

Условие

Задание 10-1. Магнитное взаимодействие

Оборудование: пластинка магнитная (монетница 7,0х12,5см, можно больших размеров, но не меньших), шайба под гайку (20шт., диаметр – 2,0см с как можно меньшим внутренним отверстием), динамометры (2,5Н и 5,0Н), весы электронные (одни на кабинет), листочки из тетрадной бумаги (12 шт, размеры 6,0х8,0см), полоска из тетрадной бумаги с прикреплённой петелькой из скотча посередине меньшей стороны (размеры полоски 7,0х15,0см), штатив с лапкой, дощечка (40 – 60см), мерная лента, линейка (30 – 40см), скотч узкий, ножницы.

Часть 1. Коэффициент трения

1.1 Определите однократным измерением коэффициент трения μ бумаги о магнитную пластинку. Опишите эксперимент (3 – 4 предложения).

1.2 Результат запишите в виде $\mu = \langle \mu \rangle \pm \Delta\mu$.

Часть 2. Магнитная сила

2.1 Прикрепите магнитную пластинку к поверхности стола. Положите бумажную полоску с петелькой на магнитную пластинку. На полоску положите в один слой несколько шайб. Прилагая горизонтальную силу к полоске с помощью динамометра, смещайте её и наблюдайте за показаниями динамометра. Получите уравнение зависимости силы упругости, показываемой динамометром, от количества шайб на полоске $F_{\text{упр2}}(n)$ при равномерном перемещении.

2.2 Исследуйте зависимость $F_{\text{упр2}}(n)$ экспериментально (значение силы определяйте именно при равномерном перемещении, а не при срыве полоски с места). Результаты представьте таблично и графиком линеаризованной зависимости.

2.3 По результатам эксперимента определите магнитную силу $F_{\text{м1}}$, действующую на одну шайбу со стороны магнитной пластинки. Укажите, какие дополнительные измерения Вы провели. Результат представьте в виде $F_{\text{м1}} = \langle F_{\text{м1}} \rangle \pm \Delta F_{\text{м1}}$.

Часть 3. Простая эмпирическая зависимость

3.1 В данной части шайбы укладываем в столбик. Исследуйте зависимость силы упругости, показываемой динамометром от количества шайб в столбике при равномерном перемещении листка $F_{\text{упр3}}(n)$. *Подсказка:* шайбы укладывайте в три или четыре столбика, в таблице указывайте количество шайб в одном столбике.*

3.2 По результатам эксперимента определите математический вид зависимости силы магнитного взаимодействия между шайбами и пластинкой от количества шайб в столбике $F_{\text{м}}(n)$. Дайте объяснение полученным результатам.

Часть 4. Сложная эмпирическая зависимость

4.1 Исследуйте зависимость силы упругости, показываемой динамометром от количества слоёв бумаги между магнитной пластинкой и шайбами при равномерном перемещении листка $F_{\text{упр4}}(n_{\text{сл}})$. В данном эксперименте одинаковое количество шайб укладывайте в один слой.

4.2 По результатам эксперимента определите математический вид зависимости $F_{\text{упр4}}(n_{\text{сл}})$. Зависимость получите с числовыми коэффициентами.

В части 3 и 4 погрешности вычислять не нужно! ($g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$)

Решение

Задание 10-1. Магнитное взаимодействие *Решение Часть 1*

1.1 Коэффициент трения определим по тангенсу угла наклона плоскости, при котором листок бумаги будет начинать соскальзывать с пластинки с исчезающе малой скоростью. Пластинку закрепим скотчем на дощечке и с помощью штатива устанавливаем дощечку под необходимым углом. Вертикальный и горизонтальный катеты замеряем с помощью линейки и мерной ленты. $h = (14,8 \pm 0,1)$ см, $l = (42,8 \pm 0,1)$ см.

$$\langle \mu \rangle = \frac{\langle h \rangle}{\langle l \rangle} = \frac{14,8 \text{ см}}{42,8 \text{ см}} = 0,346. \quad (1)$$

