



## Измерение КПД простого механизма

### Цель работы

Целью работы являются:

- 1) демонстрация использования наклонной плоскости для подъема грузов;
- 2) экспериментальное определение коэффициента полезного действия (КПД) наклонной плоскости.

### Метод экспериментального исследования явления

В работе в качестве простого механизма изучается наклонная плоскость, которой служит желоб, установленный в наклонном положении. Перемещение груза измеряется с помощью датчика вращательного движения, через блок которого перекинута нить, приводящая в движение груз. Сила натяжения нити измеряется датчиком силы. Полезная работа вычисляется по силе тяжести, действующей на груз, и высоте его подъема. Поскольку сила, с которой груз вручную перемещают по наклонной плоскости непостоянна, затраченная работа определяется по формуле  $A = F_{\text{ср}} L$ , где

$$F_{\text{ср}} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N F(x_i)$$

среднее значение силы на перемещении груза  $L$ ,  $N$  — число точек  $x_i$ , в которых проводится измерение модуля силы  $F(x_i)$ .

По полученным данным рассчитывается КПД наклонной плоскости.

### Теория

Простыми механизмами называются механические устройства, служащие для преобразования величины или направления действия силы. К таким механизмам относятся, например, рычаг, блок и система блоков, ворот, винт, лебедка, наклонная плоскость. Работа, совершаемая приложенной к механизму силой, всегда превышает работу, совершаемую самим механизмом по перемещению им другого тела. В связи с этим различают полную, или *затраченную*, работу  $A_з$  и *полезную* работу  $A_п$ . Часть затраченной работы расходуется на преодоление силы тяжести частей механизма (например, на подъем блоков, рычагов, тросов), а также на преодоление сил трения между этими частями.

Отношение полезной работы к затраченной называется коэффициентом полезного действия (КПД) механизма:  $\eta = (A_п / A_з) 100\%$

При использовании для подъема груза наклонной плоскости (трапа) полезная работа равна:  $A_п = mgh$ , где  $m$  — масса груза;  $g$  — ускорение свободного падения;  $h$  — высота подъема груза.

Затраченная работа равна:  $A_з = mgh + A_{\text{тр}}$ , где  $A_{\text{тр}} = mgh \mu \operatorname{ctg} \alpha$  — модуль работы силы трения,  $\mu$  — коэффициент трения между грузом и плоскостью,  $\alpha$  — угол наклона плоскости к горизонтали.

Таким образом, теоретически рассчитанный КПД наклонной плоскости равен:

$$\eta = \frac{1}{1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha} \cdot 100\%$$

Из этой формулы видно, что с увеличением угла наклона КПД наклонной плоскости увеличивается.

### Контрольные вопросы

1. Для чего используются различные простые механизмы?
2. Что такое работа?
3. Почему затраченная работа при использовании простых механизмов всегда больше полезной работы?
4. Может ли КПД простого механизма быть равным 100% и более?
5. Каким образом можно увеличить КПД наклонной плоскости?
6. Можно ли отнести к простым механизмам велосипед?

### Оборудование экспериментальной установки

Датчик силы:

Датчик движения:

Штатив высотой 70–100 см с крепежом.

Желоб длиной 110 см с магнитной подвеской.

Транспортир с отвесом и пластмассовыми фиксаторами.

Брусок массой 100–1000 г с крючком.

**Примечание.** Вместо бруска можно использовать тележку на магнитной подвеске, перевернутую «вверх ногами».

Нить длиной 110–120 см.

Весы с разновесом.

## Параметры экспериментальной установки

### Длительность проведения эксперимента

Рекомендуется провести по одному опыту для двух-трех углов наклона направляющих к горизонтальной плоскости. Весь цикл измерений может быть проведен за 3–5 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 КПД наклонной плоскости с точностью до 5%.

### 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 силы) экспериментальной установки рассчитано на питание от низковольтного напряжения, не представляющего опасности для человека.

