

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ВОЗДУШНОГО ТРАНСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ» (МГТУ ГА)

Кафедра технической механики и инженерной графики

В.В. Пермякова

МЕХАНИКА

Учебно-методическое пособие
по выполнению лабораторных работ

*для студентов I курса
направления 20.03.01
очной формы обучения*

Москва
ИД Академии Жуковского
2018

УДК 621.01(07)
ББК 531
П27

Рецензент:

Ю.В. Петров – д-р техн. наук, проф.

Пермякова В.В.

П27 Механика [Текст] : учебно-методическое пособие по выполнению лабораторных работ / В.В. Пермякова. – М.: ИД Академии Жуковского, 2018. – 20 с.

Данное учебно-методическое пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины «Механика» по учебному плану для студентов I курса направления 20.03.01 очной формы обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры 31.05.2018 г. и методического совета 14.06.2018 г.

УДК 621.01(07)
ББК 531

В авторской редакции

Подписано в печать 15.11.2018 г.

Формат 60x84/16 Печ. л. 1,25 Усл. печ. л. 1,16

Заказ № 357/1029-УМП02 Тираж 60 экз.

Московский государственный технический университет ГА
125993, Москва, Кронштадтский бульвар, д. 20

Издательский дом Академии имени Н. Е. Жуковского
125167, Москва, 8-го Марта 4-я ул., д. 6А
Тел.: (495) 973-45-68
E-mail: zakaz@itsbook.ru

© Московский государственный технический
университет гражданской авиации, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Успешное усвоение учебного курса «Механика» невозможно без практических навыков расчетного и экспериментального характера. Важную роль при этом играют лабораторные работы. Они занимают важное место в сложном и трудном процессе познания закономерностей и взаимосвязей механических движений. Основное назначение занятий - закрепление знаний, полученных студентами на лекциях и при работе с учебником.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1. ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ ПОКОЯ

Введение

Твёрдая плоская поверхность действует на давящее на неё тело силами, выполняющими разные функции и имеющими разное происхождение. Одна - сила нормальной реакции опоры N - препятствует проникновению тела за плоскость (нормальное направление). Другая - сила трения $F_{тр}$ - препятствует перемещению тела вдоль плоскости (тангенциальное направление). Если тело неподвижно, то говорят о силе трения покоя $F_{тр.п.}$. Эта сила имеет предельное значение, величина которого связана с силой нормальной реакции опоры соотношением $F_{тр.п.макс.} = \mu \cdot N$ (где μ - коэффициент трения покоя).

В данной работе исследуется простейший случай: кроме плоскости на исследуемое тело действует единственная сила - сила тяжести G .

Приступая к работе необходимо

Знать определения

вектора;
составляющей вектора;
нормальной и тангенциальной составляющей вектора;
вертикали и горизонтали;
силы;
равнодействующей сил.

Знать определения и свойства

силы тяжести;
силы нормальной реакции опоры;
силы трения покоя;
силы трения скольжения;
коэффициента трения покоя;
коэффициента трения скольжения.

Знать принцип действия

динамометра

Уметь

измерять расстояния с помощью линейки и рулетки;
 измерять силу динамометром;
 оценивать случайные погрешности прямых и косвенных измерений.

Цель работы

Изучение условий равновесия тела на наклонной плоскости.

Решаемые задачи

- ✓ измерение коэффициента трения покоя для двух типов поверхностей;
- ✓ проверка независимости трения покоя от площади соприкосновения трущихся поверхностей;
- ✓ проверка характера зависимости силы нормального давления на наклонную плоскость от угла наклона плоскости к горизонту.

Экспериментальная установка**Приборы и принадлежности:**

- ✓ Наклонная плоскость;
- ✓ Устройство изменения угла;
- ✓ Рулетка;
- ✓ Динамометр;
- ✓ Исследуемое тело (деревянный блок);
- ✓ Весы.