1.2

$$\varepsilon_\mu = \sqrt{\left(\frac{\Delta h}{\langle h \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{\langle l \rangle}\right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,1 \text{ см}}{14,8 \text{ см}}\right)^2 + \left(\frac{0,1 \text{ см}}{42,8 \text{ см}}\right)^2} = 0,007 = 0,7\%, \quad (2)$$

Допускается упрощённое уравнение

$$\varepsilon_\mu = \frac{\Delta h}{\langle h \rangle} + \frac{\Delta l}{\langle l \rangle} \quad (2')$$

.

$$\Delta \mu = \langle \mu \rangle \cdot \varepsilon_\mu = 0,346 \cdot 0,007 = 0,0024 = 0,003. \quad (3)$$

Абсолютную погрешность округляем с избытком.

$$\mu = (0,346 \pm 0,003).$$

Часть 2

2.1

$$F_{\text{упр2}} = F_{\text{тр}}, \quad (4)$$

$$F_{\text{тр}} = \mu N, \quad (5)$$

$$N = n(m_1 g + F_{\text{м1}}), \quad (6)$$

где m_1 — масса одной шайбы. Массой бумажной полоски пренебрегаем, так как сила тяжести, действующая на полосу много меньше магнитной силы $F_{\text{м1}}$, действующей на шайбу со стороны магнитной пластинки. Подставляя (6) и (5) в (4), получим:

