



Ф. Чалилов, А.А. Рахимов, С.К. Исмоилова
 Политехнический институт Таджикского
 технического университета
 имени академика М.С. Осими

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗАКОНОВ СТАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАСЧЕТАХ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И СООРУЖЕНИЙ

Устойчивость строительных объектов в основном зависит от распределения сил по опорам и несущих балок строящегося объекта. Используя законы статики с учетом замен нескольких сил на одну равнодействующую исследованы основные места объекта стройки. С помощью математических расчетов определены величина сил и точка ее приложения для получения устойчивого равновесия объекта. Рассмотрены наилучшие варианты расчета сил и точка ее приложения по представленному объекту.

Конструкция, строительство, сила, устойчивость, объект, равнодействующей, действие, балки, точка приложения.

Введение

Как известно действие нескольких сил можно заменить одной равнодействующей. Равнодействующей называется сила, которая производит на тело такое же действие, как несколько одновременно действующих сил. Сила, равная по величине и противоположная по направлению равнодействующей, называется уравновешивающей. Нельзя забывать, что равнодействующая нескольких сил определяется векторным сложением этих сил, так как сила является векторной величиной. Она имеет величину и указывает направление действия.

Если силы действуют по одной прямой и направлены в одну сторону, то равнодействующая равна их сумме и направлена в сторону действия этих сил.

Если две силы действуют по одной прямой и имеют противоположные направления, то равнодействующая сил равна разности сил и направлена в сторону большей по модулю силы.

Равнодействующая двух параллельных сил, направленных в одну сторону, равна сумме этих сил, параллельна им и сонаправлена [9, с. 306–317].

Материалы и методы

Точка приложения равнодействующей прикладывается на отрезок линии, сводящий приложенные силы, и делит его на части, обратно пропорционально величинам сил (рис. 1).

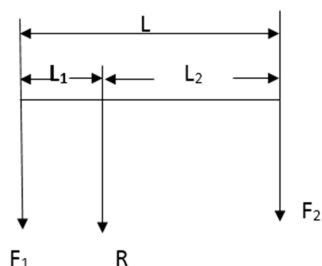


Рис. 1. Точка приложения равнодействующих сил лежит между силами

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\ell_2}{\ell_1}, \quad (1)$$

где ℓ_1 – плечо силы F_1 и ℓ_2 – плечо силы F_2 или

$$F_1 \cdot \ell_1 = F_2 \cdot \ell_2. \quad (2)$$

Моментом силы называется произведение силы на плечо. Плечом силы называется кратчайшее расстояние между осью вращения и точкой приложения силы [10, с. 268–277].

Равнодействующая двух параллельных сил F_1 и F_2 , направленных в противоположные стороны, равна разности и направлена в сторону большей силы по модулю. Точка приложения равнодействующей лежит на продолжении отрезка, соединяющего приложенные силы (рис. 2).

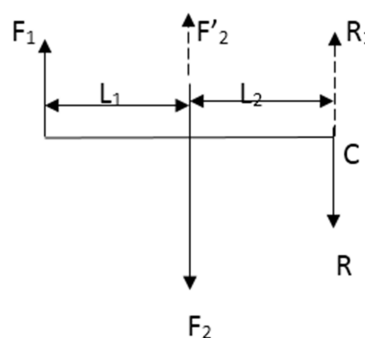


Рис. 2. Точка приложения равнодействующих сил лежит на продолжении отрезка

Для построения рисунка 2 удлиняем отрезок ℓ_1 , соединяющий точку приложения сил F_1 и F_2 , до третьей точки С. В точку С приложим две силы R и R_1 , равные по величине и противоположные по направлению. Величина этой силы равна модулю разности сил $|F_2 - F_1|$.

Тогда модуль силы равняется $|F_2| = |F_1 + R_1|$. Но $F_1 + R_1 = F_2$.

