

-2. Подъемный механизм – винт

Условие

Задача 9-2. Подъемный механизм – винт.

Известно много простых механизмов, одним из них является винт – свойства которого Вам предстоит исследовать в данной работе.

Приборы и оборудование: штатив с лапкой, болт с гайкой, динамометр, штангенциркуль, нитки, пластиковая бутылка, мерный стакан, вода.

Плотность воды считайте равной $\rho = 1,0 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

Ускорение свободного падения $g = 9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Прочно закрепите гайку в лапке штатива, так, чтобы вкрученный в нее болт располагался вертикально. Намотайте нитку на болт (непосредственно под головкой болта), к нижней части болта привяжите с помощью нитки пластиковую бутылку. Массу этого груза вы можете изменять, доливая в бутылку известное количество воды. Если потянуть за нить, намотанную на болт, то он начнет вращаться, поднимая (или опуская) груз. Эту силу можно измерить с помощью динамометра.

Часть 1. Почти теоретическая.

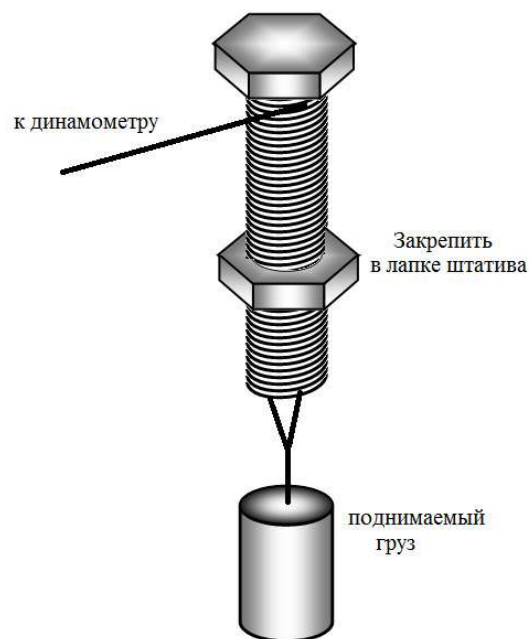
1.1 Рассчитайте, какой выигрыш в силе (отношение силы тяжести поднимаемого груза к силе, прикладываемой к нити) может дать данное подъемное устройство при отсутствии силы трения на резьбе болта.

Приведите расчетную формулу. Проведите необходимые измерения геометрических параметров вашего подъемного устройства, на основании которых проведите требуемые расчеты.

Часть 2. Почти экспериментальная.

2.1 Измерьте зависимости силы, которую следует приложить к нити, чтобы поднимать груз, от массы поднимаемого груза.

2.2 Из-за заметного трения, чтобы опускать груз также необходимо прикладывать к нити некоторую силу. Измерьте зависимость силы, которую следует приложить к нити, что бы груз опускался, от массы подвешенного груза.



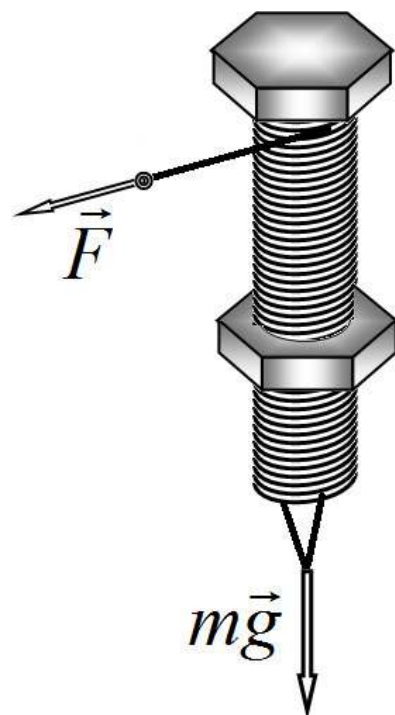
2.3 Постройте графики полученных в пп. 2.1 - 2.2 зависимостей.

2.4 Используя полученные экспериментальные данные, рассчитайте коэффициент трения гайки о болт.

2.5 Используя полученные данные, рассчитайте коэффициент полезного действия Вашего подъемного механизма.

Решение

Задача 9-2. Подъемный механизм – винт.



Часть 1. Почти теоретическая.

