

Министерство образования и науки Российской Федерации
(МИНОБРНАУКИ РОССИИ)
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (ТГУ)
Физико-технический факультет

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ
Ч. 1 Статика

Методические указания

Томск – 2013

УДК 531.2(075.8)
ББК 22.21. Я73
Л 125

Рассмотрены и утверждены методической комиссией физико-технического факультета Томского государственного университета.

Председатель комиссии
профессор, д. ф.-м. н.

В.А. Скрипняк

Рекомендованы кафедрой прикладной аэромеханики ТГУ для студентов, обучающихся по программам базового образования 151600 – «Прикладная механика», 223200 – «Техническая физика», 221000 – «Механотроника и робототехника», 161700 – «Баллистика и гидроаэродинамика» в Томском государственном университете.

Зав. кафедрой прикладной аэромеханики
профессор

И.М. Васенин

Методические указания «Лабораторные работы по теоретической механике (ч. 1. Статика)» разработано для студентов, изучающих курсы ДН(М).Ф.2 – «Теоретическая механика» в рамках программ базового образования 151600 – «Прикладная механика», 223200 – «Техническая физика», 221000 – «Механотроника и робототехника», 161700 – «Баллистика и гидроаэродинамика», дневной формы обучения.

В пособии рассмотрены методы определения величины и направления сил, действующих на тело в состоянии равновесия.

Составители:

профессор кафедры прикладной аэромеханики ФТФ Глазунов А.А.

доцент кафедры прикладной аэромеханики ФТФ Мерзляков А.В.

Старший преподаватель кафедры прикладной аэромеханики ФТФ Еремин И.В.

ВВЕДЕНИЕ

В данной работе представлены методические указания и инструкции для проведения лабораторных работ по теоретической механике – раздел «Статика». Лабораторные работы проводятся на комплекте оборудования ЛКТМ-1 фирмы «Владис». Основным элементом оборудования – установка для конфигурирования систем сил и их измерения (см. рис. 1). На фотографии 1 – планшет для графического отображения сил, 2 – лебедки для создания и измерения сил, 3 – ролики для изменения направления сил, создаваемых лебедками. Помимо основной установки в комплект входят наборы тел разной формы и измерительные приборы.

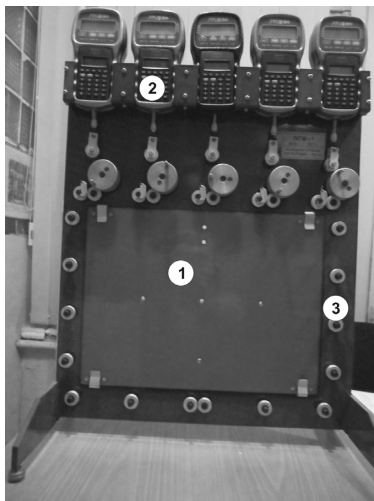


Рис. 1

Суть всех работ в том, чтобы, используя лебедки и ролики, создать систему сил, действующих определенным образом на твердое тело. Направление сил можно зафиксировать с помощью листа масштабной координатной бумаги, закрепленной в планшете, их величину – измерить с помощью лебедок. Кроме того, величину приложенных сил также можно определить расчетным путем по известным формулам теоретической механики. Лабораторные работы должны показать, насколько можно быть уверенным в правильности этих формул.

В разделе «Статика» описаны три лабораторные работы, которые выполняются с помощью комплекта ЛКТМ-1: исследование системы сходящихся сил, исследование системы параллельных сил, исследование произвольной системы сил. Результаты работы полностью согласовываются с теоретическими формулами.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №1
**ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ СИСТЕМЫ
СХОДЯЩИХСЯ СИЛ**

Цель работы: опытным путем проверить выполнение условия равновесия системы сходящихся сил.

