

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ

**Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Севастопольский государственный университет»
Политехнический институт**

Корнеева Н.К., Глушкова ЕВ.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к лабораторной работе по теоретической механике:
«Определение коэффициента трения скольжения методом гармонических ко-
лебаний»: Метод профессора Зайцева

Севастополь
СевГУ
2017

УДК [531/534+621] (076)

ББК 22.21я73

К 672

Рецензенты:

Софийский И.Ю.- к.т.н. доцент кафедры ПУ

Скидан А.А.- к.т.н., доцент кафедры СКУ АС

Составители: Корнеева Н.К., Глушкова Л.В

К 672 Методические указания к лабораторной работе по теоретической механике «Определение коэффициента трения скольжения методом гармонических колебаний»: Метод профессора Зайцева / сост. Корнеева Н.К., Глушкова Л.В. - Севастополь : Сев ГУ, 2016. – 20 с. : ил.

В учебно-методических указаниях кратко изложена теория, необходимая для подготовки к лабораторной работе и практическому занятию по заданной теме.

Даны описания объектов исследования, последовательность выполнения лабораторной работы, расчётные зависимости и контрольные вопросы.

Предназначены для студентов 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника», 14.05.02 «Атомные станции, проектирование, эксплуатация и инжиниринг», 27.03.01 «Стандартизация и метрология», 18.03.01 «Химическая технология» дневной формы обучения, могут быть использованы для студентов 18.03.01 «Химическая технология, 27.03.01 «Стандартизация и метрология» и других специальностей изучающих теоретическую, техническую и прикладную механику.

УДК [531/534+621] (076)

ББК 22.21я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры Техническая механика и машиноведение Политехнического института.

Зав кафедрой

Пахалюк В.И.

Издательский номер 21/17

© ФГАОУ ВО Севастопольский
государственный университет

ПРЕДИСЛОВИЕ

При подготовке к выполнению лабораторной работе студенты должны ознакомиться с описанием проведения по данному руководству, изучить теоретический материал по учебникам и лекциям и представить преподавателю бланк отчета с ответами на поставленные в нем вопросы.

После окончания работы студенты представляют заполненный бланк наблюдений для подписи преподавателю.

Для получения зачета студенты должны знать теоретическое обоснование выполненной лабораторной работы, устройство и принцип действия экспериментальной установки, уметь правильно обрабатывать результаты опытов и отвечать на контрольные вопросы, приведенные в конце описания работы.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

При выполнении данной лабораторной работы студенты обязаны знать и строго соблюдать необходимые правила техники безопасности, без чего невозможно предохранять себя от несчастного случая.

Студенты допускаются к выполнению работы только после изучения правил техники безопасности и росписи в специальном журнале.

1. Перед началом очередной работы произвести внешний осмотр установки и убрать посторонние предметы, получить от преподавателя или лаборанта разъяснения о безопасном способе ее выполнения.
2. Включить схему под напряжение и производить пуск установки только с разрешения преподавателя или лаборанта.
3. Пуск электродвигателя производить только при снятой нагрузке.
4. При выполнении любой работы соблюдать осторожность, не касаться подвесных частей установки.
5. Не касаться руками оголенных токоведущих частей схемы (оголенных проводов и контактов и т.п.), находящиеся под напряжением, без применения защитных средств (резиновых перчаток, галош, коврика).
6. При отыскании повреждений и неисправностей в схеме, отключить ее от источников тока.
7. Не оставлять оголенных концов электропроводки без изоляции.
8. В случае самопроизвольного уменьшения скорости вращения электродвигателя или его остановки сразу же отключить установку от сети и доложить преподавателю или лаборанту.
9. Если при работе установки появляются стуки, то немедленно ее отключить от сети и доложить преподавателю или лаборанту.
10. При появлении запаха гари или, тем более, дыма – немедленно отключить установку от сети и сразу же доложить преподавателю или лаборанту.

По окончании работы студенты должны убрать инструменты и приборы, а установку привести в исходное состояние.

О всяком несчастном случае немедленно поставить в известность преподавателя или лаборанта и вызвать врача.

В случае поражения человека электрическим током немедленно обесточить установку и оказать первую помощь пострадавшему.

ОПИСАНИЕ И ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТЫ

Цель работы: экспериментальным путем научиться определить коэффициент трения скольжения пары материалов методом гармонических колебаний.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1.1. Виды трения.

Трение – один из видов взаимодействия тел. Оно возникает при соприкосновении двух тел.

