

Измерение зависимости силы упругости от деформации пружины

Цель работы

Целью работы являются:

- 1) получение зависимости между продольной деформацией пружины и возникающей при этом силой упругости;
- 2) определение коэффициента жесткости пружины.

Метод экспериментального исследования явления

В работе экспериментально проверяется утверждение о линейной зависимости силы упругости от вызывающей ее деформации, т. е. справедливость закона Гука. Использование датчика силы (динамометра) позволяет непосредственно измерить силу упругости, возникающую в пружине под действием веса подвешенного груза, а ультразвуковой датчик расстояния дает возможность измерить перемещение груза, совпадающее с удлинением (деформацией) пружины. По этим данным определяется жесткость пружины. Проводится сравнение значений жесткости, полученных для грузов различных масс. Измерения могут быть проведены для различных пружин.

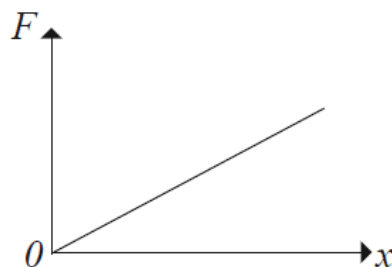
Теория

Под *деформацией* твердого тела понимают изменение его формы и размеров. К деформациям относятся растяжение, сжатие, сдвиг, изгиб и кручение. Поскольку твердые тела сохраняют свою форму и размеры, при любой попытке их деформации возникают силы, препятствующие этому. Тела, которые полностью восстанавливают свою первоначальную форму и размеры после прекращения действия внешних сил, вызывающих деформации, называются *упругими*. Соответственно упругими называются любые деформации упругого тела, а силы, возникающие в теле из-за упругих деформаций, носят название *сил упругости*.

Силы упругости действуют между соприкасающимися частями деформируемого упругого тела, а также в месте контакта деформируемого тела с телом, вызывающим деформацию. При одномерных (линейных) деформациях растяжения или сжатия силы упругости направлены вдоль линии действия внешней (деформирующей) силы (вдоль осей продольно деформируемых нитей, витых пружин, стержней и т. п.) или перпендикулярно поверхностям соприкасающихся тел.

Закон Гука устанавливает прямую пропорциональную зависимость модуля силы упругости F , возникающей при деформации тела, от модуля деформации. В случае деформации (растяжения или сжатия) пружины закон Гука имеет вид

$$F=kx,$$



Зависимость силы упругости от деформации

где $x=|l-l_0|$; l – длина деформированной пружины; l_0 – первоначальная длина пружины, k – коэффициент упругости или жесткость пружины. Жесткость пружины зависит как от формы пружины, так и от упругих свойств материала, из которого она изготовлена.

График ожидаемой зависимости модуля силы упругости, возникающей в пружине, от ее деформации изображен на рисунке. По тангенсу угла наклона этой прямой к оси абсцисс обычно определяют жесткость пружины.

Контрольные вопросы

1. Какие деформации называются упругими?
2. В каких случаях возникает сила упругости? Как направлена эта сила при деформациях растяжения и сжатия?
3. Как соотносятся сила упругости и сила, вызывающая деформацию тела?
4. Что называется жесткостью пружины? При каких деформациях жесткость пружины можно считать неизменной?

Оборудование экспериментальной установки

Датчик движения

Датчик силы:

Штатив с крепежом:

высота штатива: 70–100 см;

длина горизонтально закрепленного стержня: 20–50 см.

Набор пружин:

жесткость: 1–10 Н/м;

длина: 10–30 см.

Набор грузов:

общая масса: 200–500 г;

минимальная масса: 5–15 г.



Параметры экспериментальной установки

Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести по три–пять измерений с разными грузами для каждой из двух-трех пружин. Весь цикл измерений может быть проведен за 4–6 мин.

На обсуждение содержания эксперимента и его результатов, ответы на вопросы во время выполнения измерений и после их окончания отводится 10–30 мин.

Точность измерений

При строгом следовании рекомендациям разделов «Монтаж и настройка», «Подготовка приборов» и «Методика выполнения эксперимента» данный эксперимент позволяет измерить жесткость пружины с точностью до 0,1 Н/м.

Техника безопасности

Во время проведения эксперимента необходимо соблюдать все правила техники безопасности, указанные для персонального компьютера как электрического оборудования.

Используемое измерительное оборудование (система сбора данных, датчик расстояния, датчик силы) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

Мощность и частота ультразвука, испускаемого датчиком расстояния, также не представляют опасности для человека.

Датчик расстояния рекомендуется защищать от возможного падения грузов жесткой проволочной сеткой.



Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Штатив следует устанавливать на демонстрационном столе в месте, позволяющем обеспечить хороший обзор проведения эксперимента для каждого ученика.

Для обеспечения удобства управления демонстрацией эксперимента компьютер необходимо располагать достаточно близко от установки (на расстоянии не более 1,5 м).

Экран компьютера рекомендуется продублировать с помощью проектора.

Для обеспечения наглядности демонстрации значения жесткости используемых пружин должны отличаться на значительную величину (30–100%).