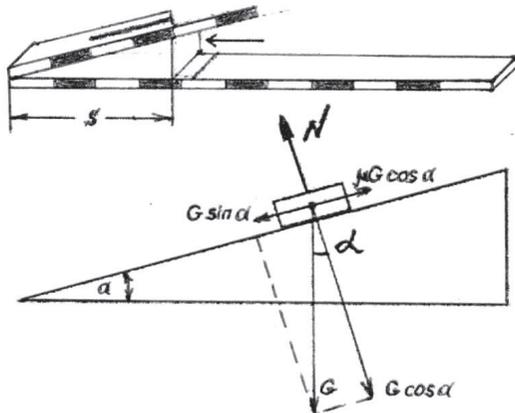


Рис 1. Идея эксперимента

Порядок выполнения работы

1. Взвесьте исследуемое тело;
2. Расположив наклонную плоскость горизонтально, измерьте силу трения покоя тела о плоскость. **Внимание!** Прикрепив динамометр к телу, медленно увеличивайте приложенную к телу силу. Максимальное достигнутое значение будет равно максимальной силе трения покоя $F_{\text{тр.п.макс.}} = \mu \cdot N$.
3. Установите наименьший угол наклона плоскости к горизонту. Установите тело на плоскость и прикрепите тело к динамометру;
4. Измерьте рулеткой катеты L и h прямоугольного треугольника, образованного наклонной плоскостью, и динамометром - величины сил, необходимых для того, чтобы приводить тело в движение вверх и вниз по плоскости. Сила трения покоя равна полусумме этих сил.
5. Увеличивая угол наклона плоскости к горизонту, выполните измерения, указанные в п. 3 - 4, еще 4 - 5 раз;
6. Повторите описанные выше действия для другой, более узкой, грани бруска;
7. Повторить описанные выше действия для другой, покрытой резиной, стороны бруска;

Обработка и представление результатов

8. Обработайте результаты измерений и представьте их в виде таблицы и графиков зависимости $F_{\text{тр.п.}}$ от $\cos\alpha$ для трех разных положений бруска.

№	h , см	L , см	tga	$\cos\alpha$	$F_{\text{вверх}}$	$F_{\text{вниз}}$	$F_{\text{тр.п.}}$	f
1								
2								
3								
...								

9. Сделайте вывод о законах, по которым подчиняется сила трения покоя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИЗМЕРЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ И КАЧЕНИЯ

Введение

Сила трения, это сила, препятствующая относительно 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 $F_{\text{тр.п. макс.}} = \mu \cdot N$ (где μ - 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 $F_{\text{тр.к}} = \mu_{\text{к}} \cdot N$, где $\mu_{\text{к}}$ - коэффициент трения скольжения.

В данной работе проверяются приведённые выше утверждения.

Приступая к работе необходимо

Знать определения

вектора;
вертикали и горизонтали;
силы;
проекция силы.

Знать определения и свойства

силы тяжести;
веса;
силы нормальной реакции опоры;
силы трения покоя;
силы трения скольжения;
силы трения качения; коэффициента трения покоя;
коэффициента трения скольжения;
коэффициента трения качения.

Знать принцип действия

динамометра

Уметь

измерять силу динамометром

Цель работы

Изучение сил трения при движении бруска по горизонтальной плоскости.

Решаемые задачи

- ✓ исследование силы трения покоя и скольжения как функции площади, веса и материала поверхности бруска;
- ✓ сравнение максимальной силы трения покоя и силы трения скольжения как функции веса бруска и определение коэффициентов трения;
- ✓ сравнение сил трения скольжения и качения как функции веса бруска и определение коэффициентов трения.

Экспериментальная установка

Приборы и принадлежности:

- ✓ два разных деревянных бруска;
- ✓ стол с ровной поверхностью;
- ✓ два динамометра с пределами 1Н и 10Н;
- ✓ 7 разновесов от 0,1 до 2 кг;
- ✓ 6 цилиндрических стержней.

*Порядок выполнения работы***Упражнение 1. Исследование силы трения покоя и силы трения скольжения в зависимости от веса, площади и материала поверхности брусков.**

1. Используя динамометр, определите вес G_1 большого деревянного бруска и вес G_2 малого бруска.
2. Поместите малый брусок поверхностью покрытой пластиком на рабочий стол.
3. Измерьте максимальную силу трения покоя тела о поверхность стола (см. Рис. 2, верх). **Внимание!** Прикрепив динамометр к телу, медленно

увеличивайте приложенную силу. Максимальное достигнутое значение силы, при которой тело остаётся неподвижным, будет равно максимальной силе трения покоя $F_{\text{тр.п.макс.}} = \mu_{\text{п}} \cdot N$.

