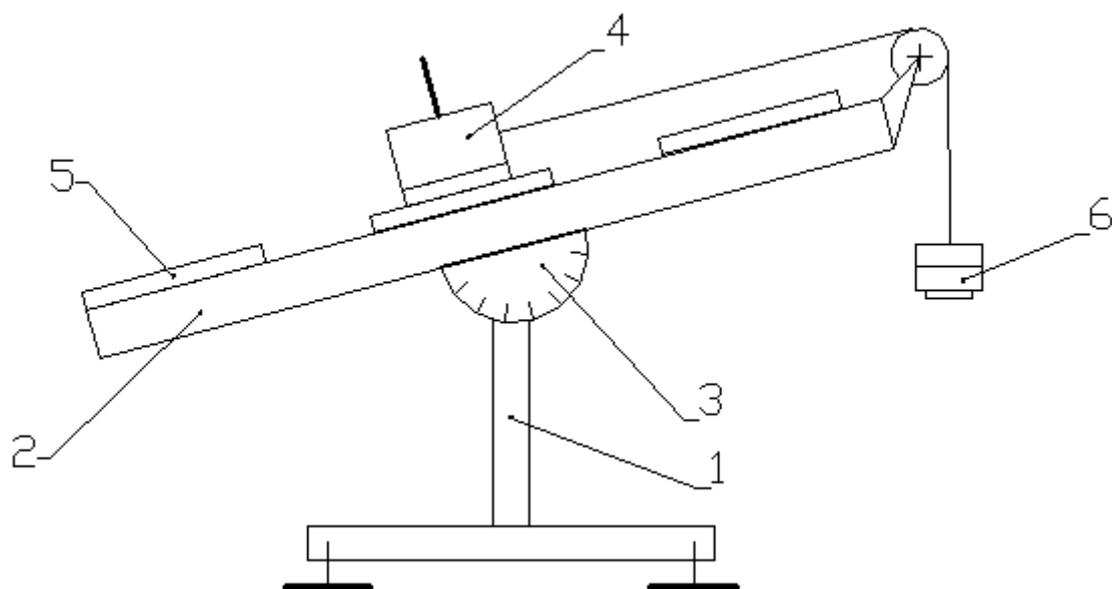


Рисунок 4 – Общий вид установки

1– Стойка; 2 – Направляющая; 3 – Шкала для определения угла наклона направляющей; 4 – Платформа; 5 – Сменная подложка; 6 – Подвес для гирь.

Платформа позволяет устанавливать грузы различного номинала, для создания нормального давления различной величины.

## 6 Порядок выполнения работы

### Вычисление коэффициента трения.

1. По заданию преподавателя установить на платформу подложку.
2. Зафиксировать для каждого опыта направляющую в наклонном положении ( $20^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ).
3. Установить на платформу для каждого опыта гирю 2 Н (4 Н).
4. Установить на подвес (вес подвеса 42 г) нагрузку (несколько гирь, последовательно увеличивая груз пока платформа не придет в движение).
5. Прodelать эксперимент для трех сочетаний трущихся поверхностей, грузов и углов наклона направляющей.
6. Занести значения веса грузов (при которых платформа пришла в движение) в таблицу 1.

Вес платформы 314 г.

Вес накладки:

ЛАТ -151 г., Текстолит – 147 г, Латунь – 220 г, Алюминиевый сплав- 160 г, Сталь – 218 г, Резина – 148 г.

Суммировать вес платформы и накладки.

Таблица 1. Значение веса, при котором платформа пришла в движение.

Угол наклона плоскости	$20^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$
Трущаяся пара № 1, (2 Н)			
Трущаяся пара № 2, (2 Н)			
Трущаяся пара № 3, (2 Н)			
Трущаяся пара № 1, (4 Н)			
Трущаяся пара № 2, (4 Н)			
Трущаяся пара № 3, (4 Н)			

7. Рассчитать коэффициент трения скольжения для различных сочетаний трущихся поверхностей, грузов и углов наклона направляющей (см. раздел 3).

8. Сделать выводы.