Следовательно силы F_2 и F_2^1 уравнивают друг друга, а R является равнодействующей. Точка C выбирается из условия:

$$\frac{|F_1|}{|R_1|} = \frac{\ell_2}{\ell_1}. \quad (3)$$

Отношение равнодействующей $|R|$ к меньшей составляющей $|F_1|$ равно отношению расстояния между точками приложения, составляющих F_1 и F_2 , к расстоянию ℓ_2 между точками приложения равнодействующей R и большей силой F_2 ;

$$\frac{|R|}{|F_1|} = \frac{\ell_1}{\ell_2}. \quad (4)$$

Как видно, при равнодействующей большей величины отрезок ℓ_2 уменьшается.

Таким образом, для разложения силы F на две параллельные силы F_1 и F_2 , которые сонаправлены, необходимо знать точки приложения составляющих или точку приложения и величину одной составляющей. В первом случае составляющие F_1 и F_2 находим из формул:

$$F_1 + F_2 = F; \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{\ell_2}{\ell_1}. \quad (5)$$

Получим, разделив приложенную силу F на части, обратно пропорционально расстояниям ℓ_1 и ℓ_2 .

Во втором случае, зная одну составляющую, находим вторую $F_2 = F - F_1$, а точку ее приложения ℓ_2 определим из равенства:

$$\frac{F_1}{F - F_1} = \frac{\ell_2}{\ell_1}. \quad (6)$$

Равнодействующая двух сил, направленных под углом друг к другу, определяется методом параллелограмма или треугольника.

Когда приложенные силы F_1 и F_2 не имеют общей точки приложения, тогда нужно точку приложения

слагаемых сил перенести вдоль линии действия сил в точку пересечения этих линий, построить параллелограмм и определить равнодействующую этих сил (рис. 3). Величина и направления этих сил не должны изменяться.

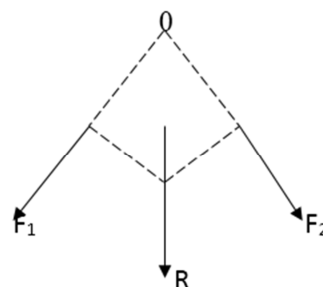


Рис. 3. Нахождение общей точки приложения двух сил

Для разложения силы на две составляющие, направленные под углом друг к другу, необходимо знать или направления этих сил, или направление и величину одной из них, или величины обеих составляющих. Величина и направление составляющих сил находятся путем построения параллелограмма, диагональю которого является данная сила.

Если в пространстве даны две силы, направленные в произвольные стороны, то, не изменяя направление и величины этих сил, можем переместить их в одну точку и построить параллелограмм, большей диагональю которого и является равнодействующая этих сил. Если составляющие силы расположены в пространстве под острым углом, то равнодействующая этих сил будут определяться по большой диагонали параллелограмма. Если составляющие силы находятся в разных четвертях, то равнодействующая сил определяется по малой диагонали (рис. 4 и 5). Если угол между силами составляет 90° , то равнодействующую сил определяем по большой диагонали прямоугольника.

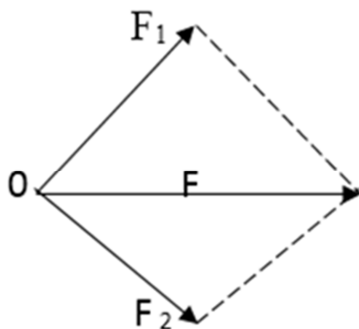


Рис. 4. Нахождения равнодействующих сил по методу параллелограмма

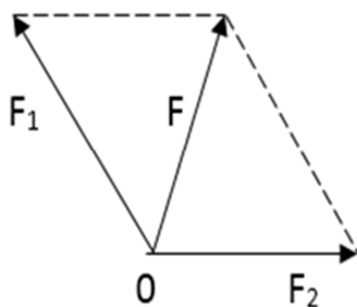


Рис. 5. Если расположены в разные четверти, то равнодействующую сил определим по малой диагонали параллелограмма