4. Измерьте силу трения скольжения $F_{\text{тр.ск}} = \mu_{\text{ск}} \cdot N$. Она равна горизонтальной силе, заставляющей брусок равномерно двигаться (см. Рис. 2, низ).
5. Переверните брусок широкой деревянной поверхностью вниз, а затем узкой. Повторите измерения $F_{\text{тр.п.макс.}}$, $F_{\text{тр.ск}}$.
6. Повторите описанные выше действия для большого бруска.

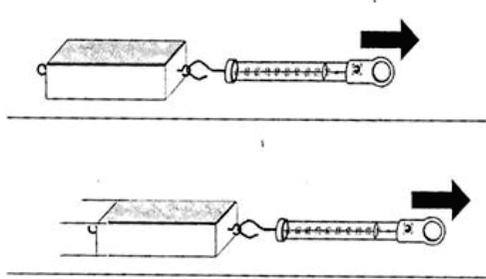


Рис. 2 Измерение максимальной силы трения покоя (верх) и силы трения скольжения (низ)

Представление и анализ результатов

7. Результаты опытов занесите в Таблицу 1.

Таблица 1. Сила трения покоя и сила трения скольжения в зависимости от веса, площади и материала поверхности бруска.

	Материал	Площадь, см ²	$F_{\text{тр.п.макс.}}$, Н	$F_{\text{тр.ск}}$, Н
G_1 , Н	Пластик	12×6		
	Дерево	12×6		
	Дерево	12×3		
G_2 , Н	Пластик	12×6		
	Дерево	12×6		

Упражнение 2. Исследование максимальной силы трения покоя и силы трения скольжения в зависимости от силы давления на поверхность.

8. Поместите большой брусок поверхностью покрытой пластиком на рабочий стол и измерьте максимальную силу трения покоя и силу трения скольжения (см. Рис. 3).
9. Увеличьте вес бруска, добавив по очереди гири 0,1 кг, 0,2 кг, 0,5 кг и 1,0 кг и повторите измерения сил трения.
10. Выполните те же самые измерения с первого пункта для деревянной поверхности бруска.
11. Результаты опытов занесите в Таблицу 2.

Таблица 2. Сила трения покоя и сила трения скольжения в зависимости от веса, площади и материала поверхности бруска.

G, Н	Сторона с пластиком		Деревянная поверхность	
	F _{тр.п.макс.} , Н	F _{тр.ск.} , Н	F _{тр.п.макс.} , Н	F _{тр.ск.} , Н

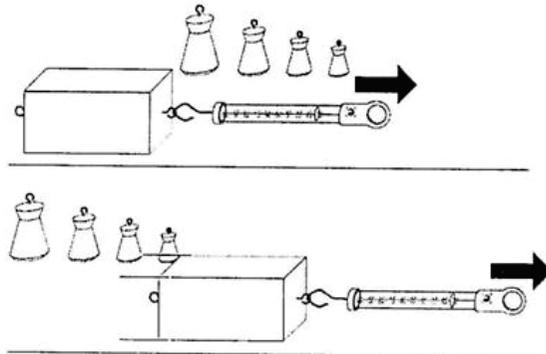


Рис. 3 Измерение максимальной силы трения покоя (верх) и силы трения скольжения (низ) в зависимости от силы тяжести.

Упражнение 3. Исследование силы трения скольжения и силы трения качения в зависимости от силы тяжести.

12. Положите стержни друг к другу (см. Рис. 4, верх). Поместите большой брусок поверхностью покрытой пластиком на стержни. Положите гири массой 0,5 кг на брусок.

