

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ  
ПЛОСКОЙ СИСТЕМЫ СХОДЯЩИХСЯ СИЛ**

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  
Л94. 2

**Рецензент:**

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

**Люкшин, Борис Александрович**

Л94. 2      Определение равнодействующей плоской системы сходящихся сил: 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. – 10 с.

Методические указания представляют собой руководство по выполнению лабораторных и самостоятельных работ для студентов, изучающих дисциплины «Прикладная механика». В пособии рассмотрена последовательность выполнения лабораторной работы по определению равнодействующей силы системы сил экспериментально и аналитически.

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 Характеристика лабораторной установки.....	6
3 Краткие теоретические сведения .....	4
4 Порядок выполнения работы.....	7
5 Содержание отчета .....	7
6 Варианты задания .....	7
7 Контрольные вопросы .....	9
8 Литература.....	9
Приложение А .....	10

## Введение

Система сходящихся сил – это система, образованная силами, линии действия которых пересекаются в одной точке.

Решение многих задач механики связано с известной из векторной алгебры операцией сложения векторов и, в частности, сил. Величину, равную геометрической сумме сил какой-нибудь системы, будем называть главным вектором этой системы сил. Произвольная система сил приводится в общем случае к главному вектору и главному моменту. Лишь в том случае, когда главный момент равен нулю, главный вектор является равнодействующей, т.е. одной силой, заменяющей всю систему сил. Поэтому понятие о геометрической сумме сил не следует смешивать с понятием о равнодействующей, например, для пары сил равнодействующей вообще не существует, геометрическую же сумму (главный вектор) можно вычислить для любой системы сил.

Когда речь идет о системе сходящихся в точке сил, то момент каждой из них относительно этой точки равен нулю, и главный момент в итоге тоже равен нулю. В этом случае геометрическая сумма сил становится равнодействующей.

Исследование любой системы сил начинают с определения взаимного расположения сил. Если линии действия всех сил расположены в одной плоскости и пересекаются в одной точке, то они образуют плоскую систему сходящихся сил.

Силы, действующие на абсолютно твёрдое тело, допускаются переносить вдоль линии их действия, поэтому сходящиеся силы можно всегда приложить в точке пересечения их линий действия. Последовательно складывая сходящиеся силы, плоскую систему сходящихся сил приводят к одной равнодействующей.

Один из главных вопросов при исследовании системы сил – является ли данная система сил уравновешенной или неуравновешенной. Необходимым и достаточным условием уравновешенности системы сходящихся сил является равенство нулю их равнодействующей силы. Материальная точка, к которой приложена уравновешенная система сил, находится в состоянии покоя или прямолинейного равномерного движения.

## 1 Цель работы

Экспериментальным путем подтвердить теорему о возможности приведения системы сходящихся сил к равнодействующей силе.

## 2 Краткие теоретические сведения

Система сходящихся сил имеет равнодействующую, равную геометрической сумме (главному вектору) этих сил и приложенную к точке пересечения их линии действия:

$$\bar{R} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \dots + \bar{F}_n,$$

где  $\bar{R}$  - вектор равнодействующей силы;  $\bar{F}_1, \bar{F}_2, \dots, \bar{F}_n$  - векторы сходящихся сил.

Последовательность, в которой складываются сходящиеся силы, не влияет на конечный результат, то есть на величину и направление равнодействующей сходящихся сил. Для нахождения равнодействующей в векторной форме удобнее и проще пользоваться силовым многоугольником.

### Условие равновесия в геометрической форме.

Для построения силового многоугольника от конца вектора одной из сил (любой) отложить вектор, равный вектору другой силы и так далее, пока не будут отложены векторы всех сходящихся сил (параллельный перенос векторов сил). Для нахождения равнодействующей системы сил нужно соединить начало первого вектора с концом последнего отложенного вектора.

На рисунке 1 слева показана система сил, приложенных к точке  $O$ , справа силовой многоугольник.

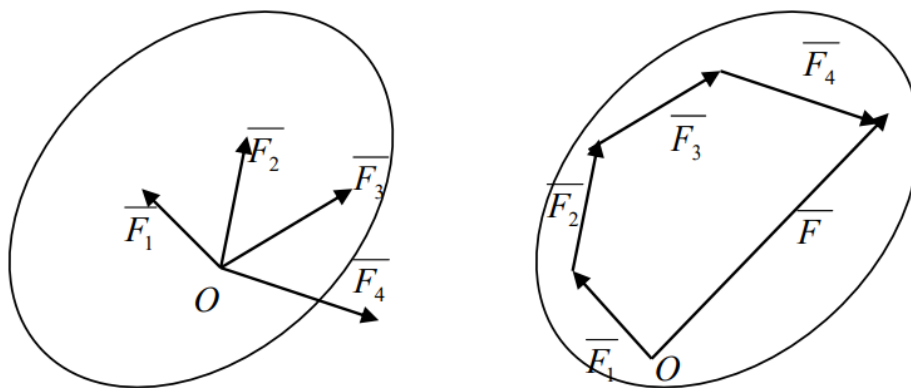


Рисунок 1 – Пример силового многоугольника

К телу приложено четыре силы:  $F_1, F_2, F_3, F_4$ , равнодействующая систем сил  $F$ .

