



## § 27.

### Наклонная плоскость. «Золотое правило механики». Коэффициент полезного действия механизма

На примере рычагов и блоков мы узнали, что с помощью простых механизмов можно получить **выигрыш в силе**. А можно ли получить **выигрыш в работе**?

Прежде чем ответить на этот вопрос, изучим еще один простой механизм — *наклонную плоскость*. Она служит основой таких конструкций, как пандусы, эскалаторы, конвейеры и т. д. (рис. 192).

Дает ли применение наклонной плоскости выигрыш в силе? Рассмотрим пример. Грузчик перемещает тяжелый контейнер по наклонной плоскости (рис. 192, г). Сила, которую он при этом прикладывает, гораздо меньше, чем вес контейнера.



Рис. 192

Как рассчитать выигрыш в силе, который дает наклонная плоскость?

Проведем простой опыт. Поместим брусок массой  $m$  на наклонную плоскость длиной  $l = AB$  и высотой  $h = BC$  (рис. 193). Приложив к нему с помощью динамометра силу  $\vec{F}$ , параллельную наклонной плоскости, будем равномерно перемещать брусок вдоль нее. Показания динамометра  $F$  будут меньше, чем значение силы тяжести бруска

как  $F_T = mg$ . Отношение  $\frac{F_T}{F}$  определяет выигрыш в силе. От чего он зависит?

Рассмотрим все силы, действующие на брусок. Кроме силы  $\vec{F}$  и силы тяжести  $\vec{F}_T$ , на брусок действует сила реакции наклонной плоскости  $\vec{N}$ . При отсутствии трения она перпендикулярна наклонной плоскости. Силу  $\vec{F}_T$  разложим на две составляющие:  $\vec{F}_T = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$ .

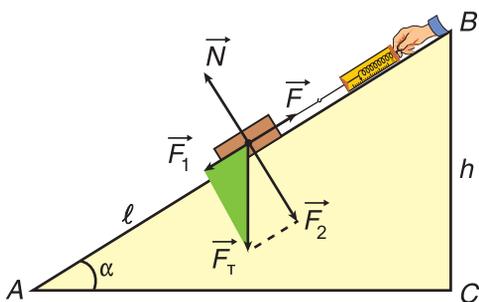


Рис. 193

Из подобия треугольника сил (выделенного цветом) и  $\triangle ABC$  следует:

$$\frac{F_T}{F_1} = \frac{AB}{BC} = \frac{l}{h}. \quad (1)$$

Так как при равномерном подъеме  $F_1 = F$ , то:

$$\frac{F_T}{F} = \frac{l}{h}. \quad (2)$$

**Выигрыш в силе, получаемый с помощью наклонной плоскости, равен отношению ее длины к ее высоте (при отсутствии трения).**

Чем меньше угол наклона  $\alpha$  плоскости к горизонту, тем больше отношение  $\frac{l}{h}$ , а значит, тем больше выигрыш в силе. Это подтверждается нашими повседневными наблюдениями. Тянуть санки, катить багажную тележку вверх по пологому склону гораздо легче, чем по крутому.

При выводе формулы (2) мы не учитывали трения. Но на самом деле трение есть. Из-за него при подъеме бруска приходится прилагать бóльшую силу, и выигрыш в силе будет меньшим.

На практике для уменьшения трения проводят смазку деталей, заменяют скольжение качением, применяют «воздушную подушку» (рис. 194).



Рис. 194

### ▼ Для любознательных

Идея наклонной плоскости заложена и в таких механизмах, как *клин* и *винт*. Разновидностью клина является *топор*, дающий большой выигрыш в силе. Винтовые домкраты (рис. 195, а) применяют для подъема автомобилей и других массивных объектов.



Рис. 195

Винты, болты, шурупы (рис. 195, б) используют для соединения деталей. При этом трение приносит как вред, так и пользу. Оно затрудняет завинчивание, но предотвращает самопроизвольное ослабление резьбовых соединений.

Мы выяснили, что большинство простых механизмов дают выигрыш в силе. А дают ли они *выигрыш в работе*?

С физической величиной, называемой «работа», и с ее единицей в СИ джоулем вы познакомились в 7-м классе.

### ▼ Для любознательных

Среди всех физических величин работа занимает особое место. Не совершив работы, нельзя привести в движение поезд, автомобиль, корабль, самолет, ракету и т. д. Нельзя перевезти груз, подняться на нужный этаж (ни пешком, ни на лифте). Невозможно построить дом и любое другое сооружение.