$$F_{\text{упр2}} = \mu(m_1 g + F_{\text{м1}})n. \quad (7)$$

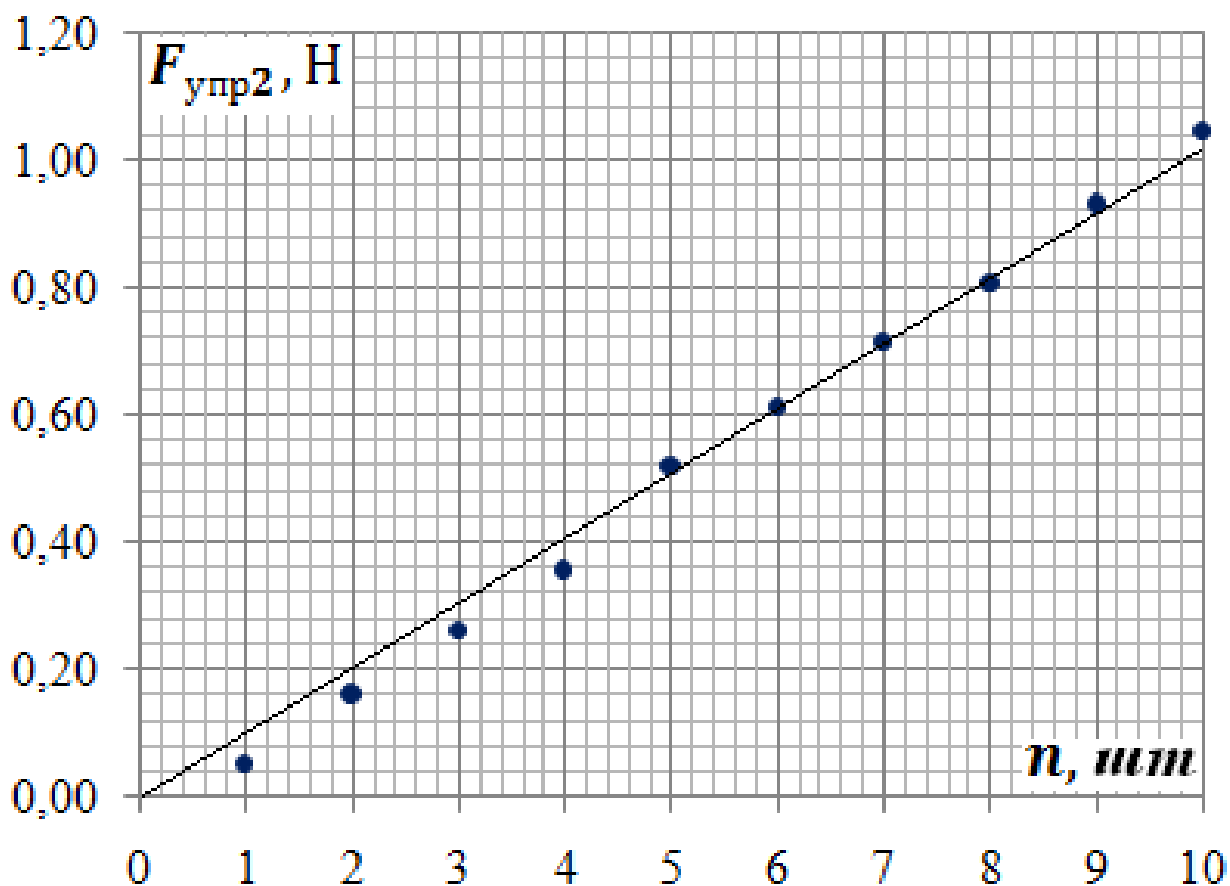
2023-2024 учебный год

2.2 Результаты эксперимента представьте в таблице 1 и на графике 1. Уравнение (7) представляет собой линеаризованную зависимость $F_{\text{упр2}}(n)$, поэтому построен график по уравнению (7).

Таблица 1

Повторные измерения $F_{\text{упр}2i}$, Н					$\langle F_{\text{упр}2i} \rangle$, Н	Колич. шайб n , шт
1	2	3	4	5		
0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	1
0,15	0,17	0,15	0,15	0,17	0,16	2
0,27	0,25	0,25	0,25	0,27	0,26	3
0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,35	4
0,50	0,52	0,52	0,50	0,55	0,52	5
0,60	0,62	0,62	0,60	0,60	0,61	6
0,72	0,70	0,72	0,72	0,70	0,71	7
0,80	0,80	0,80	0,82	0,80	0,80	8
0,90	0,95	0,95	0,92	0,92	0,93	9
1,05	1,05	1,02	1,05	1,05	1,04	10

**График 1. Зависимость $F_{\text{упр}2}(n)$ **



2.3 Введём обозначение:

$$a = \mu(m_1 g + F_{\text{м}1}). \quad (8)$$

Используя простую графическую обработку (ПГО), находим:

$$\langle a \rangle = 0,102 \text{ Н}, \quad \Delta a = 0,006 \text{ Н}.$$

Определим массу одной шайбы. Взвешиваем 20 шайб на весах, получаем:

2023-2024 учебный год

$$m_{20} = (58,6 \pm 0,1)\text{г}.$$

Тогда масса одной шайбы:

$$m = \frac{m_{20}}{20}. \quad (9)$$

Получим:

$$m_1 = (2,93 \pm 0,01)\text{г}.$$

Из (8) получим:

$$F_{\text{м1}} = \frac{a}{\mu} - m_1 g. \quad (10)$$

$$\langle F_{\text{м1}} \rangle = \frac{0,102\text{Н}}{0,346} - 2,93 \cdot 10^{-3}\text{кг} \cdot 9,814 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} = 0,295\text{Н} - 0,029\text{Н} = 0,266\text{Н}.$$

Анализируя вычисления, видим, что магнитная сила $F_{\text{м1}}$, действующую на шайбу со стороны магнитной пластинки в девять раз больше чем сила тяжести, действующая на шайбу.

Вычислим абсолютную погрешность $\Delta F_{\text{м1}}$.

$$\Delta F_{\text{м1}} = \Delta \left(\frac{a}{\mu} \right) + \Delta(m_1 g). \quad (11)$$

$$\varepsilon_{\frac{a}{\mu}} = \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{\langle a \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\Delta \mu}{\langle \mu \rangle} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,006\text{Н}}{0,102\text{Н}} \right)^2 + \left(\frac{0,003}{0,346} \right)^2} = 0,060 = 6,0\%, \quad (12)$$

$$\Delta \left(\frac{a}{\mu} \right) = \frac{\langle a \rangle}{\langle \mu \rangle} \cdot \varepsilon_{\frac{a}{\mu}} = \frac{0,102\text{Н}}{0,346} \cdot 0,060 = 0,0177\text{Н}. \quad (13)$$