Сходящаяся система сил является уравновешенной, если геометрическая сумма всех сил равна нулю ( $F = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$ ), следовательно, силовой многоугольник в этом случае является замкнутым.

### Условие равновесия в аналитической форме.

Аналитическое исследование системы сходящихся сил основано на вычислении проекций этих сил на оси координат. Проекция равнодействующей силы на ось координат равна алгебраической сумме проекций исходных сил на ту же ось. Величина равнодействующей силы в случае плоской системы сходящихся сил определяется по формуле:

$$R = \sqrt{R_x^2 + R_y^2}, \quad (1)$$

где  $R$  - модуль равнодействующей силы;

$R_x, R_y$  - проекции  $R$  на ось  $x$  и  $y$  соответственно.

$$R_x = \sum_{i=1}^n F_{ix}, \quad R_y = \sum_{i=1}^n F_{iy}. \quad (2)$$

Направление равнодействующей силы определяется углом  $\alpha$  между линией действия равнодействующей и осью  $x$ :

$$\cos \alpha = \frac{R_x}{R}. \quad (3)$$

Экспериментальное исследование плоской системы сходящихся сил основано на нахождении величины и направления силы, уравновешивающей равнодействующую.

### 3 Характеристика лабораторной установки

Опытное подтверждение теоремы проводится на установке ТМт 01М (рисунок 2).



Рисунок 2 – Общий вид установки ТМт 01М

На рисунке 3 показана схема расстановки сил относительно центра установки (вид сверху), который демонстрирует три приложенных силы  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $F_3$  и равнодействующую силу  $R$ , которую нужно определить аналитически. Направление и величину.

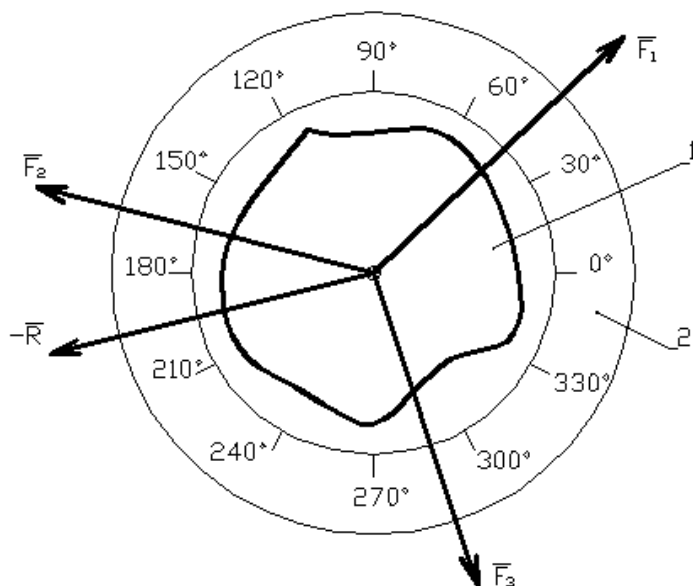


Рисунок 3 – Схема установки

Установка содержит материальное тело 1 (модель), систему нагружения активными силами, систему уравнивания равнодействующей силы, градусную шкалу 2 для определения направления сил, штифты для удержания модели в неподвижном состоянии.

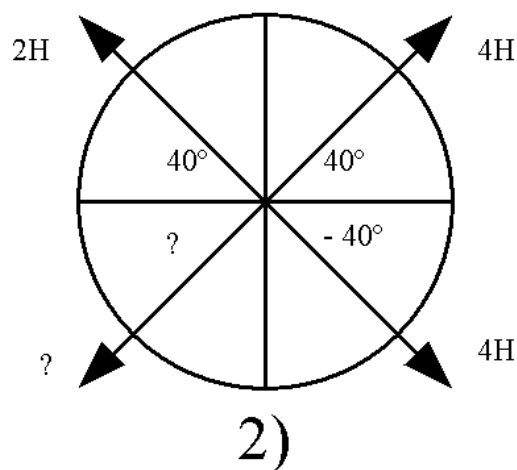
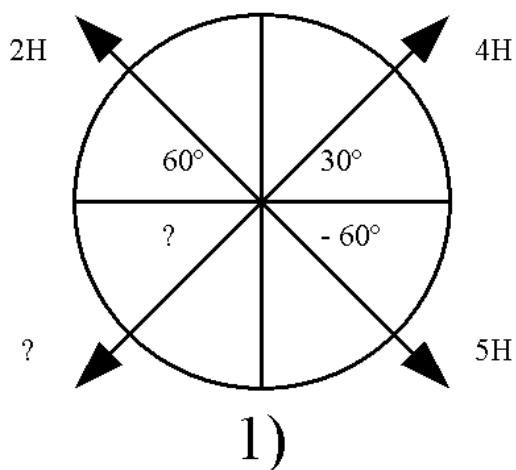
## 4 Порядок выполнения работы