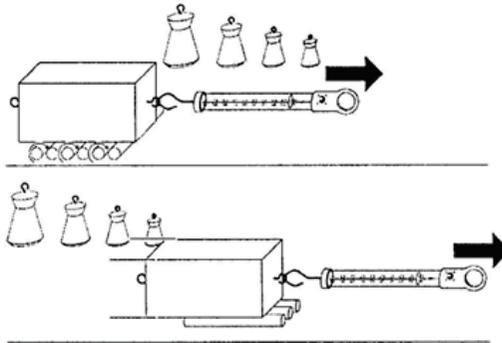


Рис. 4 Измерение силы трения качения (верх) и силы трения скольжения (низ) в зависимости от силы тяжести.

13. Измерьте силу трения качения (см. Рис. 4, верх) поддерживая однородное движение.
 14. Увеличьте вес бруска, добавив по очереди гири 1 кг, 1,5 кг и повторите измерения сил трения.
 15. Расположите брусок вдоль стержней (см. Рис. 4, низ) и проведите измерения силы трения скольжения при перечисленный выше условиях.
 16. Результаты опытов занесите в Таблицу 3.

Таблица 3. Сила трения скольжения и сила трения качения в зависимости от веса.

$G, Н$	$F_{тр.ск}, Н$	$F_{тр.к}, Н$

Представление и анализ результатов

1. Проанализируйте и сравните результаты измерений, представленные в таблице 1.
2. Постройте зависимости максимальной силы трения покоя и силы трения скольжения для двух поверхностей в зависимости от силы тяжести по данным таблицы 2.
3. Аппроксимируйте экспериментальные точки прямыми линиями, проходящими через начало координат. Наклон прямых эквивалентен коэффициентам трения $\mu_{\text{п}}$ и $\mu_{\text{ск}}$. Использование всех полученных точек позволяет повысить точность измерения.
4. Результаты вычислений занесите в Таблицу 4.

Таблица 4. Коэффициент силы трения покоя и силы трения скольжения в зависимости от материала поверхности бруса.

Материал	$\mu_{\text{п}}$	$\mu_{\text{ск}}$
Пластик		
Дерево		

5. Постройте зависимости силы трения скольжения и силы трения качения от силы тяжести (Таблица 3).
6. Аппроксимируйте экспериментальные точки прямыми линиями, проходящими через начало координат. Наклон прямых эквивалентен коэффициентам трения $\mu_{\text{ск}}$ и $\mu_{\text{к}}$. Использование всех полученных точек позволяет повысить точность измерения.
7. Результаты вычислений $\mu_{\text{ск}}$ и $\mu_{\text{к}}$ занесите в Таблицу 5.

Таблица 5. Коэффициент силы трения скольжения и силы трения качения.

Материал	$\mu_{\text{п}}$	$\mu_{\text{ск}}$
Пластик		

8. Сравните значения $\mu_{\text{ск}}$ и $\mu_{\text{к}}$.

Контрольные вопросы

1. Какая сила называется силой трения?
2. Какие виды силы трения вы знаете?
3. Когда возникает сила трения покоя? скольжения? качения?
4. Напишите формулу для вычисления силы трения скольжения. От чего зависит сила трения скольжения?

5. От чего зависит сила трения покоя? Как ее можно вычислить?
6. Как направлена сила трения скольжения?
7. Приведите примеры полезного и вредного действия сил трения покоя, скольжения, качения.
8. Как можно уменьшить трение?
9. Как зависит тормозной путь и время торможения от скорости движения тела? От силы трения? От коэффициента трения?
10. Уметь изображать силы трения на чертеже.
11. *Как зависит сила трения скольжения от скорости движения тела?
12. *Что представляет собой коэффициент трения скольжения? Какова его размерность? От чего зависит его значение?
13. Изобразите схематично график зависимости силы трения скольжения от силы реакции опоры. Как, пользуясь графиком, определить коэффициент трения скольжения?
14. *Как можно вычислить максимальную силу трения покоя?
15. *Что представляет собой коэффициент трения покоя? Сравните значение коэффициентов трения покоя и трения скольжения.
16. Как направлена сила трения покоя?
17. Какие виды трения различают при качении? При каких условиях они возникают?
18. Как определяется сила трения качения? От чего и как зависит ее величина?
19. Почему сила трения качения зависит от радиуса цилиндра?
20. Почему коэффициент трения качения зависит от шероховатости поверхности?