$$\varepsilon_{m_1 g} = \sqrt{\left(\frac{\Delta m_1}{\langle m_1 \rangle} \right)^2 + \left(\frac{\Delta g}{\langle g \rangle} \right)^2} = \sqrt{\left(\frac{0,01\text{г}}{2,93\text{г}} \right)^2 + \left(\frac{0,01 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}}{9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2}} \right)^2} = 0,0035 = 0,35\%. \quad (14)$$

$$\Delta(m_1 g) = \langle m_1 \rangle \cdot \langle g \rangle \cdot \varepsilon_{m_1 g} = 2,93 \cdot 10^{-3}\text{кг} \cdot 9,81 \frac{\text{М}}{\text{с}^2} \cdot 0,0035 = 0,0001\text{Н}. \quad (15)$$

$$\Delta F_{\text{м1}} = 0,0177\text{Н} + 0,0001\text{Н} = 0,018\text{Н}.$$

$$F_{\text{м1}} = (0,266 \pm 0,018)\text{Н}$$

2023-2024 учебный год

Часть 3

3.1 Авторы задачи укладывали шайбы в три столбика. Результаты эксперимента представлены в таблице 2.

Таблица 2

Повторные измерения $F_{\text{упр3}i}$, Н			$\langle F_{\text{упр3}i} \rangle$, Н	Колич. шайб в каждом столбике n , шт
1	2	3		
0,25	0,25	0,25	0,25	1
0,25	0,27	0,27	0,26	2
0,27	0,27	0,25	0,26	3
0,27	0,27	0,27	0,27	4
0,27	0,27	0,30	0,28	5
0,30	0,27	0,27	0,28	6

3.2 Анализируя результаты представленные в таблице 2, видим, что $F_{\text{упр3}}$ почти не изменяется с увеличением количества шайб в каждом столбике. Шестикратное увеличение количества шайб привело к увеличению $F_{\text{упр3}}$ всего лишь в 1,1 раза. Данное изменение вызвано увеличением веса шайб. Поэтому можно считать, что сила магнитного взаимодействия между шайбами и пластинкой не зависит от количества шайб в столбике. Уравнение можно записать в виде:

$$F_{\text{м}}(n) = \text{const} \quad (16)$$

Данный факт можно объяснить тем, что область магнитного поля над пластинкой представляет собой очень тонкий слой, высотой около 1 мм. Магнитное взаимодействие проявляется только между пластинками и шайбами первого слоя. Между пластинкой и шайбами второго слоя магнитное взаимодействие уже не проявляется.

2023-2024 учебный год

Часть 4.

4.1 Авторы задачи укладывали шесть шайб. Результаты эксперимента представлены в таблице 3.

Таблица 3

Повторные измерения $F_{\text{упр4}i}$, Н					$\langle F_{\text{упр4}i} \rangle$, Н	Колич. слоёв бумаги n , шт
1	2	3	4	5		
0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	1
0,47	0,47	0,50	0,50	0,47	0,48	2
0,35	0,35	0,37	0,35	0,35	0,35	3
0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	0,27	4
0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	5
0,15	0,15	0,12	0,12	0,15	0,14	6
0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	7
0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	8
0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	9
0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	10

4.2 Построим график зависимости $F_{\text{упр4}}(n_{\text{сл}})$ (график 2). Полученный график похож на график обратной пропорциональности. Вычислим значения $\frac{1}{n_{\text{сл}}}$ (таблица 4) и построим график $F_{\text{упр4}}\left(\frac{1}{n_{\text{сл}}}\right)$ (график 3). Видим, что график 3 похож на график зависимости $F_{\text{упр4}}\left(\sqrt{\frac{1}{n_{\text{сл}}}}\right)$ или $F_{\text{упр4}}\left(\frac{1}{\sqrt{n_{\text{сл}}}}\right)$. Вычислим значения $\frac{1}{\sqrt{n_{\text{сл}}}}$ (таблица 5) и построим график $F_{\text{упр4}}\left(\frac{1}{\sqrt{n_{\text{сл}}}}\right)$ (график 4).

