

Изучение силы трения

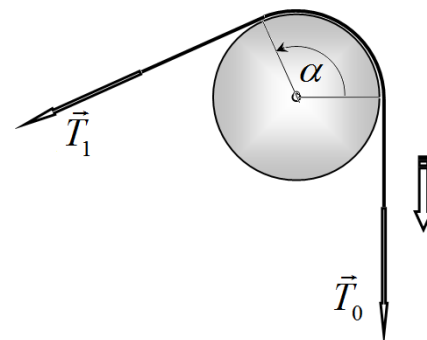
Часть 1. Трение на цилиндрическом стержне

Теоретическая подсказка:

При скольжении нити по боковой поверхности цилиндра, вследствие трения сила натяжения нити уменьшается в γ раз. Это уменьшение силы натяжения описывается формулой Эйлера:

$$T_1 = \gamma T_0 = T_0 \exp(-\mu\alpha) \quad (1)$$

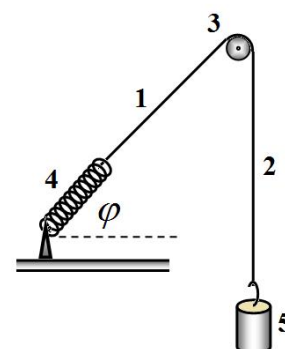
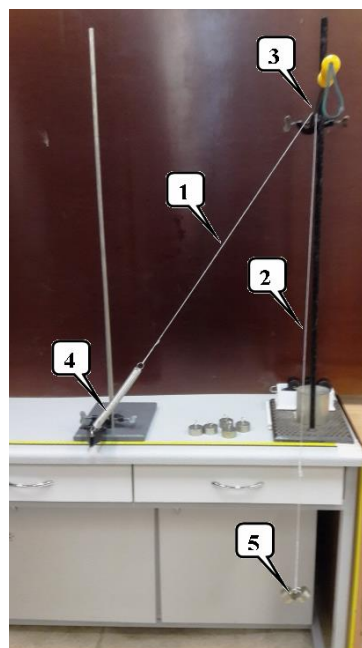
где μ - коэффициент трения нити о боковую поверхность цилиндра, α - угол охвата нитью цилиндра.



Целью данной части работы является проверка выполнимости формулы Эйлера, определение коэффициентов уменьшения силы натяжения γ и коэффициента трения μ .

Для выполнения экспериментальных измерений использована установка, показанная на фотографии и схеме.

Прочная легкая нерастяжимая нить (1-2) переброшена через горизонтально закрепленный стержень (3). Один конец нити (1) прикреплен к пружине (4), второй конец пружины закреплен. Ко второму концу нити (2) подвешиваются грузы, массу которых можно изменять. Точку крепления пружины можно менять, изменяя при этом угол φ , который образует часть нити (1) с горизонтом.



Во всех экспериментах используется одна и та же пружина. Обозначим жесткость пружины k , можно считать, что сила упругости данной пружины при ее растяжении подчиняется закону Гука

$$F = k\Delta x, \quad (2)$$

где Δx - удлинение пружины. Сжиматься данная пружина не может. Масса пружины значительно меньше массы подвешиваемых грузов.

Методика проведения измерений.

В ходе экспериментов измеряется длина пружины x при различных массах подвешенных грузов m в состоянии покоя.

Из-за наличия трения грузы и пружина могут находиться в равновесии в некотором диапазоне их положений (зона застоя). Для определения границ этой области покоя измерения проводятся следующим образом:

- груз опускают вниз ниже положения равновесия, при этом пружина растягивается, после этого грузам позволяют очень медленно (для этого нить в процессе ее движения

придерживают рукой) поднимаются до остановки; после этого измеряют длину деформированной пружины x_1 ;

- груз поднимают выше положения равновесия, после этого грузы медленно (нить опять слегка придерживают рукой) опускаются до остановки; после этого измеряют длину деформированной пружины x_2 .

Измерения длин пружин проводятся с помощью металлической линейки. Приборная погрешность измерения $\delta x = 0,5 \text{ мм}$.