Силами сухого трения называют силы, возникающие при соприкосновении двух твердых тел при отсутствии между ними жидкой или газообразной прослойки.

Сухое трение, в свою очередь, подразделяется на трение скольжения и трение качения.

При движении твердого тела в жидкости или газе возникает сила вязкого трения. Сила вязкого трения значительно меньше силы сухого трения.

Сила трения, возникающая при скольжении тела по шероховатой поверхности, называется силой трения скольжения при движении.

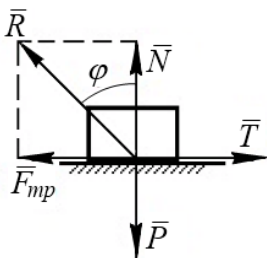


Рис.1.1

Сила трения скольжения при движении направлена противоположно относительной скорости тела и пропорциональна нормальному давлению его на опорную поверхность или нормальной реакции опоры (рис.1.1).

$$F_{mp} = f N,$$

где f – коэффициент трения скольжения при движении, или динамический коэффициент трения.

Этот коэффициент зависит от материала и состояния трущихся поверхностей, а также от относительной скорости тел.

В большинстве случаев с увеличением скорости динамический коэффициент трения покоя убывает, стремясь к некоторому пределу.

Коэффициент трения достигает своего наибольшего значения в состоянии покоя.

Углом трения φ называется наибольший угол между полной реакцией шероховатой поверхности и нормалью к ней.

Из рисунка 1.1 очевидно, что

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{F_{mp}}{N}$$

или

$$\operatorname{tg} \varphi = f$$

1.2. Вывод расчетной формулы, определяющей коэффициент трения скольжения.

Данная лабораторная работа выполняется на установке профессора Зайцева (ТММ-34), фото которой приведено ниже.

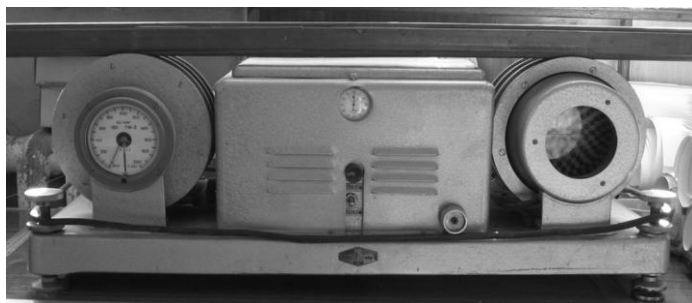


Фото установки профессора Зайцева (ТММ-34)

За расчетную основу взята задача из сборника Мещерского [2] рисунок 1.2 на котором изображена схема расположения сил.

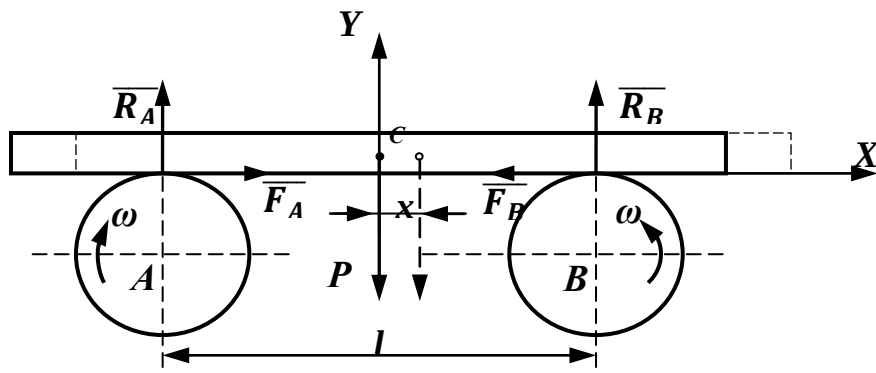


Рис 1.2

Прямоугольный брус весом P установлен горизонтально на два цилиндрических диска, которые вращающихся с угловой скоростью ω в

противоположных направлениях относительно неподвижных горизонтальных осей (рис. 1.2).

При симметричном расположении бруса относительно дисков **A** и **B** его центр масс **C** лежит на оси симметрии **Y**. Реакции **R_A** и **R_B** на брус со стороны дисков равны между собой $R_A = R_B = P/2$.

Силы трения, прикладываемые в точках касания, направлены навстречу друг другу по оси **x**.

$$F_A = fR_A; \quad F_B = fR_B;$$

Если материалы, из которых выполнены дорожки дисков одинаковы, то коэффициенты трения равны между собой. Соответственно равны между собой силы трения. Таким образом, брус уравновешен и находится в состоянии покоя.