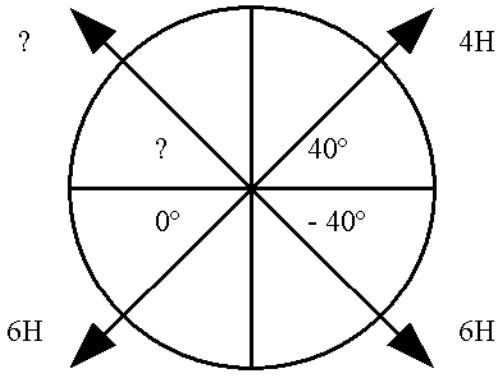
1. Поставить основание установки горизонтально.
2. Установить штифты, фиксирующие модель.
3. Рассчитать величину и направление равнодействующей заданной плоской системы сходящихся сил по формулам (1), (2), (3) и посредством силового многоугольника.
4. Приложить к модели заданную систему сходящихся сил.
5. Приложить к модели силу, уравнивающую равнодействующую силу, для чего установить на подвеску груз с весом, равным величине равнодействующей силы, и направить нить подвески под углом  $\alpha + 180^0$ .
6. Удалить фиксирующие штыри.
7. Наблюдать перемещение модели относительно вспомогательной системы координатных осей.
8. В случае если смещение модели не превышает  $\pm 0,5$  мм вдоль каждой оси, экспериментальное подтверждение теоремы считается состоявшимся, в противном случае, проверить правильность расчетов и повторить эксперимент.

## 5 Содержание отчета

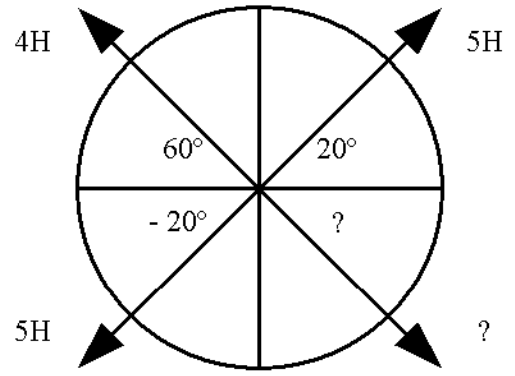
1. Титульный лист.
2. Наименование и цель работы.
3. Задание.
4. Силовой многоугольник.
5. Расчетная часть.
6. Заключение и выводы.

## 6 Варианты задания

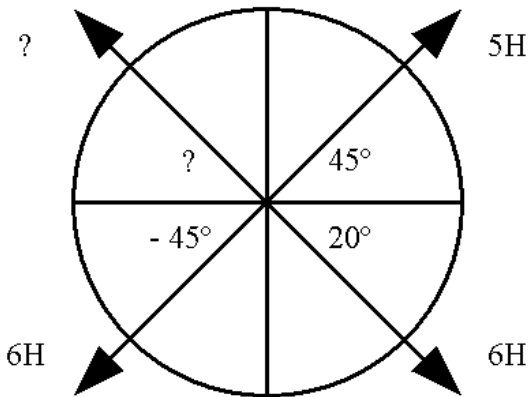




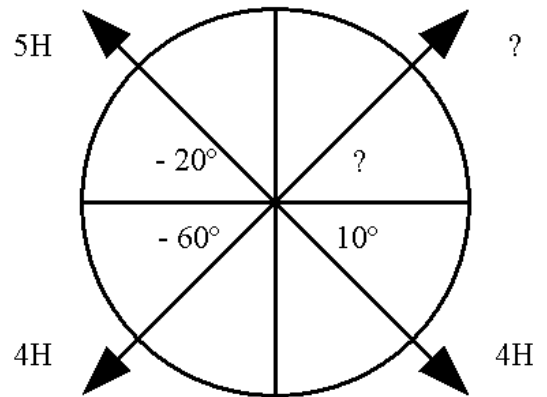
3)



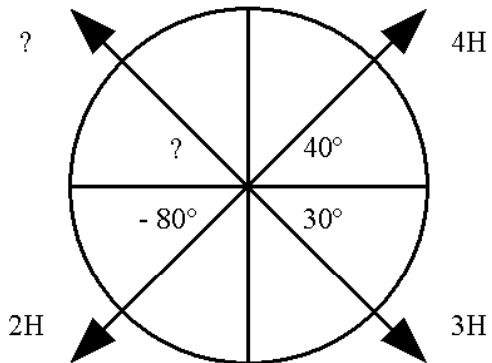
4)