Для изменения массы подвешенных грузов, к нити подвешивали разное число стандартных эталонных грузов, масса каждого из них равна $m_{\text{et}} = (100,0 \pm 0,5) \text{ г}$.

Ускорение свободного падения считать равным $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Эксперимент 1.1

В этом эксперименте нить (1) расположена вертикально ($\varphi = 90^\circ$).

Результаты измерений границ положения равновесия x_1 и x_2 при различном числе подвешенных эталонных грузов n приведены в Таблице 1.1

Таблица 1.1

n	x_1 , см	x_2 , см
1	12,2	10,8
2	16,1	12,4
3	20,2	14,1
4	24,1	16,6
5	27,5	19,2
6	30,7	21,3
7	34,2	23,6

Задания.

1.1. Получите теоретические формулы для зависимостей длин деформированных пружин $x_1(m)$, $x_2(m)$ от массы подвешенных грузов m . Результаты выразите через следующие параметры установки: жесткость пружины k , ее длину в недеформированном состоянии l_0 , коэффициент уменьшения силы натяжения нити на стержне γ .

1.2. На одном бланке в Листе ответов постройте графики экспериментальных зависимостей длин пружины x_1 и x_2 от числа подвешенных грузов n .

1.3. Считая, что полученные экспериментальные зависимости являются линейными и описываются функциями

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 n + b_1 \\ x_2 &= a_2 n + b_2 \end{aligned} \quad (3)$$

Рассчитайте численные значения параметров (a_1, b_1, a_2, b_2) этих зависимостей. Оцените погрешности найденных значений.



ЭКСПЕРИМЕНТ



1.4. Используя полученные данные, рассчитайте:

- длину пружины в недеформированном состоянии l_0 ;
- жесткость пружины k ;
- коэффициент уменьшения силы натяжения γ ;
- коэффициент трения нити о стержень μ ;

Оцените погрешности найденных значений. Приведите формулы, по которым Вы провели расчеты.

Эксперименты 1.2, 1.3.

В этих экспериментах проведены аналогичные измерения в тех случаях, когда нить (1) расположена:

- горизонтально $\varphi = 0$ (эксперимент 2);
- образует угол $\varphi = 45^\circ$ с горизонтом (эксперимент 3).

В таблицах 1.2, 1.3 приведены результаты экспериментов 2, 3 (зависимости длин пружины x_1 и x_2 от числа подвешенных эталонных грузов n).

Для упрощения Вашей работы, приведены графики полученных зависимостей, на которых также указаны линейные функции, описывающие полученные зависимости. Вы можете использовать приведенные значения коэффициентов этих зависимостей.

Таблица 1.2. Нить (1) горизонтальна $\varphi = 0^\circ$.

n	x_1 , см	x_2 , см
1	11,8	11,6
2	15,2	13,6
3	18,5	15,9
4	21,5	18,8
5	24,9	21,2
6	28,0	24,0
7	31,6	26,5