Система сходящихся сил – система сил, линии действия которых пересекаются в одной точке (см. рис. 1). Если к твердому телу приложена такая система сил, то тело будет находиться в равновесии, когда выполнится условие:

$$\sum \vec{F}_i = 0 \quad (1.1)$$

В случае плоской системы сил данное векторное равенство можно заменить двумя скалярными равенствами:

$$\sum X_i = 0; \quad \sum Y_i = 0; \quad (1.2)$$

где X_i, Y_i – проекции сил на координатные оси.

Для системы сходящихся сил справедлива **теорема о трех силах**:

Если твердое тело находится в равновесии под действием трех сил, то:

- 1) вектора этих сил лежат в одной плоскости;***
- 2) линии действия этих сил пересекаются в одной точке.***

Кроме того, в этом случае векторное равенство (1.1) сводится к построению замкнутого силового треугольника, из решения которого можно определить силы, действующие на тело.

Именно эти два положения лежат в основе данной лабораторной работы. Твердое тело висит на двух нитях и находится под действием силы тяжести (см. рис. 3). Все силы можно измерить, их линии действия можно изобразить. Первая задача работы – в том, чтобы путем построения убедиться, что линии действия сил пересекутся в одной точке.

По линиям действия сил можно постро-

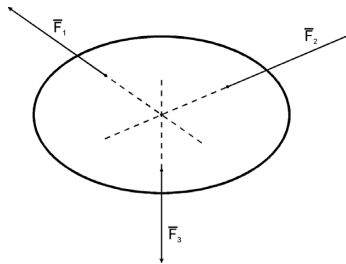


Рис. 2

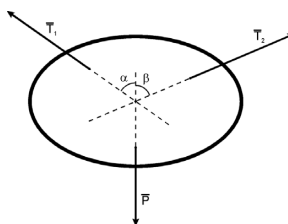


Рис. 3

ить силовой треугольник (см. рис. 4). Определив силу тяжести и измерив углы α и β , можно записать для треугольника теорему синусов:

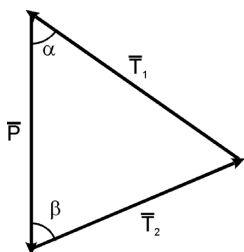


Рис. 4

$$\frac{P}{\sin(\alpha + \beta)} = \frac{T_1}{\sin(\beta)} = \frac{T_2}{\sin(\alpha)}$$

откуда легко определяются силы натяжения нитей:

$$T_1 = \frac{P \cdot \sin(\beta)}{\sin(\alpha + \beta)}; \quad T_2 = \frac{P \cdot \sin(\alpha)}{\sin(\alpha + \beta)} \quad (1.3)$$

Вторая задача работы заключается в сравнении сил натяжения нитей, полученных опытным путем и определенных из выражений (1.3). Величины сил определяются с помощью весов прибора (в кг), их значения на весах из-за особенностей конструкции отличаются от реальных в 2 раза. На результатах работы это отличие не сказывается.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Установить прибор на столе и привести его в вертикальное положение:
 - а. Нить средней лебедки с висящем на ее конце крючком, пропущенная через зазор верхней средней пары роликов, свободно проходит через зазор нижней пары роликов, не касаясь этих роликов.
 - б. Все четыре ножки опираются на поверхность стола, установка не шатается.
2. Включить среднюю лебедку, сбросить шкалу, подвесить выданное преподавателем тело за крючок и определить силу P . Записать ее в отчет.
3. Вставить в зажимы лист миллиметровки, выровнять его так, чтобы его линии были вертикальными и горизонтальными.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить указанные преподавателем две лебедки, сбросить их шкалы, если понадобится – пропустить нити через указанные пары роликов.
2. Подвесить тело на крючках нитей за отверстия, указанные преподавателем.