*Производственная деятельность невозможна без совершения работы.*

Значимость работы еще шире. *Непрерывно совершать работу необходимо для поддержания жизни.* Наше сердце при каждом ударе совершает работу, примерно равную одному джоулю.

Рассмотрим работу различных простых механизмов. Силу трения пока учитывать не будем.

**Наклонная плоскость.** Для нее *полезная работа* — это работа по подъему груза на высоту  $h$ :  $A_{\text{пол}} = F_{\text{т}}h$ . *Совершенная работа* прикладываемой силы  $\vec{F}$  по перемещению груза по наклонной плоскости на пути  $l$  равна:  $A_{\text{сов}} = F \cdot l$ . Из равенства (2)  $\frac{F_{\text{т}}}{F} = \frac{l}{h}$  получим:  $F_{\text{т}}h = F \cdot l$ , т. е.

$$A_{\text{пол}} = A_{\text{сов}}.$$

*Наклонная плоскость не дает выигрыша в работе.*

**Неподвижный блок.** Для него равны и модули сил, и пройденные пути (см. рис. 183, с. 123), а значит, и соответствующие работы. *Неподвижный блок выигрыша в работе не дает.*

**Подвижный блок.** Он дает выигрыш в силе, близкий к двум, но и двукратный проигрыш в пути (см. рис. 185, с. 124). *Подвижный блок также не дает выигрыша в работе.*

**Рычаг.** *Выигрыша в работе не дает и рычаг (как первого, так и второго рода).* Докажите это самостоятельно.

Все опыты подтверждают: **если с помощью простого механизма выигрывают в силе, то по меньшей мере во столько же раз проигрывают в пути.** Учитывая, что даже самый сложный механизм сводится к сочетанию простых механизмов, можно сделать вывод: **ни один механизм не дает выигрыша в работе.** Это утверждение получило название «золотое правило механики».

Итак, выиграть в работе нельзя. А вот проиграть — можно. Причина этому — сила трения. Кроме того, существуют и другие потери, например работа по подъему самого механизма в процессе его использования. Из-за этого совершенная работа  $A_{\text{сов}}$  всегда больше, чем полезная работа  $A_{\text{пол}}$ :

$$A_{\text{сов}} > A_{\text{пол}}.$$

Отношение  $\frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сов}}}$  называется **коэффициентом полезного действия (КПД)**. КПД, выраженный в процентах, равен:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сов}}} \cdot 100 \%$$

Так как совершенная работа всегда больше полезной, КПД механизма всегда меньше единицы (т. е. меньше 100 %). Чтобы увеличить КПД, необходимо уменьшить «бесполезную» работу. Прежде всего — работу по преодолению сил трения.

Машина, которая имела бы  $\eta = 100 \%$  или более, называется вечным двигателем. Весь опыт развития науки и техники говорит о том, что вечный двигатель неосуществим. Заметим, однако, что попытки его изобрести не прекращаются до сих пор.

▼ **Для любознательных**

Идея создания вечного двигателя возникла в далеком прошлом. На его создание были направлены усилия изобретателей на протяжении нескольких веков.

На рисунке 196 изображен один из проектов вечного двигателя. Разберитесь самостоятельно или с помощью учителя: почему автор устройства считал, что оно будет самопроизвольно вечно вращаться? Чего не учел автор?

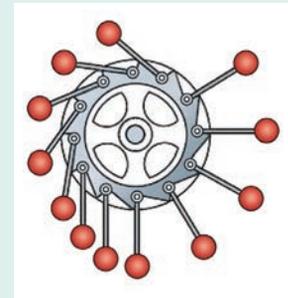


Рис. 196

■ **Главные выводы**

1. Наклонная плоскость дает выигрыш в силе во столько раз, во сколько раз ее длина больше высоты.
2. Ни один механизм не дает выигрыша в работе: во сколько раз выигрывают в силе, во столько раз проигрывают в пути.
3. Из-за силы трения и других потерь коэффициент полезного действия любого механизма меньше 100 %.

## Контрольные вопросы

1. Какой выигрыш в силе дает наклонная плоскость?
2. Какая работа при использовании простого механизма называется полезной? Совершенной?
3. Почему совершенная работа всегда больше полезной?
4. Что называется коэффициентом полезного действия механизма? Может ли КПД быть равным или больше 100 %?
5. Что является причиной, не позволяющей получить КПД, равный 100 %, при использовании блока? Наклонной плоскости?
6. Как повысить коэффициент полезного действия механизма?