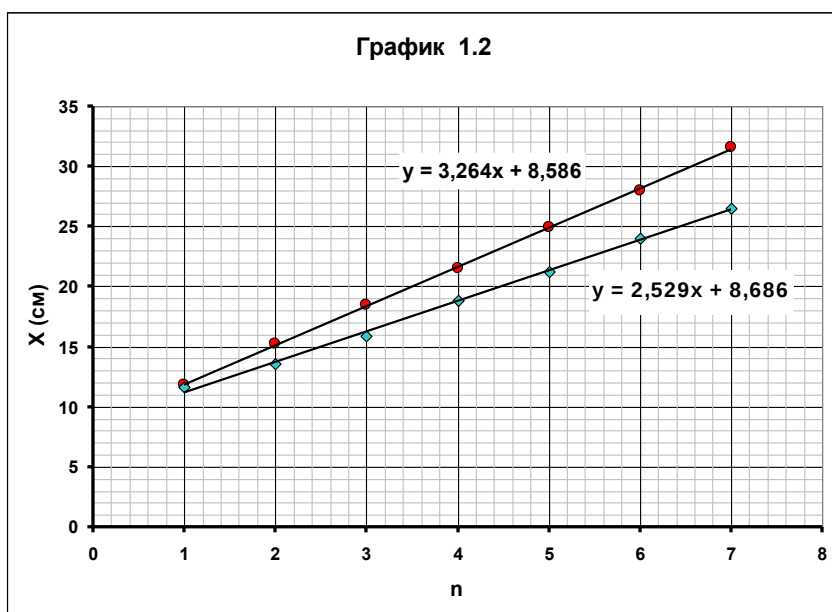
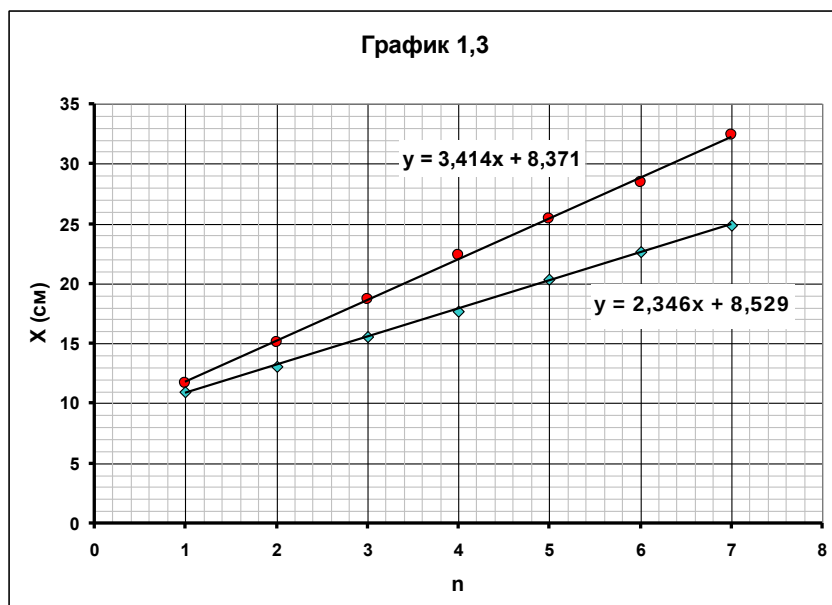


Таблица 1.3. Нить (1) под углом $\varphi = 45^\circ$.

n	x_1 , см	x_2 , см
1	11,7	11,0
2	15,1	13,1
3	18,7	15,6
4	22,4	17,7
5	25,4	20,4
6	28,5	22,7
7	32,4	24,9





ЭКСПЕРИМЕНТ



Задания.

1.5. Используя приведенные данные, рассчитайте значения коэффициентов γ для углов охвата в экспериментах 1.2 и 1.3. Рассчитайте значения коэффициентов трения μ по результатам экспериментов 1.2 и 1.3.

Расчет погрешностей в этом пункте не требуется.

1.6. Определите, применима ли формула Эйлера (1) для описания результатов приведенных данных. Свой ответ аргументируйте графически, или на основании дополнительных расчетов.