3. Натягивать лебедками нити до указания преподавателя.
4. На миллиметровке карандашом отметить положение центра тяжести тела и положение нитей (для каждой – двумя точками).
5. Определить по весам экспериментальные значения сил T_1 и T_2 , занести в отчет.
6. Снять тело с установки, привести лебедки в исходное положение, снять миллиметровку с установки.
7. Провести на миллиметровке карандашом линии действия сил: сила P – вдоль вертикальной линии через отмеченный центр тяжести, силы натяжения нитей – по отметкам.
8. Убедиться, что линии действия сил T_1 и T_2 пересекаются внутри треугольника со стороной не более 5 мм.
9. Транспортиром измерить величины углов α и β , занести в отчет.
10. По формулам (1.3) определить расчетные значения сил T_1 и T_2 , занести в отчет.
11. Определить относительные погрешности определения T_1 и T_2 .

Приложение. Таблица отчета.

Эксперимент					Расчет			
P	T_1	T_2	α	β	T_1	T_2	ε_1	ε_2

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №2
ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ СИСТЕМЫ
ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ СИЛ

Цель работы: опытным путем проверить выполнение условия равновесия системы параллельных сил.

Система параллельных сил – система сил, линии действия которых параллельны, хотя сами силы могут быть направлены в разные стороны (см. рис. 5). Если к твердому телу приложена такая система сил, то тело будет находиться в равновесии, когда выполняются условия:

$$\sum G_i = \sum Q_j \quad (2.1)$$

$$\sum G_i \cdot \vec{r}_i = \sum Q_j \cdot \vec{d}_j$$

В случае плоской системы сил можно ввести координатную ось Ox , перпендикулярную линиям действия сил, тогда указанные условия примут следующий вид:

$$\sum G_i = \sum Q_j \quad (2.2)$$

$$\sum G_i \cdot x_i = \sum Q_j \cdot x'_j$$

где x_i, x_j – координаты точек пересечения линий действия сил с координатной осью (см. рис. 6).

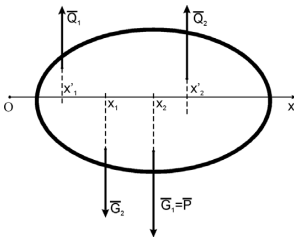


Рис. 7

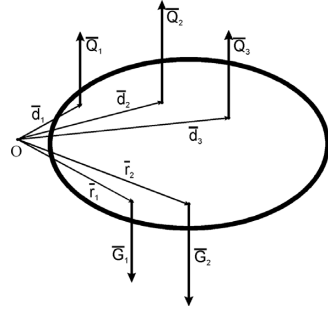


Рис. 5

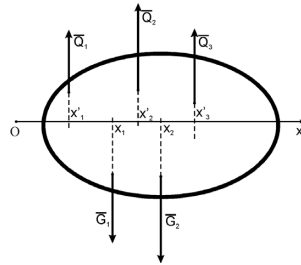


Рис. 6

Именно эти два равенства лежат в основе данной лабораторной работы. Твердое тело висит на трех нитях и находится под действием силы тяжести (см. рис. 7). Все силы можно измерить, их линии действия можно изобразить. Первая задача работы – в том, чтобы определить силы, действующие

щие в каждую сторону, и убедиться в справедливости первого равенства из (2.2).

Перпендикулярно линиям действия сил можно построить координатную ось и выбрать ее начало, после чего определить координаты x_i и x'_j . Вторая задача работы заключается в подстановке сил и координат во второе равенство (2.2) и проверке его справедливости. Величины сил определяются с помощью весов прибора (в кг), их значения на весах из-за особенностей конструкции отличаются от реальных в 2 раза. На результатах работы это отличие не сказывается.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Установить прибор на столе и привести его в вертикальное положение:
 - a. Нить средней лебедки с висящем на ее конце крючком, пропущенная через зазор верхней средней пары роликов, свободно проходит через зазор нижней пары роликов, не касаясь этих роликов.
 - b. Все четыре ножки опираются на поверхность стола, установка не шатается.
2. Включить среднюю лебедку, сбросить шкалу, подвесить выданное преподавателем тело за крючок и определить вес тела P . Записать его в отчет.
3. Вставить в зажимы лист миллиметровки, выровнять его так, чтобы его линии были вертикальными и горизонтальными.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить указанные преподавателем три лебедки, сбросить их шкалы, если понадобится – пропустить нити через указанные пары роликов.
2. Подвесить тело на крючках нитей за отверстия, указанные преподавателем.
3. Натягивать лебедками нити до тех пор, пока тело не будет висеть горизонтально.
4. На миллиметровке карандашом отметить положение центра тяжести тела и положение нитей (по крючкам), указать также направления сил в каждой точке.
5. Определить по весам экспериментальные значения сил натяжения нитей, занести в отчет на нужные места.