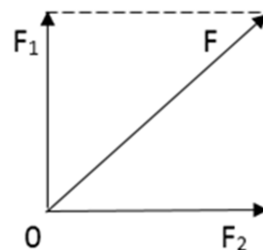


Рис. 6. Если угол между силами составляет 90° , то равнодействующую сил определим по большой диагонали параллелограмма

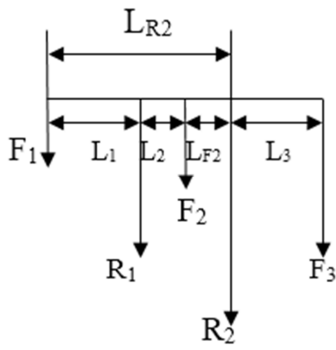


Рис. 7. Силы, направленные в одну сторону, и определение их равнодействующей в соответствии с величинами

Дано:

$l = 1$ м
 $F_1 = 10$ Н.
 $F_2 = 15$ Н.
 $F_3 = 25$ Н.
 $R = ?$
 $l_R = ?$

Решение:

Для решения данной задачи используем законы статики. Согласно условию задачи три силы, имеющие одно направление действуют на стержень длиной $l = 1$ м. Концы стержня обозначены буквами А и В. В точке А приложена сила $F_1 = 15$ Н, в точке В приложена сила $F_3 = 25$ Н, а посередине стержня приложена сила $F_2 = 15$ Н.

Если эти три силы направлены в одну сторону, то равнодействующая этих сил равняется сумме этих сил:

$$R = F_1 + F_2 + F_3. \quad (7)$$

Подставляя числовые значения соответствующих сил в формулу (7), получим значение равнодействующих сил:

$$R = F_1 + F_2 + F_3 = 10 + 15 + 25 = 50 \text{ Н.}$$

Таким образом, равнодействующая приложенных сил равна $R = 50$ Н.

Точку приложения равнодействующей силы находим последовательным сложением. Сложив F_1 и F_2 получим:

$$|R_1| = |F_1| + |F_2| = 10 + 15 = 25 \text{ Н.}$$

Равнодействующая сил F_1 и F_2 оказалась равна 25 Н. Точку приложения равнодействующей находим из соотношения (1), откуда $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$.

В условии задачи указано, что сила F_2 приложена в центре стержня, поэтому расстояние от точки А до точки приложения силы F_2 равно $0,5 l$.

Отсюда: $l_2 = 0,5 l - l_1$.

Учитывая l_2 , перепишем соотношения (1) в следующем виде:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{0,5l - l_1}{l_1} = \frac{l}{2l_1} - 1, \quad (8)$$

отсюда $2F_1 l_1 + 2F_2 l_1 = F_2 l$,

$$l_1 = \frac{F_2 l}{2(F_1 + F_2)}, \quad (9)$$

подставив числовые значения физических величин в формулу (9), получим:

$$l_1 = \frac{F_2 l}{2(F_1 + F_2)} = \frac{15 \cdot 1}{2(10 + 15)} = \frac{15}{50} = 0,3 \text{ м.}$$

Для нахождения l_2 используем выражения $l_2 = 0,5 l - l_1$.

Подставив числовые значения физических величин, получим:

$$l_2 = 0,5 l - l_1 = 0,5 \cdot 1 - 0,3 = 0,2 \text{ м.}$$

Теперь найдем равнодействующую между силами F_3 , R_1 и равнодействующую между силами F_1 , F_2 . Силы F_3 и R_1 , как и силы F_1 и F_2 , направлены в одну сторону, поэтому равнодействующая сила R_2 равняется:

$$R_2 = F_3 + R_1. \quad (10)$$

Подставляя числовые значения, получим:

$$R_2 = F_3 + R_1 = 25 + 25 = 50 \text{ Н.}$$

Таким образом, общая результирующая равнодействующей сил равняется $R_2 = 50$ Н.