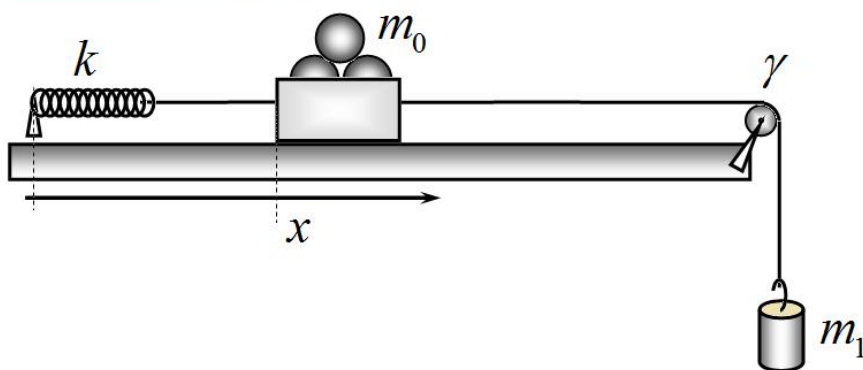
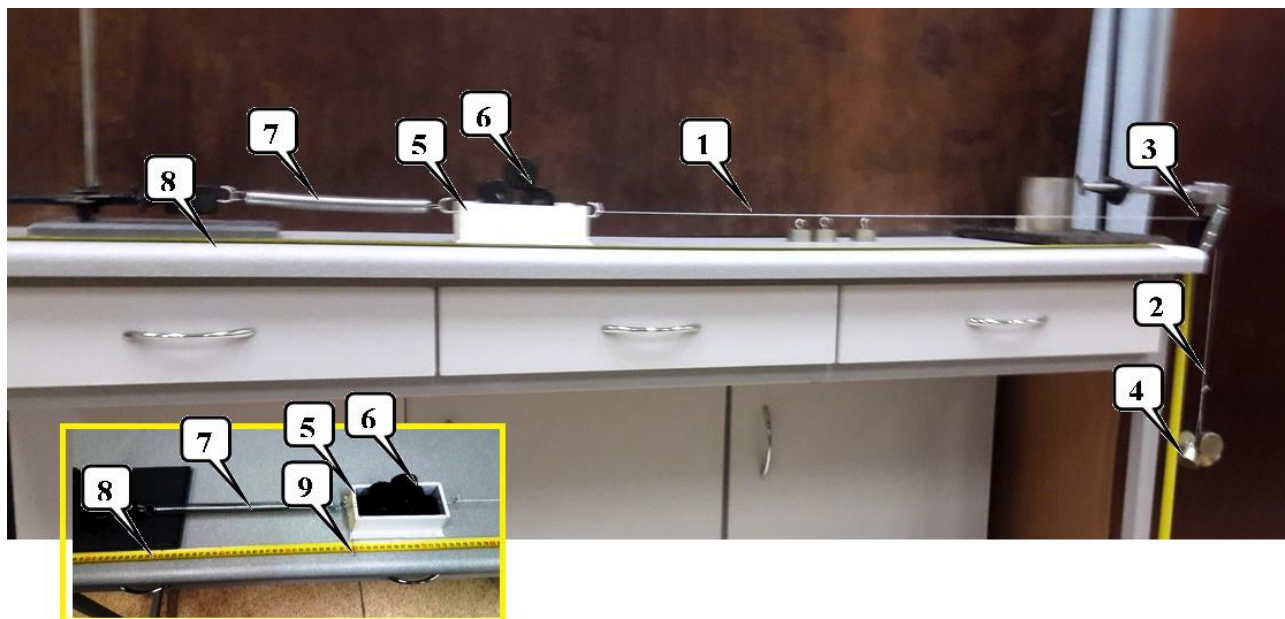
1.7. Используя данные всех экспериментов, уточните значение коэффициента трения нити о стержень. Оцените погрешность найденного уточненного значения. Считайте, что погрешности расчета коэффициентов трения во всех экспериментах одинаковы и совпадают с погрешностью, рассчитанной в эксперименте 1.1

Часть 2. Трение скольжения на горизонтальной поверхности.

Оценка погрешностей в данной части задачи не требуется!

В этой части задачи исследуется сила трения между пластиковой коробкой и горизонтальной поверхностью стола.

Для проведения измерений используется следующая установка.



Прочная легкая нерастяжимая нить (1-2) переброшена через блок (3). К свисающему концу нити (2) прикрепляют грузы (4). К другому горизонтальному участку нити (1) привязана пластиковая коробка (5), в которую укладывают дополнительные грузы (6). К коробке прикреплена пружина (7), расположенная также горизонтально. Второй конец пружины закреплен. На поверхности стола закреплена мерная лента (8), с помощью которой измеряется координата края коробки. Для повышения точности измерений координаты, к коробке прикреплена тонкая стрелка (9).

Массы подвешенных грузов обозначим $m_1 = n_1 m_{\text{et}}$, где n_1 - число подвешенных эталонных грузов. Массу коробки с дополнительными грузами обозначим $m_0 = n_0 m_{\text{et}} + m_b$, где n_0 - число дополнительных эталонных грузов, помещенных в коробку, m_b - масса коробки.

Жесткость пружины обозначим k . Несмотря на то, что в этом эксперименте используется та же пружина, ее жесткость будет необходимо определить на основании данных экспериментов этой части.