Центр масс бруса **C** сместим относительно оси **y** на величину **x** (показано пунктиром). С помощью уравнений статики определим реакции опор **R_A** и **R_B**.

$$\begin{aligned} \sum Yk &= 0; & R_A + R_B - P &= 0 \\ \sum m_A(Fk) &= 0; & R_B * l - P(l/2 + x) &= 0 \end{aligned}$$

Откуда

$$R_B = \frac{P(l/2 + x)}{l} = \frac{P(l + 2x)}{2l}$$

$$R_A = P - \frac{P(l/2 + x)}{l} = \frac{P(l - 2x)}{2l}$$

Силы трения соответственно будут равны

$$F_A = fR_A = f \frac{P(l - 2x)}{2l} \quad (1)$$

$$F_B = fR_B = f \frac{P(l + 2x)}{2l} \quad (2)$$

Равнодействующая сила трения приводит брус в движение и равна разности сил **F_A** и **F_B**.

$$F = F_A - F_B \quad (3)$$

Поступательное движение бруса описывается теоремой о движении центра масс.

$$m \overline{W_C} = \overline{F} \quad (4)$$

Проектируем на ось **Ox** формулу (4), с учетом формулы (3) получим:

$$m \ddot{x} = F_A - F_B \quad (5)$$

Подставим значения сил трения (1) и (2) формулу (5):

$$m \ddot{x} = f \frac{P(l-2x)}{2l} - f \frac{P(l+2x)}{2l}$$

$$m \ddot{x} + \frac{2fPx}{l} = 0$$

Вводим обозначение

$$k^2 = \frac{2fPx}{ml}$$

$$k = \sqrt{\frac{2fPx}{ml}} \quad (6)$$

Получаем дифференциальное уравнение, которое записываем в стандартной форме

$$\ddot{x} + k^2 x = 0$$

Общее решение данного дифференциального уравнения имеет вид:

$$x = A \sin(kt + \alpha)$$

$$\dot{x} = Ak \cos(kt + \alpha)$$

Из этих формул видно, что брус совершает гармонические колебания. Период свободных колебаний груза определяется формулой:

$$T = \frac{2\pi}{k}$$

На основании формулы (6) получим:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{ml}{2fP}}$$

где

$$P = mg$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{2fg}}$$

Из последней формулы определяем коэффициент трения:

$$f = \frac{2\pi^2 l}{T^2 g}$$

обозначим

$$c = \frac{2\pi^2 l}{g}$$

c — величина постоянная

Окончательно получаем:

$$f = \frac{c}{T^2}$$

1.3. Определение погрешностей.

Величины g , l постоянные, будем считать, что они даны с требуемой точностью.

Относительная ошибка коэффициента трения $\delta f = \frac{\Delta f}{f} = \frac{2\Delta T}{T}$

Абсолютная ошибка $\Delta f = \delta f \cdot f$

Абсолютная величина периода колебаний T определяется как среднеарифметическое трех измерений, ΔT - среднеквадратичная ошибка этих измерений σ_T .

Среднеквадратичное отклонение $\sigma_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}}$

Среднеарифметическое значение $a_{cp} = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n}$

2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1 Схема лабораторной установки.

На схеме рисунок 2.1 кроме бруса, показанного выше, и дисков изображены приборы и инструменты, необходимые для определения периода колебаний.

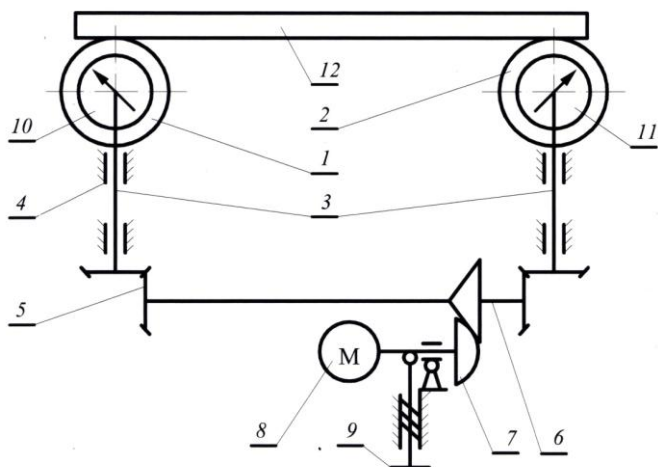


Рис 2.1

Диски 1 и 2 установлены на шарикоподшипниках 4. Привод к дискам осуществляется от электродвигателя 8 через фрикционно-грибковый вариатор 7, передающий вращение на распределительный вал 6 и далее через коническую передачу 5 на валы 3 и цилиндры 1 и 2. Диски вращаются в различных направлениях. Каждый диск имеет по 3 дорожки из различных материалов (сталь, чугун, бронза).