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3. УРАВНОВЕШИВАНИЕ ВРАЩАЮЩИХСЯ МАСС

Цель работы: изучить влияние неуравновешенных масс на работу механизма. Усвоить основы практических методов статического и динамического уравновешивания.

Оборудование и принадлежности: установка ТММ-35А с набором грузов, калькулятор.

Краткие теоретические сведения

При вращательном движении звеньев механизма могут возникать дополнительные давления в кинематических парах за счет неуравновешенности центробежных сил инерции, что приводит к возникновению переменных напряжений в элементах конструкции и вызывает колебания не только звеньев механизма и фундамента, но и соседних сооружений. Неуравновешенность возникает вследствие неправильной формы вращающегося звена, неточности изготовления или сборки, неоднородности материала и других причин, т.е. в тех случаях, когда центр масс звена смещен относительно оси его вращения.

Рассмотрим вращающийся с угловой скоростью со ротор, в котором центр масс смещен относительно оси вращения. Представим его в виде параллельных дисков, вращающихся относительно общей оси (рис. 5.1).

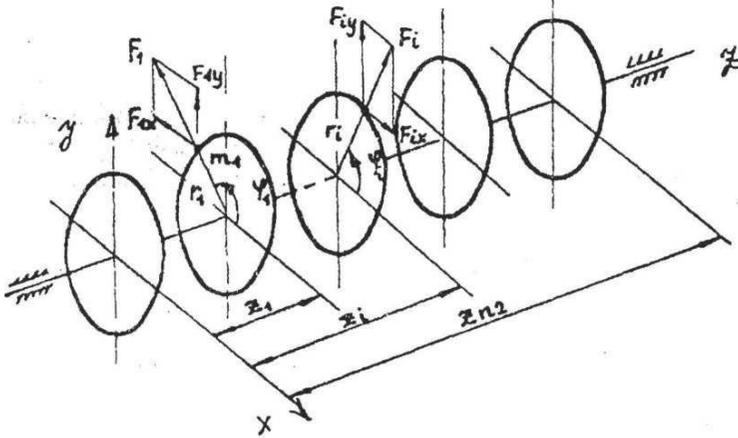


Рис. 5.1. Схема ротора

Выберем пространственную прямоугольную систему координат таким образом, чтобы ось Z, совпала с направлением оси вращения звена, а оси X и Y были расположены в произвольной плоскости, перпендикулярной оси вращения. Смещенная относительно оси вращения масса m_c может быть представлена в общем случае несколькими массами m_i с координатами x_i , y_i , z_i . Тогда величина результирующей силы инерции вращающегося звена (ротора) определится из выражения

$$F_u = \sqrt{F_{ux}^2 + F_{uy}^2} = \omega^2 \sqrt{(\sum m_i x_i)^2 + (\sum m_i y_i)^2} = \omega^2 \sqrt{(\sum m_i r_i \cos \varphi_i)^2 + (\sum m_i r_i \sin \varphi_i)^2}. \quad (5.1)$$

Величина результирующего момента сил инерции относительно опоры

$$M_u = \sqrt{M_{ux}^2 + M_{uy}^2} = \omega^2 \sqrt{(\sum m_i x_i z_i)^2 + (\sum m_i y_i z_i)^2} = \omega^2 \sqrt{(\sum m_i r_i z_i \cos \varphi_i)^2 + (\sum m_i r_i z_i \sin \varphi_i)^2} \quad (5.2)$$

где F_{ux} , F_{uy} - соответствующие проекции силы инерции на оси X и Y; M_{ux} , M_{uy} - моменты сил инерции относительно координатных осей X и Y; m_i - масса материальной точки; r_i - радиус-вектор точки; φ_i - угол, составленный радиус-вектором с положительным направлением оси OX; x_i , y_i , z_i - координаты точки; ω - угловая скорость вращения ротора.

Сила F_u и момент M_u вызывают добавочные давления в подшипниках. Эти давления непрерывно изменяют свое направление, т.к. вектор силы F_u и вектор момента M_u вращаются вместе с ротором. Для того чтобы исключить дополнительные давления в опорах и устранить вызываемые ими колебания станин и фундамента, необходимо уравновесить силу F_u и момент M_u . Этот процесс уравновешивания называется балансировкой вращающихся масс. На практике балансировку осуществляют на специальных станках.