6. Снять тело с установки, привести лебедки в исходное положение, снять миллиметровку с установки.
7. Провести на миллиметровке карандашом линии действия сил вдоль вертикальной линии, указать направления.
8. Провести координатную ось Ox вдоль горизонтальной линии так, чтобы она пересекла линии действия всех сил; начало поставить на краю миллиметровки.
9. Определить координаты точек пересечения линий действия сил и оси в мм, занести в отчет на нужные места.
10. Подставить данные из таблицы в равенства (2.2), подсчитать полученные значения.
11. Определить расхождения сторон равенств в %.

Приложение. Таблица отчета.

Низ						Верх					
$G_1=P$	x_1	G_2	x_2	$\sum G_i$	$\sum G_i \cdot x_i$	Q_1	x'_1	Q_2	x'_2	$\sum Q_j$	$\sum Q_j \cdot x'_j$

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №3
ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЯ РАВНОВЕСИЯ ПРОИЗВОЛЬНОЙ СИСТЕМЫ СИЛ

Цель работы: опытным путем проверить выполнение условия равновесия произвольной системы сил.

В том случае, когда твердое тело находится под действием произвольной системы сил (т.е. когда модули сил, их направления и точки приложения никак друг от друга не зависят) для упрощения расчетов систему приводят к произвольно выбранному центру O (см. рис. 1). Если твердое тело находится в равновесии под действием произвольной системы сил, то должны выполняться условия:

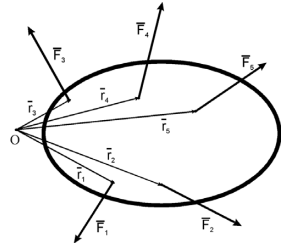


Рис. 8

$$\begin{aligned} \sum \vec{F}_i &= 0 \\ \sum \vec{r}_i \times \vec{F}_i &= 0 \end{aligned} \quad (3.1)$$

В случае плоской системы сил данное векторное равенство можно заменить тремя скалярными равенствами:

$$\sum X_i = 0; \quad \sum Y_i = 0; \quad \sum L_i = 0; \quad (3.2)$$

где X_i , Y_i – проекции сил на координатные оси, L_i – моменты сил относительно центра приведения O .

Модули моментов вычисляются по формуле:

$$L_i = F_i \cdot h_i \quad (3.3)$$

где F_i – модуль силы, h_i – ее плечо относительно центра приведения O (расстояние от центра до линии действия силы). Знак момента определяется так: “+” – когда сила поворачивает тело вокруг центра против часовой стрелки, “-” – когда сила поворачивает тело вокруг центра по часовой стрелке. Для примера на рис. 9 изображе-

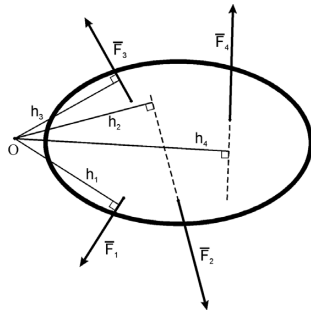


Рис. 9

ны силы, действующие на тело, и их плечи. Равенство для моментов в этом случае выглядит так:

$$-F_1 \cdot h_1 - F_2 \cdot h_2 + F_3 \cdot h_3 + F_4 \cdot h_4 = 0$$

Задачей данной лабораторной работы является экспериментальная проверка справедливости равенств (3.2). Твердое тело висит на трех нитях и находится под действием силы тяжести (см. рис. 10). Все силы можно измерить, их линии действия можно изобразить. С помощью построенной системы координат можно определить все проекции сил,