Образец 12 устанавливают на диски 1 и 2. Он имеет форму четырехгранного бруса, где грани выполнены из стали чугуна, бронзы и текстолита.

Таким образом, на приборе можно определить 12 комбинаций пар материалов. С помощью рукоятки грибового вариатора 9 передаточное отношение от электродвигателя к дискам можно изменять бесступенчато в 5 раз. Это дает возможность определять коэффициент трения при различных окружных скоростях дисков.

Для определения скорости вращения дисков прибор снабжен тахометром 10 типа ТМ-2 и стробоскопическим тахометром 11. Стробоскопический тахометр состоит из стробоскопического диска, укрепленного на торцевой части диска, миниатюрных лампочек, расположенных по окружности диска и цилиндрического кожуха, закрывающего лампочки и диск от дневного освещения.

Стробоскопический диск с помощью концентрических окружностей разделен на 8 кольцевых полос, которые в свою очередь разделены черными клетками на разное число частей. Внешняя кольцевая полоса - на 40, внутренняя на 8. Промежуточные кольца разделены, соответственно на 30, 24, 20, 15, 10 частей.

Питание лампочек производится от сети переменного тока с частотой 50 Гц, в следствие чего, они дают 100 вспышек в секунду (через каждую 0,01 секунду вспышка).

Если останавливается самое большое кольцо, разделенное на 40 частей, то диски делают 2,5 оборота (150 об/мин).

При 200 об/мин будет казаться, что остановилась кольцевая полоса с 30 делениями и т.д. В корпус прибора вмонтирован секундомер, с помощью которого определяется период колебаний бруса.

Приведение установки в горизонтальное положение производится винтами, пуск двигателя осуществляется тумблером с последующим нажатием пусковой кнопки.

Основные параметры прибора:

1. Диаметр шкивов 190 мм
2. Расстояние между центрами дисков 550 мм
3. Приводной электродвигатель:
 - мощность 0,180 кВт
 - напряжение 127/220 В
 - число оборотов 1420 об/мин
4. Передаточное отношение от двигателя к диску бесступенчатое от 9,5 до 1,9
5. Окружная скорость дисков от 1,5 до 12,5 м/сек
6. Вес установки 65 кг
7. Габариты 800x380x350

2.2. Проведение работы

П р и б о р ы и п р и н а д л е ж н о с т и :

Установка ТММ-84 с образцом, секундомер, стальная рулетка, штангенциркуль, бланк.

Лабораторную работу производят два человека: один работает за установкой и определяет период колебаний бруса секундомером, второй записывает результаты измерений.

В работу входит измерение коэффициента трения скольжения для одной пары материалов при трех разных окружных скоростях дисков.

Материалы и числа оборотов дисков, диаметр дисков и расстояние между центрами дисков задаются преподавателем.

П р о в е р к а р о б о т о с п о с о б н о с т и у с т а н о в к и .

Включить тумблер и нажать пусковую кнопку и держать до тех пор, пока двигатель не наберет полного числа оборотов. После этого вращением рукоятки, управляющей функциональным вариатором, постепенно увеличивают число оборотов диска до максимального значения (750 об/мин). Отсчет числа оборотов дисков ведут по стрелочному тахометру.

Проверка закончена.

2.3. Порядок выполнения работы.

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы установки.

2. Получить задание у преподавателя для выполнения работы: испытываемую пару материалов и число оборотов цилиндров.

3. Установить брус симметрично на заданные дорожки цилиндров. Для этого необходимо совместить риску на брус с указателем на корпусе установки.

4. Включить электродвигатель.

5. Маховиком вариатора установить целое число оборотов цилиндров по тахометру 10.

6. Скорректировать частоту вращения цилиндров, добиваясь неподвижного положения меток на диске стробоскопического тахометра 11.

7. Сместить брус из положения равновесия в любую сторону вдоль дорожек цилиндров. Величина смещения не должна превышать 100 мм и измеряется от риски на брус до указателя на корпусе установки. Брус начинает совершать гармонические колебания.

8. В момент, когда штрих, нанесенный на брус, будет переходить середину прибора (над стрелкой) запустить секундомер.

9. Замерить по секундомеру время десяти полных колебаний бруса

10. Выполнить пункты с 3 по 9 ещё два раза и получить три значения времени одного полного колебания бруса.