Уравновешивание, при котором исключается влияние только результирующей силы инерции, т. е. $F_u = 0$, называется статическим уравновешиванием.

Уравновешивание, при котором исключается влияние как результирующей силы инерции, так и её момента, т.е. $F_u = 0$, $M_u = 0$, называется динамическим уравновешиванием.

Принимая в уравнении (5.1) $F_u = 0$, получаем:

$$\begin{cases} \sum m_i r_i \cos \varphi_i = m_c x_c = 0 \\ \sum m_i r_i \sin \varphi_i = m_c y_c = 0 \end{cases} \quad (5.3)$$

так как $m_c \neq 0$, то $x_c = 0$ и $y_c = 0$, где m_c - смещённая масса ротора; x_c , y_c - координаты центра масс ротора.

Таким образом, ротор будет статически уравновешен, если его центр масс лежит на оси вращения.

Если условие (5.3) не выполняется, то проводится статическое уравновешивание, для чего на роторе достаточно установить один противовес массой m_n , радиус установки r_n и угол φ_n установки которого выбирают так, чтобы выполнялось условие $\Sigma F_u = 0$:

$$\begin{cases} \sum m_i r_i \cos \varphi_i + m_n r_n \cos \varphi_n = 0 \\ \sum m_i r_i \sin \varphi_i + m_n r_n \sin \varphi_n = 0 \end{cases} \quad (5.4)$$

Выражение (5.4) является условием статического уравновешивания и представляет собой два уравнения с тремя неизвестными: m_n , r_n , φ_n . Так как в обоих уравнениях m_n и r_n встречаются только в виде произведения $m_n r_n$, легко разрешить эту систему относительно этого произведения. Считая m_n и r_n положительными, т.е. $m_n r_n > 0$, получим:

$$m_n \cdot r_n = \sqrt{(\sum m_i r_i \cos \varphi_i)^2 + (\sum m_i r_i \sin \varphi_i)^2} \quad (5.5)$$

Определив произведение $m_n r_n$, выбирают из имеющегося набора груз m_n такой массы, чтобы радиус его установки $r_n = m_n \cdot r_n / m_n$ находился в пределах от 40 до 90 мм (возможности установки).

Угол противовеса φ_n определяется из выражения (5.4) по величинам и знакам $\cos \varphi_n$ и $\sin \varphi_n$:

$$\cos \varphi_n = -\frac{\sum m_i r_i \cos \varphi_i}{m_n r_n}, \quad (5.6)$$

$$\sin\varphi_n = -\frac{\sum m_i r_i \sin\varphi_i}{m_n r_n}, \quad (5.7)$$

Выражения (5.5), (5.6), (5.7) непосредственно используются в практике статического уравнивания.

Аналогичным способом можно получить выражение для динамического уравнивания. Так как для динамически уравновешенного звена должны быть равны нулю и результирующая сила, и момент инерции, то на основании выражений (5.1) и (5.2) условие динамической уравниваемости можно записать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \sum m_i r_i \cos\varphi_i &= 0 \\ \sum m_i r_i \sin\varphi_i &= 0 \\ \sum m_i r_i z_i \cos\varphi_i &= 0 \\ \sum m_i r_i z_i \sin\varphi_i &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (5.8)$$

При невыполнении условия (5.8) требуется динамическое уравнивание, которое достигается установкой не менее двух противовесов, расположенных в разных плоскостях вращения.

При установке противовеса массой m_{n1} с координатами r_{n1} , z_{n1} , φ_{n1} и противовеса массой m_{n2} с координатами r_{n2} , z_{n2} , φ_{n2} , а также учитывая, что каждый противовес создаёт дополнительную силу инерции и дополнительный момент силы инерции, условие динамической уравниваемости запишется в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} \sum m_i r_i \cos\varphi_i + m_{n1} r_{n1} \cos\varphi_{n1} + m_{n2} r_{n2} \cos\varphi_{n2} &= 0 \\ \sum m_i r_i \sin\varphi_i + m_{n1} r_{n1} \sin\varphi_{n1} + m_{n2} r_{n2} \sin\varphi_{n2} &= 0 \\ \sum m_i r_i z_i \cos\varphi_i + m_{n1} r_{n1} z_{n1} \cos\varphi_{n1} + m_{n2} r_{n2} z_{n2} \cos\varphi_{n2} &= 0 \\ \sum m_i r_i z_i \sin\varphi_i + m_{n1} r_{n1} z_{n1} \sin\varphi_{n1} + m_{n2} r_{n2} z_{n2} \sin\varphi_{n2} &= 0 \end{aligned} \right\}. \quad (5.9)$$