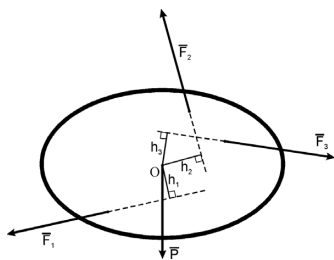


Рис. 10

непосредственно из рисунка – их плечи относительно выбранной точки (в данной работе – относительно центра тяжести тела).

Величины сил определяются с помощью весов прибора (в кг), их значения на весах из-за особенностей конструкции отличаются от реальных в 2 раза. На результатах работы это отличие не сказывается.

ПОДГОТОВКА К ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ

1. Установить прибор на столе и привести его в вертикальное положение:
 - а. Нить средней лебедки с висящем на ее конце крючком, пропущенная через зазор верхней средней пары роликов, свободно проходит через зазор нижней пары роликов, не касаясь этих роликов.
 - б. Все четыре ножки опираются на поверхность стола, установка не шатается.
2. Включить среднюю лебедку, сбросить шкалу, подвесить выданное преподавателем тело за крючок и определить силу P . Записать ее в отчет.
3. Вставить в зажимы лист миллиметровки, выровнять его так, чтобы его линии были вертикальными и горизонтальными.

ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТЫ

1. Включить указанные преподавателем три лебедки, сбросить их шкалы, если понадобится – пропустить нити через указанные пары роликов.
2. Подвесить тело на крючках нитей за отверстия, указанные преподавателем.
3. Натягивать лебедками нити до указания преподавателя.
4. На миллиметровке карандашом отметить положение центра тяжести тела и положение нитей (для каждой – двумя точками), указать направление каждой силы.
5. Определить по весам экспериментальные значения сил F_1 , F_2 , F_3 , занести в отчет.
6. Снять тело с установки, привести лебедки в исходное положение, снять миллиметровку с установки.
7. Провести на миллиметровке карандашом линии действия сил: сила P – вдоль вертикальной линии через отмеченный центр тяжести, силы натяжения нитей – по отметкам.
8. Провести систему координат: ось Ox – вправо по горизонтали, ось Oy – вверх по вертикали.
9. Транспортиром измерить величины углов, образованных векторами сил с положительным направлением осей (α - для Ox , β - для Oy), занести в отчет.

10. Построить с помощью треугольника плечи сил относительно центра тяжести тела, измерить их в мм, занести в отчет
11. По формулам $X_i = F_i \cos \alpha_i; Y_i = F_i \cos \beta_i$ определить проекции сил на оси, занести в отчет.
12. По формулам (2.3) определить моменты сил, занести в отчет со своими знаками.
13. Рассчитать суммарные значения проекций и моментов, сделать вывод о близости их к нулю.

Приложение. Таблица отчета.

Силы	Модуль	$\alpha, ^\circ$	$\beta, ^\circ$	h, мм	X	Y	L
P		90	180	0	0		0
F ₁							
F ₂							
F ₃							
				Σ			

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутенин Н. В., Лунц Я. Л., Меркин Д. Р. Курс теоретической механики. В двух томах. Т. 1. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979. 272 с.
2. Бухгольц Н. Н. Основной курс теоретической механики. Ч. 1. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1965. 468 с.

Издание вышло в свет в авторской редакции

Отпечатано на участке оперативной полиграфии
Издательского Дома Томского государственного университета

Заказ № 80 от «5» декабря 2013 г. Тираж 100 экз.