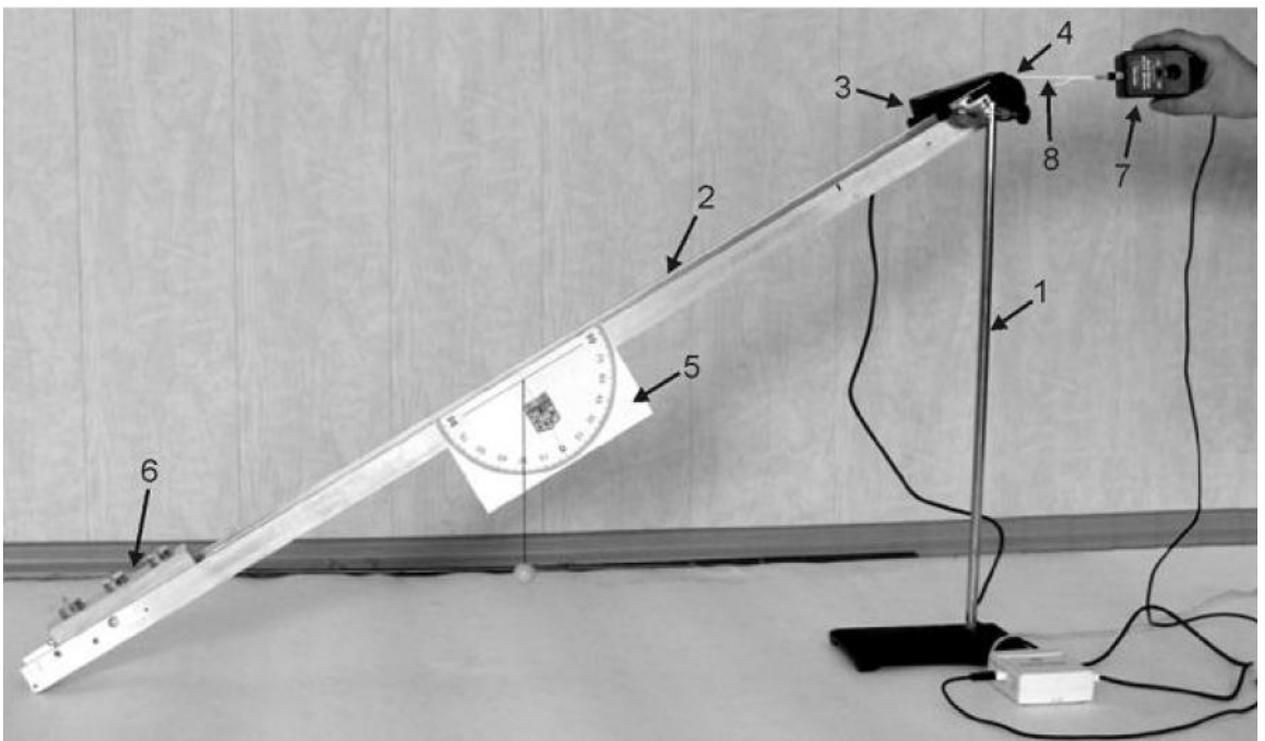
### Обеспечение наглядности результатов эксперимента

Штатив с желобом 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.

## Монтаж и настройка





Желоб с магнитной подвеской 2 устанавливается в наклонном положении, его верхний край закрепляется в зажиме штатива 1 на высоте 40–50 см от поверхности стола (см. рис.).

На штативе закрепляется и датчик вращательного движения 3 так, чтобы ось датчика располагалась перпендикулярно желобу. Блок 4 устанавливается на оси датчика вращательного движения посередине между боковыми стенками желоба. К боковой стенке желоба, обращенной к учащимся, с помощью пластмассовых фиксаторов прикрепляется транспортер с отвесом 5, предназначенный для измерения угла наклона желоба к горизонтали.

На желоб помещается брусок 6, соединенный с динамометром 7 с помощью нити 8. Нить перекидывается через блок (диаметром 48 мм) датчика вращения так, чтобы при подъеме бруска блок вращался по часовой стрелке.

## 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 движения к цифровому входу системы сбора данных.

Подключите датчик силы к любому аналоговому входу системы сбора данных.

## Методика выполнения эксперимента

### Проведение измерений

Взвесьте брусок и введите значение веса бруска в поле **Вес тела**.

Установите брусок в нижней части желоба. Расположите динамометр горизонтально так, чтобы нить не действовала на его крючок. Нажмите кнопку **Ноль** в разделе **Калибровка**. При этом программой записывается реперное (исходное) значение силы, которое будет учитываться при всех последующих измерениях, а также устанавливается опорная точка для отсчета положения бруска, определяемого углом поворота блока.

Измерьте транспортером угол наклона желоба к горизонтали и введите это значение в поле **Угол**.

Нажмите кнопку **Пуск**. Перемещая динамометр горизонтально, поднимите соединенный с ним с помощью нити брусок вверх по наклонной плоскости. Во время проведения опыта на экран дисплея выводится график измеренной зависимости силы натяжения нити от совершенного бруском перемещения, а также среднее значение силы. По средней силе и перемещению груза автоматически рассчитываются значения затраченной и полезной работы (в Дж), а также значение КПД (в %) наклонной плоскости. Эти данные отображаются в соответствующих полях области **Результаты**. **Внимание!** Во время перемещения динамометра держите его горизонтально, не допускайте перекоса. Продольная ось динамометра должна быть все время направлена вдоль нити.

Остановите измерения, нажав кнопку **Пуск**, только после этого ослабьте нить.

После остановки измерений данные автоматически заносятся в таблицу.

### Анализ результатов

Значения затраченной и полезной работы, а также значение КПД наклонной плоскости рассчитываются автоматически и заносятся в соответствующие поля области Результаты и в таблицу. Никаких дополнительных действий для проведения анализа не требуется.

### Повторные измерения

Нажмите кнопку **Удалить данные** для очистки графика с результатами измерений.

Измените угол наклона направляющих.

Проведите измерения для двух-трех разных углов наклона желоба к горизонтальной плоскости. Проанализируйте с учащимися данные, занесенные в таблицу. Обратите внимание учащихся на то, что с увеличением угла наклона КПД наклонной плоскости увеличивается.



### Принцип работы датчика силы

Датчик силы предназначен для прямого измерения прилагаемой к его крючку силы.

Датчик имеет пьезорезистивный полупроводниковый чувствительный элемент, изменение сопротивления которого прямо пропорционально прилагаемой силе. Измерение проводится по хорошо известной балансной мостовой схеме, в одном из плеч которой стоит пьезорезистивный чувствительный элемент, в остальных — обычные сопротивления равных номиналов. При нагрузке датчика происходит деформация (изгиб) чувствительного элемента, которая приводит к изменению его сопротивления и, как следствие, к появлению напряжения на выходе датчика, которое пропорционально приложенной силе. Питание датчика осуществляется через систему сбора данных напряжением +5 В.