Монтаж и настройка

К штативу, установленному на столе, последовательно подвешиваются датчик силы, пружина и груз известной массы. Под пружиной располагается датчик расстояния, защищенный проволочной сеткой (по возможности). Датчик силы измеряет силу упругости, возникающую в пружине под действием веса груза, а датчик расстояния измеряет смещение груза, равное абсолютной деформации пружины.

Подготовка приборов

Перед началом проведения эксперимента необходимо выполнить следующее:

Внимательно прочитайте инструкции, подготовьте необходимое оборудование, соберите установку в соответствии с разделом «Монтаж и настройка».

Запустите программу **SensorLab ПО**.

Подключите систему сбора данных SensorLab к компьютеру с помощью USB кабеля.

Подключите датчик силы к любому аналоговому входу системы сбора данных.

Подключите датчик расстояния к цифровому входу системы сбора данных.

Убедитесь, что датчик правильно регистрирует расстояние до ближайшего объекта (расположенного не ближе 20 см).

Внимание! При запуске задачи начальное значение в поле **Смещение** соответствует расстоянию от датчика до объекта, взятому с обратным знаком. При нажатии кнопки **Ноль** в разделе **Калибровка**. Начало системы координат для измерения смещения переносится в текущее положение объекта, после чего в поле **Смещение** выводится смещение объекта относительно этого начала координат (так называемой реперной точки). Текущее расстояние от датчика расстояния до объекта отображается в поле **Расстояние**.

Методика выполнения эксперимента

Проведение измерений

Подвесьте к свободному концу пружины груз минимальной массы. Дождитесь затухания колебаний. Убедитесь, что датчик расстояния правильно определяет положение груза.

Нажмите кнопку **Ноль** в разделе **Калибровка**. При этом программой записываются реперные (исходные) значения силы и смещения груза, используемые для последующих отсчетов этих величин. На графике зависимости силы упругости, возникающей в пружине под действием подвешенного груза, от смещения груза появляется первая точка, расположенная в начале координат.

Подвесьте к пружине еще один груз. Дождитесь затухания колебаний. Нажмите кнопку **Ручной сбор**. К результатам измерений для исследуемой пружины добавится новая пара значений силы и смещения. На соответствующем графике появится вторая точка, а также прямая, соединяющая первую и вторую точки.

Проведите измерения по пункту 3 для нескольких грузов (не менее двух-трех). При каждом новом измерении на графике зависимости силы от смещения добавляются точки. По совокупности этих точек проводится аппроксимирующая прямая.

По углу наклона этой прямой к оси абсцисс определяется коэффициент упругости (жесткость) пружины.

Анализ результатов

Жесткость пружины рассчитывается автоматически после проведения двух измерений и заносится в соответствующее поле.



Повторные измерения

Нажмите кнопку **Новая страница**.

Снимите все грузы и повторите измерения с новой пружиной. Результаты измерений для каждой новой пружины будут отображаться на графике одновременно с уже имеющимися данными.

Проведите измерения для двух-трех пружин.

Дополнительное задание

Использование специально изготовленной пружины из материала с малой упругостью (например, медной проволоки) позволит наглядно продемонстрировать переход от упругих деформаций к пластическим. В этом эксперименте рекомендуется скрыть график аппроксимирующей прямой

Справка

Принцип действия используемых датчиков

Датчик расстояния

Принцип действия датчика основан на излучении последовательности ультразвуковых импульсов и измерении временной задержки между моментом начала излучения импульсов и моментом начала регистрации импульсов, отраженных от объекта измерения.

Основой датчика служит пьезорезистивный преобразователь. Напомним, что пьезоэлектрический эффект — это эффект возникновения поляризации диэлектрика под действием механических напряжений (прямой пьезоэлектрический эффект). Существует и обратный пьезоэлектрический эффект — возникновение механических деформаций под действием электрического поля.

Датчик работает в несколько этапов. Сначала пьезорезистивный преобразователь излучает короткий ультразвуковой импульс, одновременно в датчике включается внутренний таймер. Затем отраженный от объекта импульс возвращается обратно в датчик, при этом таймер останавливается. Время t , прошедшее между моментом излучения импульса и моментом, когда отраженный импульс возвратился в датчик, служит основой для вычисления расстояния до объекта $l \approx vt/2$, где v — скорость распространения ультразвука в воздухе (343 м/с).

Контроль процесса измерения производится с помощью микропроцессора.

Датчик позволяет измерять расстояния до таких сложных объектов, как, например, сыпучие вещества, жидкости, гранулы, прозрачные тела или тела, имеющие отражающие поверхности.

Однако у датчика есть ряд ограничений: это пена и другие объекты, поглощающие ультразвуковые волны, что значительно искажает результаты измерений. Сильноизогнутые поверхности объектов также снижают точность измерений, поскольку рассеивают ультразвуковые волны в различных направлениях. Кроме того, датчик излучает ультразвуковые волны в виде широкого конуса (под углом 15–20° к оси центрального луча). При этом источниками отраженного сигнала для датчика могут стать различные объекты, оказавшиеся в конусе ультразвука, что ограничивает возможность использования датчика для измерения расстояния до небольших объектов.

Датчик силы

Принцип действия датчика силы основан на прямом пьезоэлектрическом эффекте.

При нагрузке динамометра происходит деформация встроенного пьезоэлектрического датчика, которая преобразуется в регистрируемый электрический сигнал.