2023-2024 учебный год

**График 2. Зависимость $F_{\text{упр4}}(n_{\text{сл}})$ **

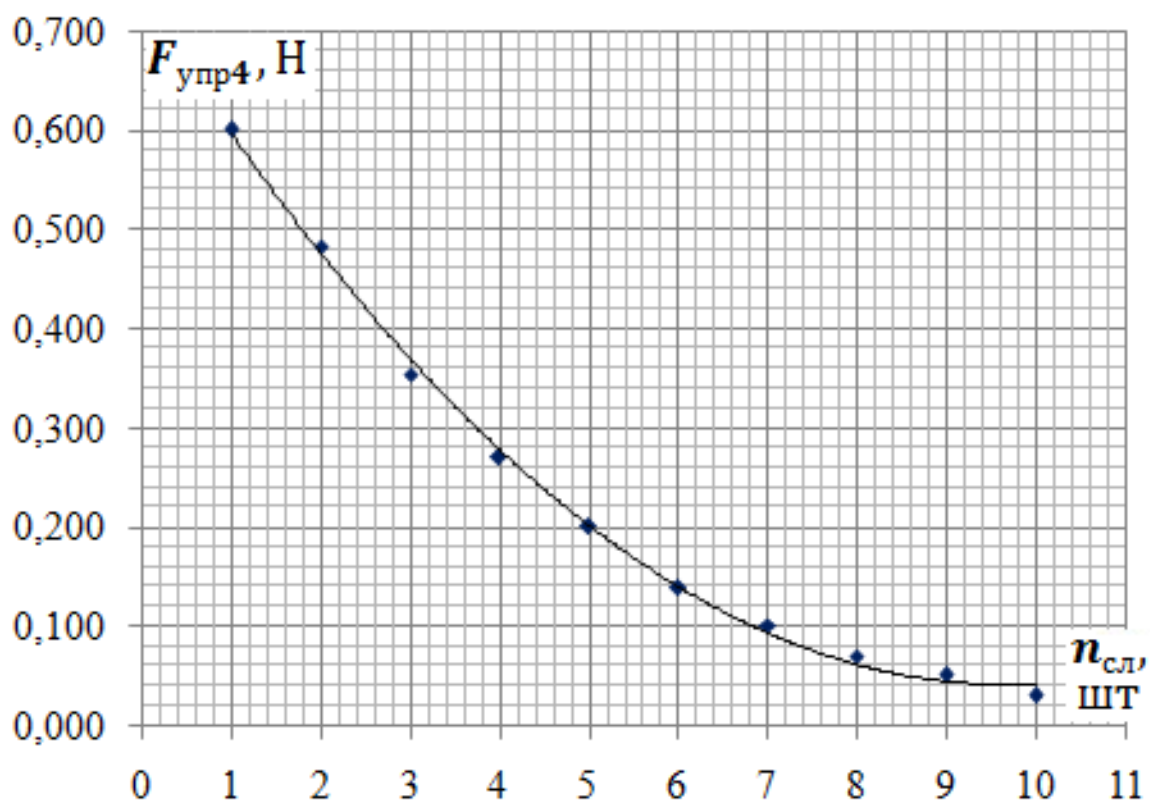
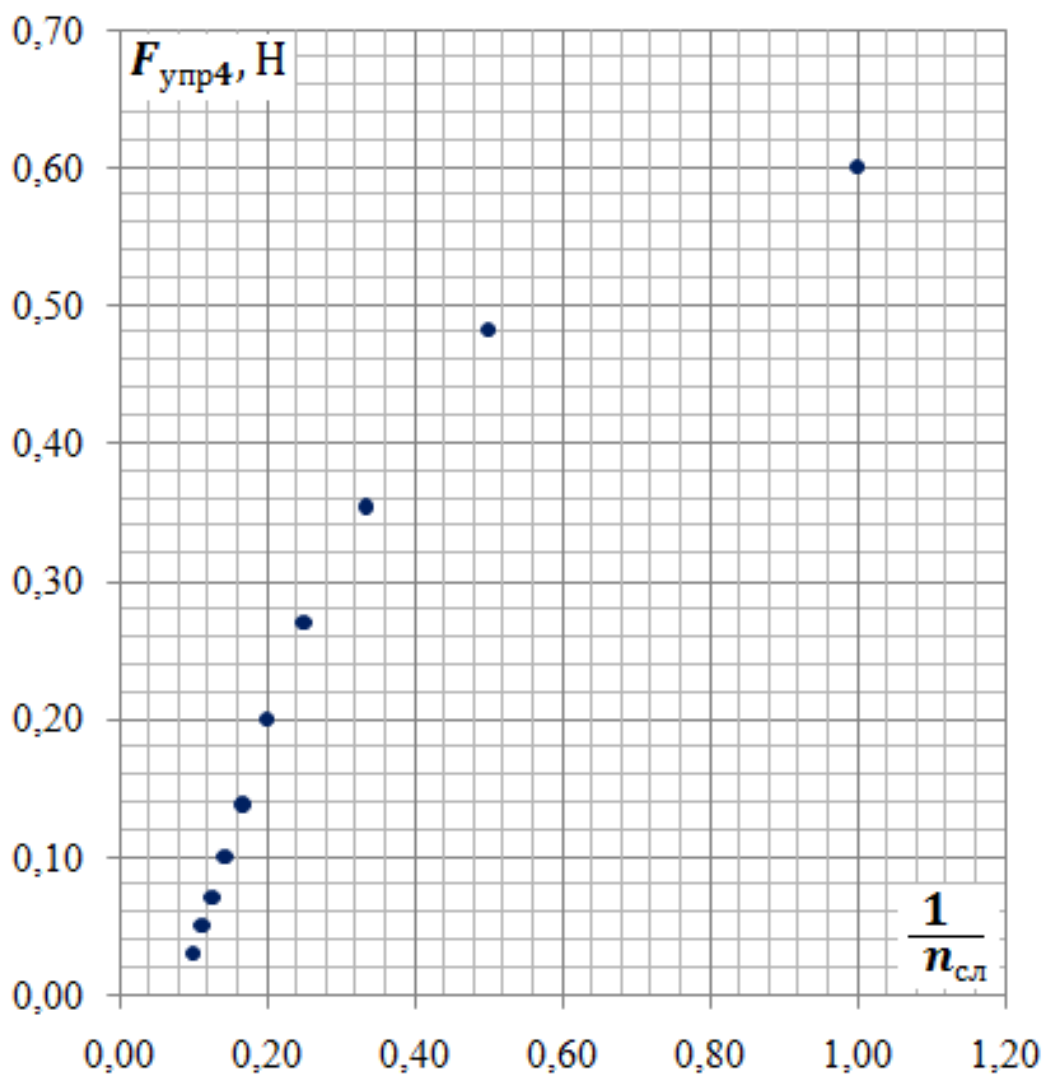