Теперь определим точку приложения этой силы. Полученные результаты показывают, что силы F_3 и R_1 между собой равны, поэтому точка приложения равнодействующей сил F_3 и R_1 может располагаться в середине между силами F_3 и R_1 соответственно. Расстояние между силами F_3 и R_1 находим из следующего соображения l_4 :

$$l_4 = l - l_1 = 1 - 0,3 = 0,7 \text{ м.}$$

Так как силы F_3 и R_1 равны, то равнодействующая этих сил расположится в середине отрезка между силами F_3 и R_1 :

$$l_3 = \frac{l_4}{2} = 0,35 \text{ м.}$$

Таким образом, расстояние между силой F_3 и равнодействующей между силами F_3 и R_1 , равняется $l_3 = 0,35$ м. Расстояние между силами F_1 и R_2 равняется сумме l_1 и l_3 :

$$l_{R2} = l_1 + l_3. \quad (11)$$

Подставляя числовые данные величин, получим:

$$l_{R2} = l_1 + l_3 = 0,3 + 0,35 = 0,65 \text{ м.}$$

Расстояние между силой F_1 и равнодействующей R_2 равно $l_{R2} = 0,65$ м. Расстояние между силой F_2 и равнодействующей R_2 тоже можем определить из следующих соображений.

Как указано в условии задачи, сила F_2 приложена в середине стержня и это расстояние равно $0,5 l$, то тогда расстояние между силами F_2 и R_2 определим по следующему выражению:

$$l_{F2} = l_{R2} - 0,5 l. \quad (12)$$

Подставляя числовые данные получим:

$$l_{F2} = l_{R2} - 0,5 l = 0,65 - 0,5 \cdot 1 = 0,15 \text{ м.}$$

Таким образом, расстояние между силами F_2 и R_2 равно 0,15 м.

Общая длина стержня определяется по следующему выражению:

$$l = l_1 + l_2 + l_{F2} + l_3 = 0,3 + 0,2 + 0,15 + 0,35 = 1 \text{ м.}$$

Правильность решения числовых данных можно проверить с помощью компьютерного моделирования Maple 18 [2–5], для этого вводим необходимые числовые данные в программу, которая показана на рисунках 8 и 9.

Как показывает полученный результат, произведенные вычисления оказались верны и не подлежат сомнению. Такие расчетные работы выполняются при конструировании строительных объектов гражданского и промышленного назначения. Точное и умелое

определение величин силы и ее точки приложения является основой устойчивости в строительных объектах. Устойчивость объектов сильно зависит от произведенных расчетов сил на несущие части и ее точки приложения в конструкциях.

Благодаря внедрению компьютерной технологии, все произведенные расчеты можно произвести при помощи подготовленных компьютерных программ.