В оси блока действуют силы трения, пренебрегать которыми нельзя. Коэффициент ослабления силы натяжения нити вследствие трения в оси блока обозначим γ . Этот коэффициент существенно отличается от аналогичного коэффициента, найденного в Части 1 данной работы.

Координата коробки x отсчитывает от края стола и «не привязана» к данной установке. Координату коробки при недеформированной пружине обозначим x_0 (эту величину вам необходимо определить).

Из-за наличия трения (как на столе, так и в оси блока) существует область «застоя», в пределах которой коробка может находиться в состоянии покоя.

Для измерения границ этой области используется методика, аналогичная методике, использованной в Части 1. Сначала коробку смещают вправо, растягивая пружину так, чтобы коробка вышла из зоны застоя вправо; после этого коробку отпускают и дают ей возможность медленно двигаться влево (при этом нить слегка придерживают рукой) до остановки. Координату места остановки в этом случае обозначим x_1 . Затем эксперимент повторяют в обратном направлении: коробку смещают влево, выводя ее из зоны застоя; потом коробку отпускают, и она медленно движется вправо (при этом нить также придерживают рукой) до остановки. Координату места остановки в этом случае обозначим x_2 .

Ниже в таблицах и на графиках представлены результаты измерений зависимостей координат остановки x_1 и x_2 от числа подвешенных грузов n_1 , при различном числе грузов n_0 , помещенных в коробку. На графиках приведены уравнения прямых

$$\begin{aligned} x_1 &= a_1 n_1 + b_1 \\ x_2 &= a_2 n_1 + b_2 \end{aligned} \quad (4)$$

описывающих полученные линейные зависимости. Уравнения приведены для линейных участков. Вы можете использовать параметры этих зависимостей в своих расчетах.

Таблица 2.1 $n_0 = 2$

n_1	x_2 , см	x_1 , см
1	44,0	47,5
2	45,1	50,6
3	47,8	53,6
4	51,0	56,5
5	53,5	59,6
6	56,1	62,6
7	59,0	65,8

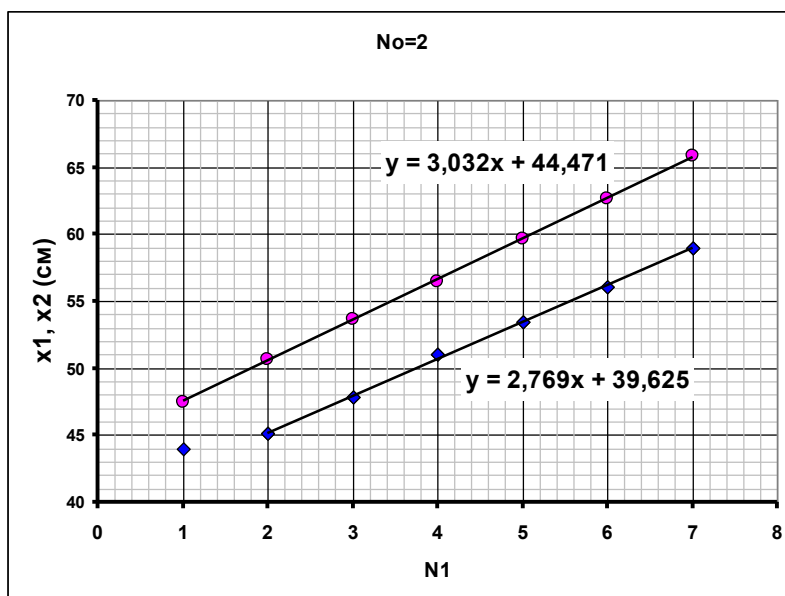


Таблица 2.2 $n_0 = 3$

n_1	x_2 , CM	x_1 , CM
1	44,0	48,8
2	44,5	51,8
3	46,7	54,6
4	49,5	57,9
5	52,5	60,5
6	54,8	64,1
7	58,1	66,7