Совместив начало координат ($Z=0$) с плоскостью установки первого противовеса, получим $Z=0$, и два последних уравнения системы (5.9) приобретают вид:

$$\left. \begin{aligned} m_{n2} r_{n2} z_{n2} \cos\varphi_{n2} &= -\sum m_i r_i z_i \cos\varphi_i \\ m_{n2} r_{n2} z_{n2} \sin\varphi_{n2} &= -\sum m_i r_i z_i \sin\varphi_i \end{aligned} \right\} \quad (5.10)$$

Возведя в квадрат левые и правые части системы (5.10) и почленно просуммировав, получим (считая $m_{n2} r_{n2} > 0$):

$$m_{n2} \cdot r_{n2} = \sqrt{\frac{(\sum m_i r_i z_i \cos\varphi_i)^2 + (\sum m_i r_i z_i \sin\varphi_i)^2}{z_{n2}}}. \quad (5.11)$$

По аналогии со статическим уравниванием определяются конкретные значения m_{n2} и r_{n2} .

По полученному произведению m_{n2} и r_{n2} из выражений (5.10) определим значения $\cos\varphi_{n2}$, $\sin\varphi_{n2}$

$$\cos\varphi_{n2} = -\frac{\sum m_i r_i z_i \cos\varphi_i}{m_{n2} r_{n2} z_{n2}} \quad (5.12)$$

$$\sin\varphi_{n2} = -\frac{\sum m_i r_i z_i \sin\varphi_i}{m_{n2} r_{n2} z_{n2}} \quad (5.13)$$

По величинам и знакам $\cos\varphi_{n2}$ и $\sin\varphi_{n2}$ определяется значение угла установки второго противовеса φ_2 .

Аналогично, решив первые два уравнения системы (5.9) относительно произведения $m_{n1}r_{n1}$ при $m_{n1}r_{n1} > 0$, получим:

$$m_{n1}r_{n1} = \frac{\sqrt{(\sum m_i r_i z_i \cos\varphi_i + m_{n2} r_{n2} z_{n2} \cos\varphi_{n2})^2 + (\sum m_i r_i \sin\varphi_i + m_{n2} r_{n2} \sin\varphi_{n2})^2}}{(5.14)}$$

Значение угла установки первого противовеса определим по величинам и знакам $\cos\varphi_{n2}$ и $\sin\varphi_{n2}$.

Из первых двух уравнений (4.9) имеем:

$$\cos\varphi_{n1} = -\frac{\sum m_i r_i \cos\varphi_i + m_{n2} r_{n2} \cos\varphi_{n2}}{m_{n1} r_{n1}} \quad (5.15)$$

$$\sin\varphi_{n1} = -\frac{\sum m_i r_i \sin\varphi_i + m_{n2} r_{n2} \sin\varphi_{n2}}{m_{n1} r_{n1}} \quad (5.16)$$

Полученные шесть выражений (5.11) - (5.16) используются для расчёта динамического уравновешивания.

Описание установки ТММ-35А

Установка ТММ-35А состоит из следующих основных узлов: ротора, фрикционного привода, плиты со стойками. Ротор представляет собой вал, на котором установлено пять алюминиевых дисков 2 (рис. 5.2) на расстоянии 80 мм друг от друга. В осевом направлении диски фиксируются лимбами, жёстко закреплёнными на валу. Лимбы проградуированы по образующей через два градуса, а ступица дисков имеет риску, по которой выставляется необходимый угол поворота диска. Фиксация дисков осуществляется винтами. Диски имеют два сквозных паза, расположенных под углом 180°: один - для крепления грузов, другой - для уравновешивания диска. На диске рядом с пазами крепления груза установлена шкала 3, позволяющая определить значение радиуса, на котором находится груз. Вал с дисками (ротор) смонтирован на двух стойках. Левый конец вала закреплён в сферическом шарикоподшипнике, позволяющем валу, кроме вращательного движения, осуществлять поворот в горизонтальной плоскости. Правый конец вала закреплён в радиальном шарикоподшипнике, смонтированном в каретке 4. Каретка может перемещаться на роликах 5 по направляющей 6 в горизонтальной плоскости и удерживается в центральном положении при помощи пружин растяжения 7, регулируемых винтами 8.