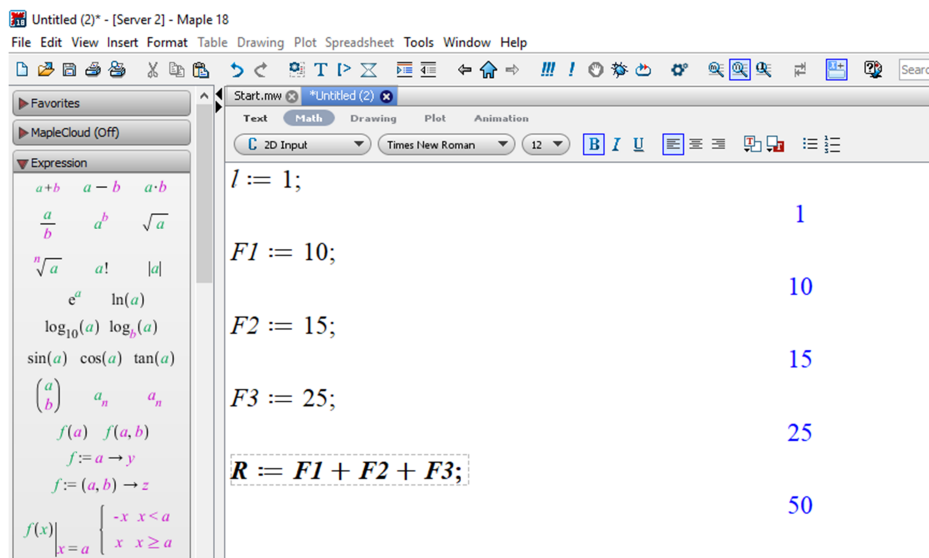


Рис. 8. Компьютерная реализация равнодействующей трех сил

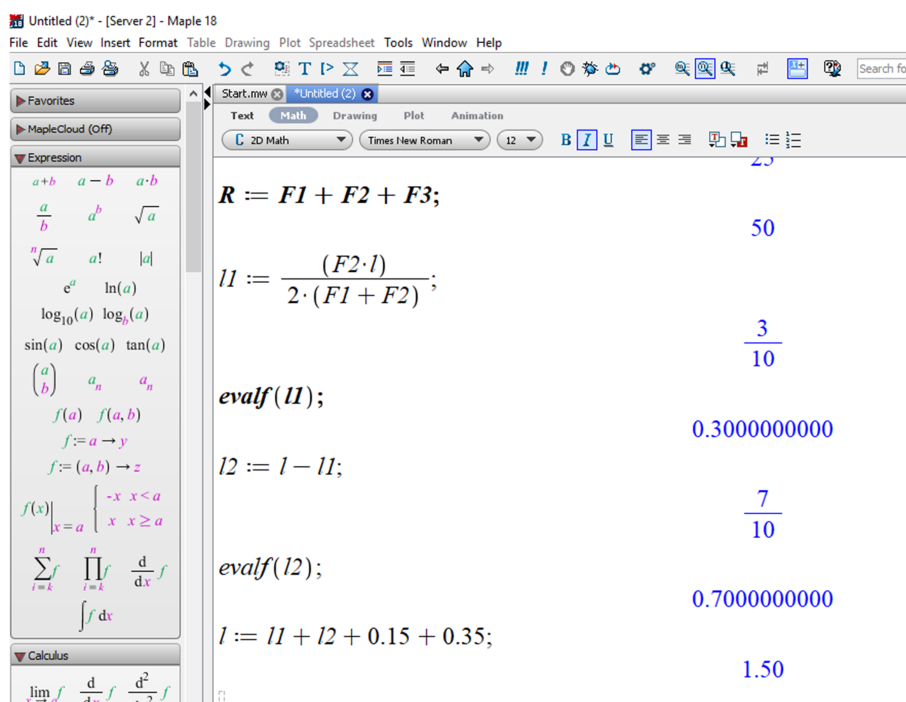


Рис. 9. Компьютерная реализация общей длины стержня

Закключение

1. Всякая инженерная работа начинается от изменения искомых величин расстояний, массы, силы и ее распределения по объекту.
2. Произведенные точные расчеты в определении силы и точки ее приложения являются основой устойчивости сооружений гражданской и промышленной конструкции.
3. Некачественно произведенные расчетные работы в определении силы и ее точки приложения могут служить источником возникновения ошибок в процессе строительства объекта.
4. Результаты расчетной работы в определении силы и точки ее приложения влияют на архитектуру строящегося объекта и качество строения.