За один оборот винта нить разматывается на величину $L = \pi D$ (где $D = 5,0$ мм), при этом груз поднимется на высоту, равную шагу винта $h = 0,8$ мм. Используя «золотое правило механики», запишем

$$F \cdot \pi D = mg \cdot h \quad (1)$$

Из этого выражение следует, что максимально возможный выигрыш в силе равен

$$K = \frac{mg}{F} = \frac{\pi D}{h} \approx 20 \quad (2)$$

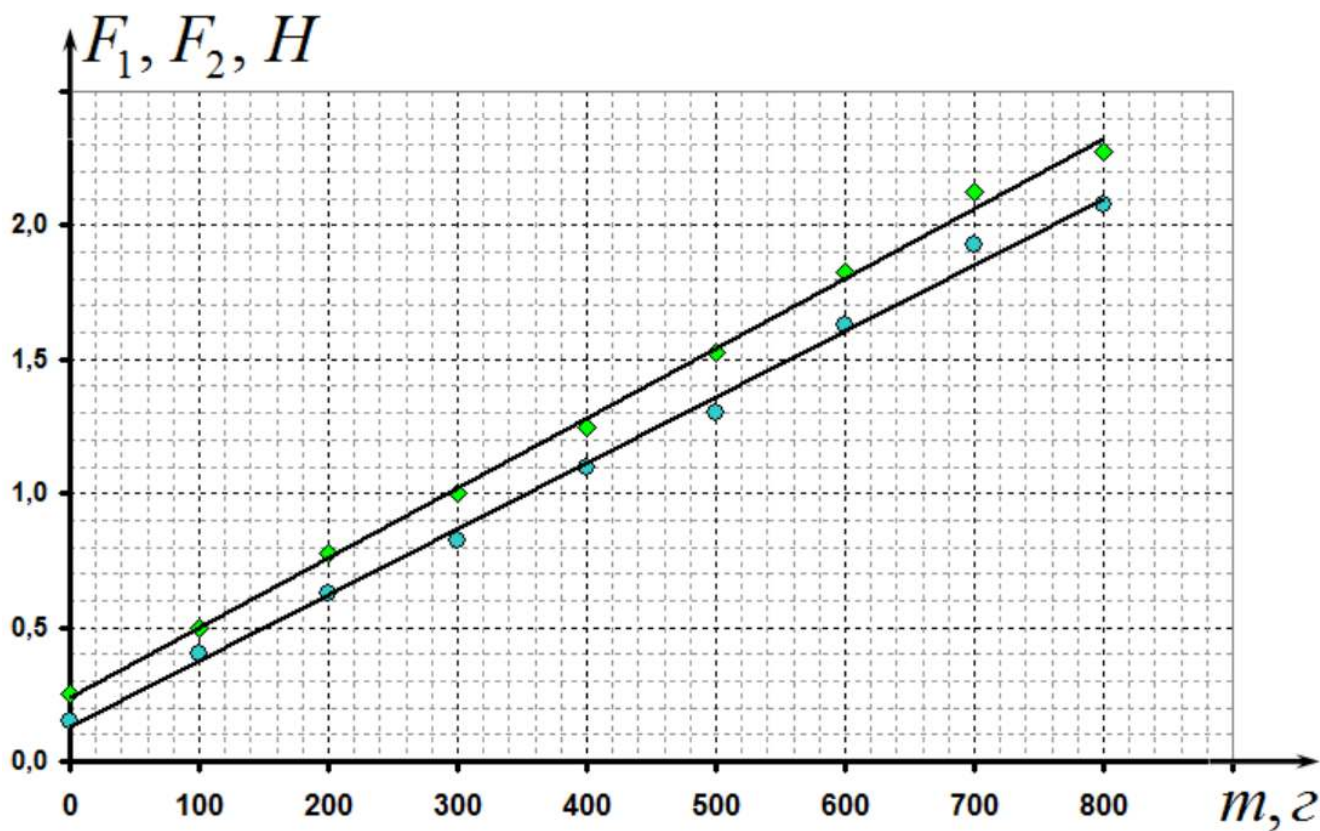
Часть 2. Почти экспериментальная.

Результаты измерений зависимости сил (F_1 - при подъеме, F_2 - при опускании) от массы подвешенного груза приведены в таблице 1.

Таблица 1.