## Домашнее задание

Оцените КПД пандуса, используемого в вашем доме или на другом объекте для перемещения груза: а) волоком; б) в багажной коляске.



### Пример решения задачи

С помощью подвижного блока ведро песка массой  $m = 20$  кг поднимают на высоту  $h = 4,0$  м, прилагая к канату силу  $F = 110$  Н. Определите совершенную при этом подъеме работу и КПД блока. Модуль ускорения свободного падения  $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

Дано:  
 $m = 20$  кг  
 $h = 4,0$  м  
 $F = 110$  Н  
 $A_{\text{сов}} = ?$   
 $\eta = ?$

### Решение

При использовании подвижного блока происходит проигрыш в пути в 2 раза, т. е.  $s = 2h$ . Совершенная работа:

$$A_{\text{сов}} = F \cdot s = 2Fh.$$

$$A_{\text{сов}} = 2 \cdot 110 \text{ Н} \cdot 4,0 \text{ м} = 880 \text{ Дж} = 0,88 \text{ кДж}.$$

Полезная работа по подъему ведра с песком:

$$A_{\text{пол}} = mgh.$$

КПД блока:

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_{\text{сов}}} \cdot 100 \% = \frac{mgh}{2Fh} \cdot 100 \% = \frac{mg}{2F} \cdot 100 \%$$

$$\eta = \frac{20 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{2 \cdot 110 \text{ Н}} \cdot 100 \% = \frac{200 \text{ Н}}{220 \text{ Н}} \cdot 100 \% = 91 \%$$

Ответ:  $A_{\text{сов}} = 0,88$  кДж;  $\eta = 91$  %.

### Упражнение 22

1. Потенциальная энергия гири (рис. 197) при подъеме увеличилась на  $\Delta E_{\text{п}} = 10$  Дж. Может ли работа, совершенная силой  $\vec{F}$ , быть равной: а)  $A = 10$  Дж; б)  $A < 10$  Дж; в)  $A > 10$  Дж? Ответы поясните.

2. Для равномерного подъема ведра с песком массой  $m = 10$  кг на высоту  $h = 5,0$  м с помощью неподвижного блока потребовалась сила, модуль которой  $F = 110$  Н. Определите полезную и совершенную работу. Найдите КПД установки. Все ли данные нужны для определения КПД? Модуль ускорения свободного падения  $g$  в данной и последующих задачах примите равным  $g = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

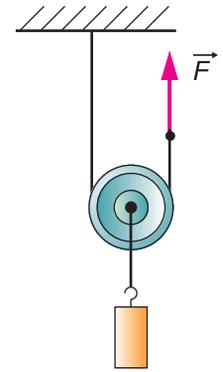


Рис. 197

3. Определите полезную и совершенную работу при подъеме груза (рис. 197) массой  $m = 2,0$  кг на высоту  $h = 0,40$  м, если приложенная сила имеет модуль  $F = 12,5$  Н. Определите КПД установки.

4. При использовании рычага с длиной плеч  $l_1 = 160$  см и  $l_2 = 20$  см камень массой  $m = 100$  кг был поднят на высоту  $h = 5,0$  см с помощью силы, модуль которой  $F = 150$  Н. Чему равны полезная и совершенная работа и КПД данного рычага?

5. Плита массой  $m = 120$  кг была равномерно поднята с помощью подъемного механизма на высоту  $h = 16$  м за промежуток времени  $t = 30$  с. Считая КПД  $\eta = 80\%$ , определите совершенную работу и развиваемую мощность.

6. Определите полезную работу по подъему поддона кирпича краном с мощностью двигателя  $P = 4,0$  кВт за время  $t = 10$  с. КПД крана  $\eta = 75\%$ .

7. При подъеме с постоянной скоростью  $v = 0,40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  ведра цемента массой  $m = 40$  кг с помощью подвижного блока на высоту  $h = 12$  м модуль прилагаемой силы был равен  $F = 250$  Н. Определите КПД и развиваемую мощность. Как изменилась бы мощность, если бы при подъеме скорость ведра увеличивалась?

8. Для подъема сейфа массой  $m = 220$  кг в кузов грузового автомобиля на высоту  $h = 1,5$  м используют доску длиной  $l = 3,0$  м. Сейф перемещают равномерно, прикладывая параллельно плоскости доски силу, модуль которой  $F = 1,5$  кН. Сделайте схематический рисунок к условию задачи. Определите КПД этого простого механизма.