**Выводы.** По результатам испытания можно установить коэффициент трения скольжения для трущихся пар из различных материалов и установить зависимость от угла наклона.

### Вычисление КПД

1. Используйте 3-4 разных массы ( $m_1$ ,  $m_2$ , ... ) для нагрузки на платформу. Вес платформы с грузами

$$P = (M_{\text{п}} + m_1 + m_2) \cdot g,$$

где  $M_{\text{п}}$  – масса платформы.

2. Сила **F** равная весу суммы чашечки и гирь вычисляется по формуле:

$$F = (m_{\text{п}} + m_1 + m_2) \cdot g,$$

где  $m_{\text{п}}$  – масса подвеса.

5. С помощью масштабной линейки определяем высоту наклонной плоскости и длину как показано на рисунке 3.

6. Используя формулы (5) вычисляем КПД.

7. Положения наклонной плоскости можно изменить 4-5 раз с помощью винта **К** и для каждого случая определить КПД.

8. Графически изобразите зависимость между **H** наклонной плоскости и КПД или  $\eta = f(x)$ .

Таблица 2. Расчет КПД

№	P (Н)	M <sub>п</sub> (кг)	m <sub>i</sub> (кг)	F (Н)	H (м)	l (м)	η	Δη	$\frac{\Delta \eta_{\text{ср}}}{\eta_{\text{ср}}} \cdot 100\%$
1.									
2.									
3.									
Сред. значение									

## 7 Содержание отчета

1. Титульный лист отчета.
2. Наименование и цель работы.
3. Исходные параметры используемых грузов и подложки, основные расчетные зависимости.
4. Протокол испытания, который содержит Таблицу 1 и 2.
5. Графическое изображение зависимости между H наклонной плоскости и КПД или  $\eta = f(x)$ .
6. Выводы.

## 8 Контрольные вопросы

1. Что означает сила трения покоя? Как эту силу можно измерить на опыте? Дайте определение максимальной силы трения покоя.

2. Почему при очень хорошем качестве обработки поверхности сила трения скольжения становится больше, чем при плохом качестве? Что такое слипание?

3. Поясните, почему трение скольжения сопровождается нагреванием трущихся тел, а трение покоя – нет?

4. Как можно определить коэффициент трения, пользуясь наклонной плоскостью? Выведите формулу  $\mu_0 = \text{tg} \alpha_0$ , где  $\alpha_0$  – угол наклона плоскости, называемый «углом трения». Нарисуйте график зависимости силы трения, действующей на тело, от угла наклона плоскости в пределах от 0 до  $\pi/2$ .

5. Выведите формулу расчета коэффициента трения скольжения в данной работе.

6. Имеется наклонная плоскость высотой h. Тело массой m скатывается без начальной скорости из верхней точки. Зависит ли скорость этого тела у основания наклонной плоскости от угла, который она составляет с горизонтом, если: а) трение отсутствует; б) трение присутствует?

## 9 Литература

1. Красковский, Е.Я. Расчет и конструирование механизмов приборов и вычислительных систем : учеб. пособие / Е.Я. Красковский, Ю.А. Дружинин, Е.М. Филатова. – Москва: Высш. шк., 2001. – 480 с.
2. Роцин, Г.И. Несущие конструкции и механизмы РЭА. / Г.И. Роцин. – Москва: Высш. шк., 1981. – 375 с.
3. Анурьев, В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: в 3-х т. Т.1. / В.И. Анурьев – 9-е изд., перераб. и доп./ под ред. И.Н. Жестковой. – Москва: Машиностроение, 1979. – 928 с.
4. Пономарев, С.Д. Расчет упругих элементов машин и приборов / С.Д. Пономарев, Л.Е. Андреева. – Москва: Машиностроение, 1980.-326 с..

**Приложение А**  
(обязательное)

**Образец титульного листа**

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

Кафедра механики и графики (МиГ)

Отчет по лабораторной работе

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ**

по дисциплине «Прикладная механика»

Выполнил студент:

Иванов Иван Петрович  
группа 592-1

Проверил преподаватель:

---

Томск  
2024