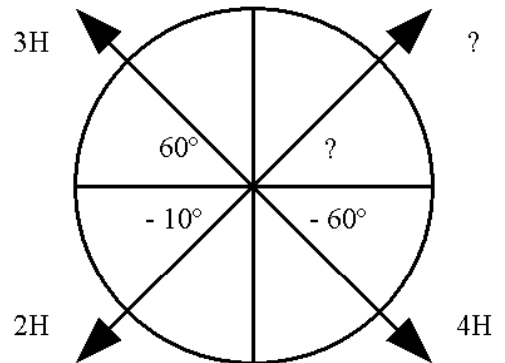
5)



6)

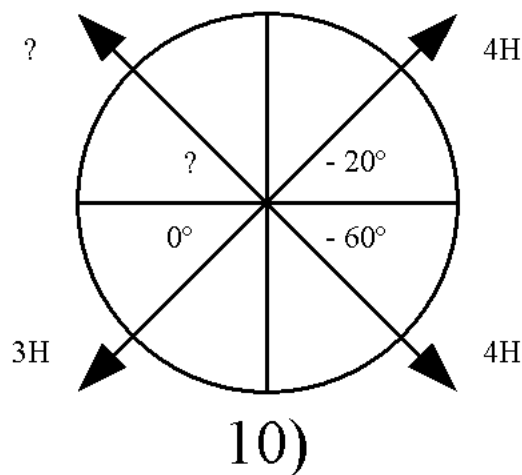
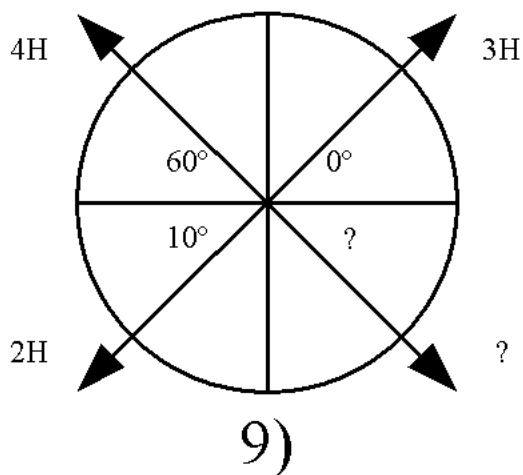


7)



8)





## 7 Контрольные вопросы

1. Как определяется направление равнодействующей системы произвольно расположенных сил при построении векторного силового многоугольника?
2. Назовите аксиомы статики.
3. Каковы условия и уравнения равновесия системы произвольно расположенных сил в плоскости?
4. Каковы условия и уравнения равновесия системы произвольно расположенных сил в пространстве?
5. Как формулируется план решения задач статики на равновесие сил?
6. Назовите способы определения равнодействующей сил.
7. Сколько сил необходимо чтобы уравновесить тело?
8. Что такое реакция связи?
9. Что такое несвободное тело?
10. Что такое система сходящихся сил?

## 8 Литература

1. Игнатищев, Р.М. Курс теоретической механики. Введение, статика, кинематика, динамика. Учебное пособие / Р.М. Игнатищев, П.Н. Громыко, С.Н. Хатетовский. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 430 с.
2. Прикладная механика: Учеб. пособие / А.Т.Скойбеда, А.А.Миклашевич, Е.Н.Левковский и др.; Под общ. ред. А.Т.Скойбеда. – Минск: Выш. шк., 1997.- 522 с.
3. Мещерский, И.В. Сборник задач по теоретической механике: учебное пособие / И.В. Мещерский. – Москва: Наука, 1986. – 480 с.
4. Бать, М.И. Теоретическая механика в примерах и задачах: Учебное пособие.- В 2-х томах. / М.И. Бать, Г.Ю. Джанелидзе, А.С. Кельзон. – Москва: Наука, 1990.- Т.1 – 672 с.; Т.2 – 640 с.
5. Кепе, О.Э. Сборник коротких задач по теоретической механике: Учебное пособие / О.Э. Кепе, Я.А. Виба, О.П. Грапис и др.; под редакцией О.Э. Кепе. – Москва: Высшая школа, 1989.- 358 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

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОДЕЙСТВУЮЩЕЙ  
ПЛОСКОЙ СИСТЕМЫ СХОДЯЩИХСЯ СИЛ**  
по дисциплине «Прикладная механика»

Выполнил студент:

Иванов Иван Петрович  
группа 592-1

Проверил преподаватель:

---

Томск  
2024