Таблица 4.

Колич. слоёв бумаги n , шт	$\frac{1}{n}$	$\langle F_{упр4i} \rangle$, Н
1	1,00	0,60
2	0,50	0,48
3	0,33	0,35
4	0,25	0,27
5	0,20	0,20
6	0,17	0,14
7	0,14	0,10
8	0,13	0,07
9	0,11	0,05
10	0,10	0,03

**График 3. Зависимость $F_{упр4} \left(\frac{1}{n_{сл}} \right)$ **

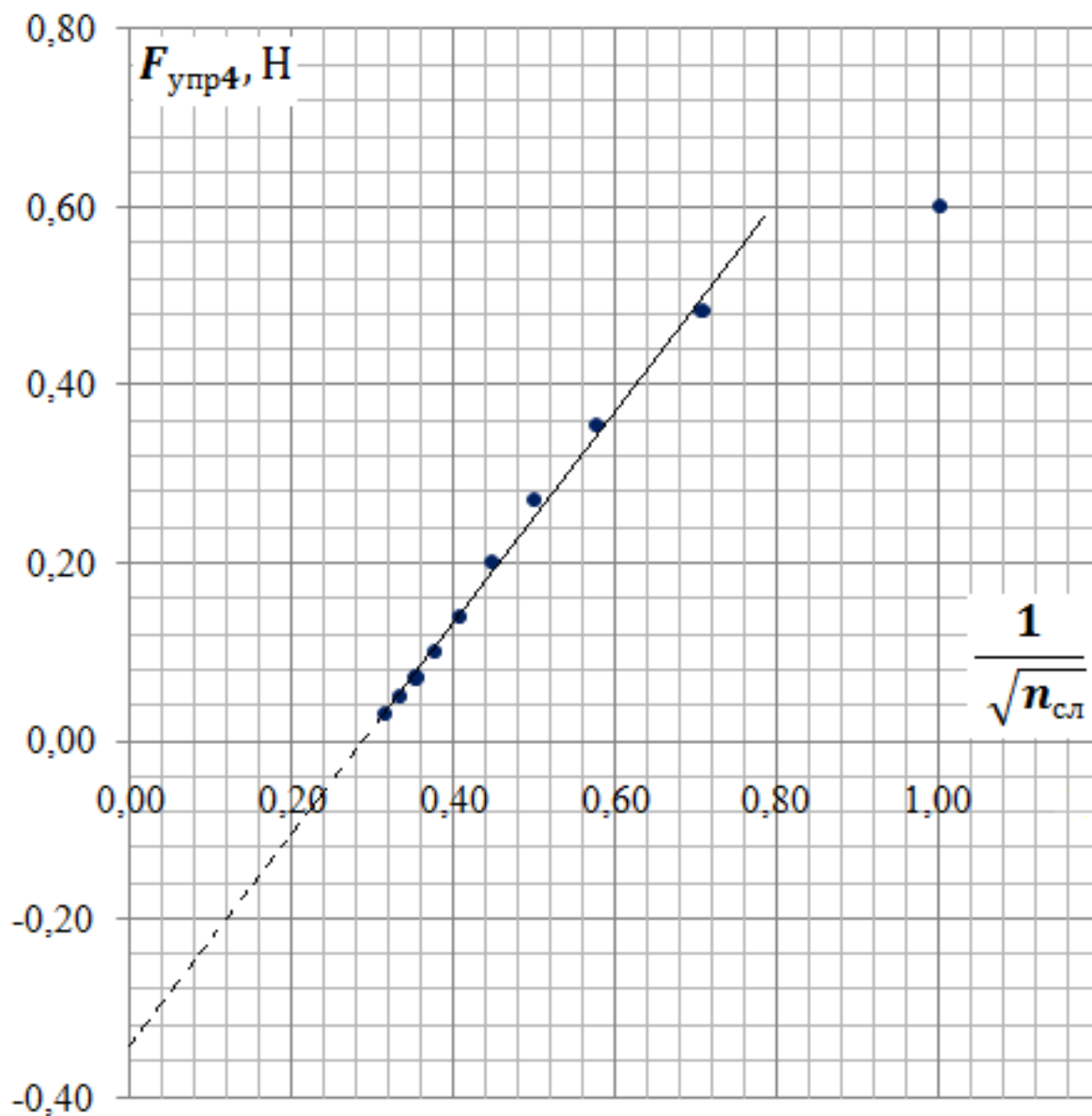


2023-2024 учебный год

**График 4. Зависимость $F_{\text{упр4}} \left(\frac{1}{\sqrt{n_{\text{сл}}}} \right)$ **

Таблица 5.

Колич. слоёв бумаги n , шт	$\frac{1}{\sqrt{n}}$	$\langle F_{\text{упр4}i} \rangle$, Н
1	1,00	0,60
2	0,71	0,48
3	0,58	0,35
4	0,50	0,27
5	0,45	0,20
6	0,41	0,14
7	0,38	0,10
8	0,35	0,07
9	0,33	0,05
10	0,32	0,03



Из графика 4 видим что на интервале от 2-х до 10-ти слоёв бумаги зависимость $F_{упр4} \left(\frac{1}{\sqrt{n_{сл}}} \right)$ близка к линейной. Используя ПГО, найдём угловой коэффициент наклона усредняющей прямой a и свободное слагаемое b .

$$a = 1,2Н; \quad b = -0,34Н.$$

Уравнение $F_{упр4}(n_{сл})$ можно записать в виде:

$$F_{упр4} = \frac{1,2}{\sqrt{n_{сл}}} - 0,34 \text{ (Н)}. \quad (17)$$

2023-2024 учебный год