Литература

1. Недоступ, А. А. Метод расчета силовых и геометрических характеристик плавных сетей. Физическое моделирование Плавных сетей / А. А. Недоступ // Известия ТИНПРО. – 2008. – Т. 155. – С. 280–293.
2. Рахимов, А. А. Различные способы использования компьютерного моделирования в процессе решения систем линейных уравнений в обучении математике студентов технических направлений / А. А. Рахимов // Вестник Вологодского государственного университета. – 2024. – № 2(24). – С. 50–54.
3. Рахимов, А. А. Использование компьютерного моделирования в процессе обучения математике и физике для подготовке студентов в техническом вузе / А. А. Рахимов // Мировые стратегии развития науки и образования в новой реальности: междисциплинарные исследования : материалы I Международной научно-практической конференции (Москва, 29 января 2024 г.). – Москва : Научная парадигма, 2024. – С. 157–162. – EDN GAVEGP.
4. Рахимов, А. А. Использование компьютерного моделирования в процессе обучения алгебре студентов технических направлений / А. А. Рахимов // Вестник Сургутского государственного педагогического университета. – 2024. – № 1(88). – С. 49–61. – DOI 10.69571/SSPU.2024.88.1.023. – EDN QYDWEK.
5. Рахимов, А. А. Методика использования программы MS Excel при решении задач «интерполирование и экстраполирование функций» в курсе вычислительной математики для студентов электротехнических специальностей / А. А. Рахимов // Автоматизация и энергосбережение в машиностроении, энергетике и на транспорте : материалы XVII Международной научно-технической конференции (Вологда, 08 декабря 2022 г.) / ответственный редактор В. А. Раков. – Вологда : Вологодский государственный университет, 2023. – С. 193–198. – EDN QJDFVW.
6. Рахимов, А. А. Статистика z для сравнения наблюдаемых и ожидаемых частот с применением пакета STATISTICA (observed versus expected XI) / А. А. Рахимов, И. М. Хомидов // Вестник Технологического университета Таджикистана. – 2013. – № 1(20). – С. 58–61. – EDN VWLBWR.
7. Строительство – формирование среды жизнедеятельности : сборник материалов семинара молодых ученых XXVI Международной научной конференции (Ташкент, 26–28 апреля 2023 г.) / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, управление научной политики. – Электрон. дан. и прогр. (8,4 Мб). – Москва : Издательство МИСИ – МГСУ, 2023. – URL: <http://mgsu.ru/resources/izdatelskayadeyatelnost/izdaniya/izdaniya-otkrdostupa/> (дата обращения: 05.03.2025). – Текст : электронный.
8. Здания из объемных модулей для регионов, пострадавших вследствие стихийных бедствий / Е. А. Ширкунова, Р. В. Лопаткин, Т. А. Аббасов [и др.]. – DOI: 10.18454/mca.2023.42.2 // Современное строительство и архитектура. – 2023. – № 11 (42). – URL: <https://modern-construction.ru/archive/11-42-2023-november/10.18454/mca.2023.42.2> (дата обращения: 26.06.2024). – Текст : электронный.
9. Истифодабарии воситаҳои аёнӣ дар ҷалли масъалаҳои статика ва ҷалли барномаҳои ҷисмонӣ барои ҷисмҳои қатъии натиҷаҳои / Ф. Ёлилов, У. Аҳмедов, А. А. Умаров [et al.] // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2023. – № 1. – Р. 306–317. – EDN WGFTOP.
10. Истифодаи усулҳои гуногуни математикӣ дар ҷалли масъалаҳои физикӣ / Ф. Ёлилов, А. А. Рахимов, Ш. Ш. Шодиев, Д. Н. Мирзоев // Паёми Донишгоҳи миллии Тоҷикистон. – 2023. – Vol. 2, № 11. – Р. 268–277. – EDN BJTANO.

F. Chalilov, A.A. Rakhimov, S.K. Ismoilova
*Polytechnic Institute of the Tajik Technical University
named after academician M.S. Osimi*

USE OF LAWS OF STATICS AND COMPUTER MODELING WHEN CALCULATING BUILDING STRUCTURES

The stability of construction objects mainly depends on the distribution of forces on the supports and load-bearing beams of the object under construction. Using the laws of statics, taking into account the replacement of several forces with one resultant, the main areas of the construction object were studied. Using mathematical calculations, the magnitude of the forces and the point of their application were determined to obtain a stable equilibrium of the object. The best options for calculating the forces and the point of their application for the presented object are considered.

Design, construction, force, stability, object, resultant, action, beams, point of application.