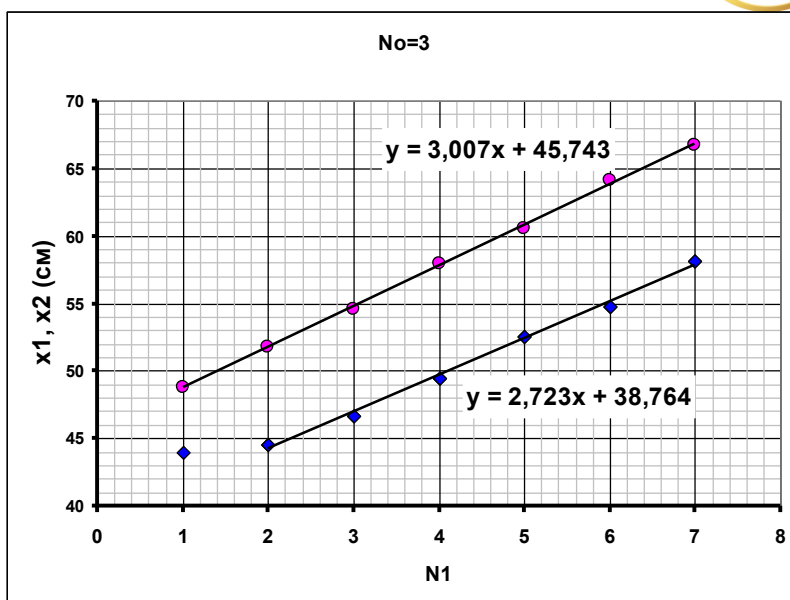


Таблица 2.3 $n_0 = 4$

n_1	x_2 , CM	x_1 , CM
1	44,0	49,7
2	44,0	52,5
3	46,0	55,5
4	48,3	58,8
5	51,6	61,9
6	54,1	65,0
7	57,0	67,7

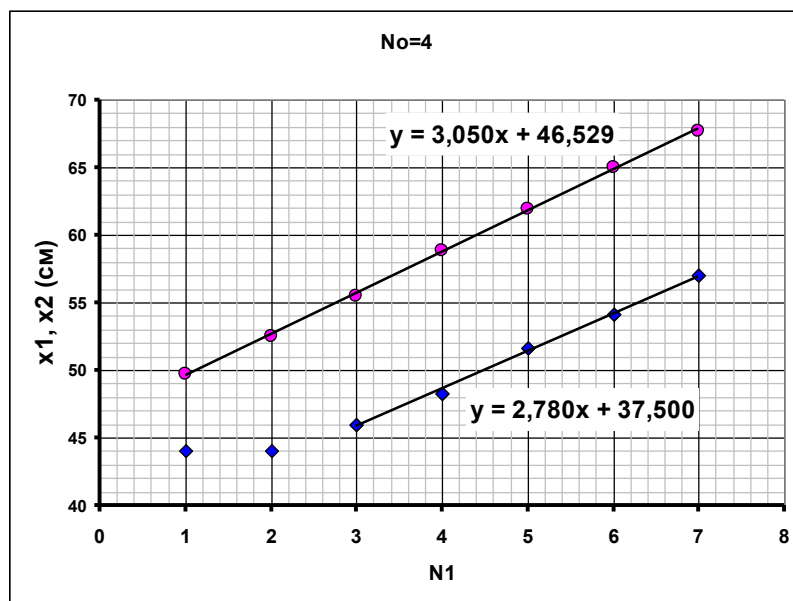


Таблица 2.4 $n_0 = 5$

n_1	x_2 , CM	x_1 , CM
1	44,0	51,0
2	44,0	53,0
3	45,1	56,4
4	47,3	59,8
5	50,5	63,0
6	53,3	66,0
7	56,2	68,9