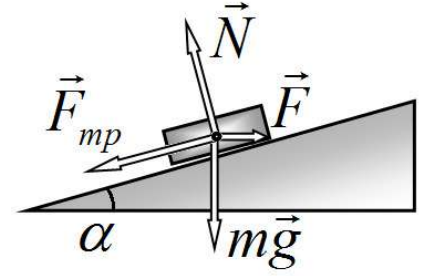
$m, \text{ г}$	$F_1, \text{ Н}$	$F_2, \text{ Н}$	$\frac{1}{2}(F_1 + F_2), \text{ Н}$
0	0,250	0,150	0,200
100	0,500	0,400	0,450
200	0,775	0,625	0,700
300	1,000	0,825	0,913
400	1,250	1,100	1,175
500	1,525	1,300	1,413
600	1,825	1,625	1,725
700	2,125	1,925	2,025
800	2,275	2,075	2,175

Графики полученных зависимостей показаны на рисунке.



Полученные зависимости являются практически линейными, но мало отличающимися друг от друга, что свидетельствует о существенной роли силы трения между болтом и гайкой.

Для расчета коэффициента трения необходимо провести теоретическое описание процесса подъема и опускания. Движение резьбы болта по резьбе гайки подобно движению груза по наклонной плоскости. Из рисунка следует, что действующие на болт (при его подъеме) силы равны $N = mg \cos \alpha + F \sin \alpha$ $F_{\text{тр}} = \mu(mg \cos \alpha + F \sin \alpha)$ При равномерном движении должно выполняться равенство сил, которое в проекции на горизонтальную ось имеет вид



$$F = F_{\text{тр}} \cos \alpha + N \sin \alpha = \mu(mg \cos \alpha + F \sin \alpha) \cos \alpha + (mg \cos \alpha + F \sin \alpha) \sin \alpha. \quad (3)$$

Учитывая, что угол $\alpha \approx \frac{h}{\pi D} \approx 0,05$ мал, решение уравнения (3) можно записать в приближенном виде

$$F_1 = \mu(mg + mg \sin \alpha) \quad (4)$$

Аналогичное рассмотрение сил при опускании груза приводит к формуле

$$F_2 = \mu(mg - mg \sin \alpha) \quad (5)$$

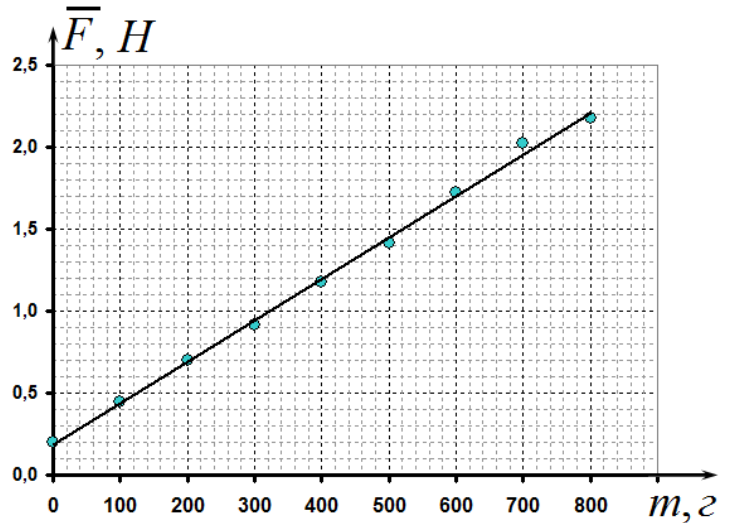
Для определения коэффициента трения можно построить зависимость полусуммы сил от массы подвешенного груза

$$\frac{F_1 + F_2}{2} = \mu mg \quad (6)$$

График этой зависимости показан на рисунке. Коэффициент наклона графика равен $a \approx 2,5 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{г}} = 2,5 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$. Из формулы (6) следует, что его теоретическое значение равно μg , поэтому значение коэффициента трения оказывается равным

$$\mu g = a \Rightarrow \mu = \frac{a}{g} \approx 0,25$$

КПД данного устройства разумно определить, как отношение работы по подъему груза за один оборот винта $A_{\text{пол}} = mgh$ к совершенной работе $A_0 = \pi D F_1$



$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_0} = \frac{mgh}{\pi D F_1}. \quad (7)$$

Нами построен график зависимости $F_1(m)$. Его коэффициент наклона равен $a_1 \approx 2,6 \cdot 10^{-3} \frac{\text{Н}}{\text{г}} = 2,6 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$. Следовательно, среднее значение КПД подъемного механизма равно

$$\eta = \frac{A_{\text{пол}}}{A_0} = \frac{gh}{\pi D} \frac{1}{a_1} \approx 0,20 \quad (8)$$