Вращение ротора осуществляется от электродвигателя 9 посредством

фрикционной передачи. Электродвигатель смонтирован у левой стойки на качающемся рычаге 10. Под рычагом установлена пусковая кнопка. Нажатием рукоятки рычага «вниз» фрикционный диск прижимается к шкиву 1 и включается электродвигатель, разгоняющий ротор. При освобождении рукоятки под действием веса электродвигателя и пружины фрикцион отжимается и электродвигатель выключается.

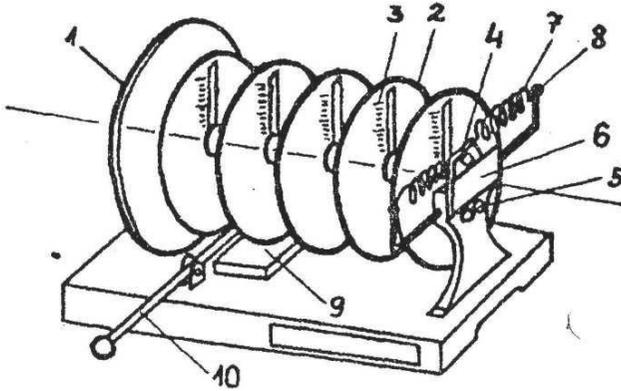


Рис. 5.2. Схема установки

Основные параметры установки ТММ-35А

1. Максимальная амплитуда колебаний каретки вала, мм	50
2. Число оборотов ротора, об/мин	710
3. Радиус установки грузов (противовесов), мм	40 - 90
4. Цена деления радиальной шкалы установки грузов, мм	1
5. Масса грузов, г	40, 50, 60, 70
6. Цена деления угловой шкалы дисков ротора, град	2
7. Расстояние между дисками, мм	80
8. Электропитание:	
напряжение, В	220
мощность, Вт	40

Порядок проведения работы

1. Установите грузы m_i , создающие неуравновешенность, согласно заданию преподавателя. Массы и координаты грузов запишите в табл. 5.1.
2. Убедитесь в статической неуравновешенности ротора, для чего поверните его на произвольный угол. Ротор придёт во вращательное движение, и это движение будет продолжаться, пока он не займёт единственное устойчивое положение.

Контрольные вопросы

1. В чём причины неуравновешенности механизма?
2. К чему приводит неуравновешенность механизма?
3. Какое уравнивание называется статическим?
4. Как убедиться практически в наличии (или отсутствии) статического уравнивания вращательного звена?
5. Какое уравнивание называется динамическим?
6. Моменты сил инерции относительно каких осей создают динамические реакции опор?
7. Как произвести статическое или динамическое уравнивание системы масс, вращающихся в одной плоскости?
8. Какое минимальное количество противовесов необходимо для статического и динамического уравнивания системы масс, вращающихся в параллельных плоскостях?

Библиографический список

1. Бутенин Н.В., Лунц Я.Л., Меркин Д.Р. Курс теоретической механики. В двух томах. - СПб.: Издательство «Лань», 2009.-736 с.
2. Диевский В.А. Теоретическая механика: Учебное пособие. 3-е изд., испр. - СПб.: Издательство «Лань», 2009.- 320 с.: ил.
3. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для вузов. - М.: Высш. шк., 2005.-416 с.

Содержание

Введение	3
Лабораторная работа №1. Измерение коэффициента трения покоя	3
Лабораторная работа №2. Измерение коэффициентов трения скольжения и качения	6
Лабораторная работа №3. Уравновешивание вращающихся масс	12
Контрольные вопросы	19
Библиографический список	19