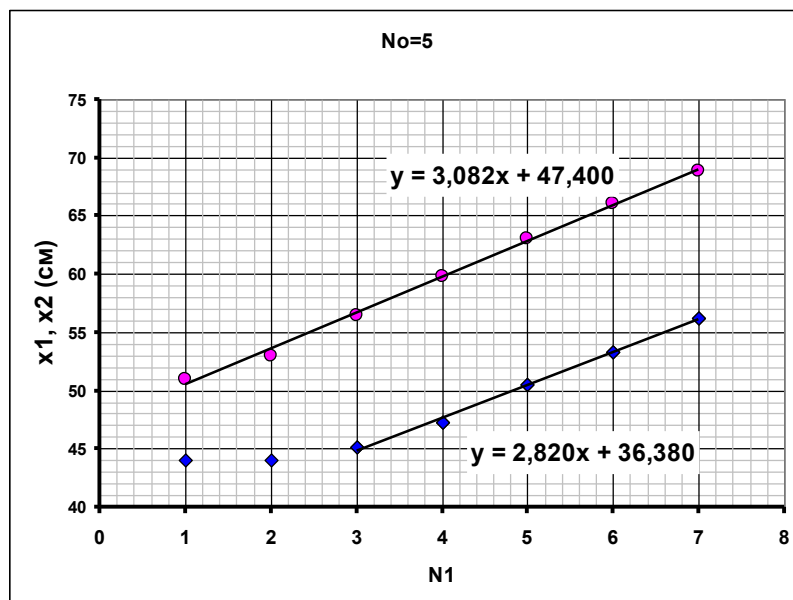
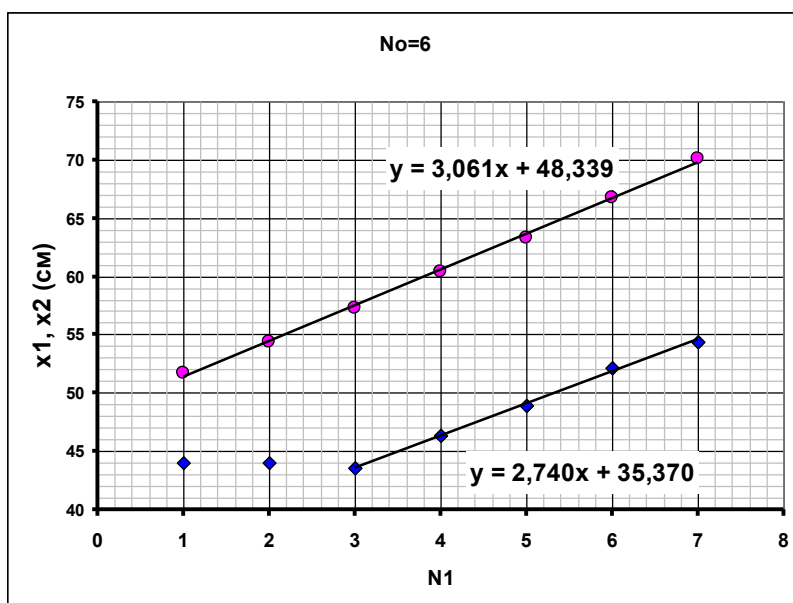


Таблица 2.5 $n_0 = 6$

n_1	x_2 , CM	x_1 , CM
1	44,0	51,7
2	44,0	54,4
3	43,6	57,3
4	46,3	60,4
5	48,9	63,3
6	52,1	66,7
7	54,4	70,1



Задания.

2.1. Определите координату коробки x_0 , при недеформированной пружине.

Использовать найденное значение x_0 в данной части задачи не рекомендуется, так погрешность его определения велика.

2.2. Получите теоретические формулы, описывающие зависимости координат крайних точек зоны застоя x_1 и x_2 от массы подвешенного груза m_1 . Результаты выразите через коэффициент жесткости пружины k , коэффициент уменьшения силы натяжения нити на блоке γ , и модуль силы трения скольжения F .

2.3. Для каждого значения числа грузов n_0 , помещенных в коробку, рассчитайте значения жесткости пружины k и коэффициента γ . Приведите формулы, по которым проведен расчет. Результаты ваших расчетов занесите в таблицу в Листе ответов.

2.4. Используя все результаты измерений этой части задачи, рассчитайте с минимальной погрешностью значения жесткости пружины $\bar{k}$ и коэффициента $\bar{\gamma}$. Приведите формулы, по которым проведен расчет.

2.5. Рассчитайте значения модуля силы трения скольжения F для каждого значения n_0 - числа грузов в коробке. Постройте график полученной зависимости.

2.6 Используя результаты п. 2.5, рассчитайте значение коэффициента трения коробки о поверхность μ и массу коробки m_b .