11. Выключить электродвигатель.

12. Определить время одного полного колебания

$$T = \frac{T_{10}}{10}$$

13. Определить среднее значение времени одного полного колебания бруса по формуле

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$$

14. Рассчитать коэффициент трения скольжения для заданной пары материалов по формуле

$$f = \frac{2\pi^2 l}{T^2 g}$$

где $l = 0,55$ м – межцентровое расстояние цилиндров;

$g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения

15. Определить коэффициент трения скольжения для другой пары материалов по описанной методике.

16. Вычислить для каждой окружной скорости среднеарифметическое значение одного полного периода колебаний и среднеквадратичную ошибку в его определении.

17. Вычисляют относительную и абсолютную ошибки в определении коэффициента трения.

18. Занести полученные данные в таблицу, оформить отчёт по лабораторной работе.

Журнал
проведения лабораторной работы
по теме: «**Определение коэффициента трения скольжения
методом гармонических колебаний**»

(Метод профессора Зайцева)

1. Цель работы.

2. Исходные данные и расчетные формулы.

Расстояние между центрами дисков $l =$ _____

Диаметр шкивов _____

Материал трущихся пар _____

Формулы:

3. Принципиальная схема установки
(Вычертить на занятии).

4. Измерение периода колебаний.

Таблица 1 Измерение периода колебаний

	V =					V =			
	10T, с	T, с	$\Delta T, с$	$(\Delta T)^2, с$		10T, с	T, с	$\Delta T, с$	$(\Delta T)^2, с$
1					1				
2					2				
3					3				

5. Расчеты.

$$\sum (\Delta T)^2 =$$

$$\sum (\Delta T)^2 =$$

$$\sigma_T =$$

$$\sigma_T =$$

$$T =$$

$$T =$$

$$\omega_1 =$$

$$\omega_1 =$$

$$t_1 =$$

$$t_1 =$$

$$t_2 =$$

$$t_2 =$$

$$t_3 =$$

$$t_3 =$$

$$t_{cp} =$$

$$t_{cp} =$$

$$f_1 =$$

$$\Delta f_1 =$$

$$f_2 =$$

$$\Delta f_2 =$$

$$f_3 =$$

$$\Delta f_3 =$$

$$f_{cp} =$$

$$\Delta f_{cp} = .$$

Таблица 2 Вычисление коэффициента трения

	V =	T, сек	T^2 , сек ²	$f = \frac{c}{T^2}$

Вычисление погрешностей измерения

$$\delta f = \frac{\Delta f}{f} = \frac{2\Delta T}{T} =$$

$$\Delta f = \delta f f =$$

Таблица 3. Сравнительная таблица коэффициентов трения

материал	экспериментальный коэффициент трения	коэффициент трения
сталь - сталь		0,18
сталь- чу- гун		0,16
сталь- бронза		0,18
сталь - тек- столит		0,20
чугун- чу- гун		0,16
чугун - бронза		0,21
бронза- бронза		0,20

Вывод:

К о н т р о л ь н ы е в о п р о с ы .

1. Какие силы действуют на тело, находящееся на шероховатой поверхности, при попытке переместить тело вдоль этой поверхности?
2. Что называется статической силой трения?
3. Чему равна наибольшая сила трения в покое?
4. Что такое статический коэффициент трения и от чего он зависит?
5. Каково соотношение между статической силой трения и наибольшей силой трения в покое?
6. Что называется углом трения? Чему равен тангенс этого угла?
7. Что называется конусом трения, и какому условию должна соответствовать сила, чтобы она могла сдвинуть тело?
8. Как определяется сила трения скольжения при движении тела по шероховатой поверхности?

3. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Яблонский А.А. Курс теоретической механики: Статика. Кинематика. Динамика : учеб. пособие для студ. вузов, обучающихся по техн. спец. / А. А. Яблонский, В. М. Никифорова. 11е изд., стер. Санкт-Петербург : Лань, 2004. 768 с..
2. Мещерский И.В. Сборник задач по теоретической механике. Учебное пособие. 51-е изд. — СПб.: Лань, 2012. — 448 с.
3. Прусов В.М. Учебное пособие «Статика». СВВМИУ, 1991. – 206 с.
4. Прусов. В.М. Наголюк Л.О.Статика в вопросах и ответах. СНУЯЭиП 2006. – 88 с.
5. Прусов В.М, Наголюк Л.О. Динамика. Севастополь, СНУЯЭ и П, 2006. – 412 с.