

Задача №15 «Движущаяся щётка»



Команда:
**Кипящий лед,
Барабинск**

Докладчик:
Ильин Иван

Условие задачи

Тело, помещённое на вибрирующую горизонтальную поверхность, может прийти в движение. Исследуем это движение.

Наблюдение явления:



Частота колебаний поверхности = 120Гц

План доклада

- Объяснить причины движения щётки с помощью законов Ньютона.
- Обосновать способ определения скорости движения щётки.
- Рассмотреть зависимости скорости от длины щетинок, угла щетинок, массы щётки, шага, коэффициента трения поверхности и коэффициента жёсткости щетинок.
- Описать модель движения щётки
- Подвести итоги выполненной работы.

Изготовление щётки



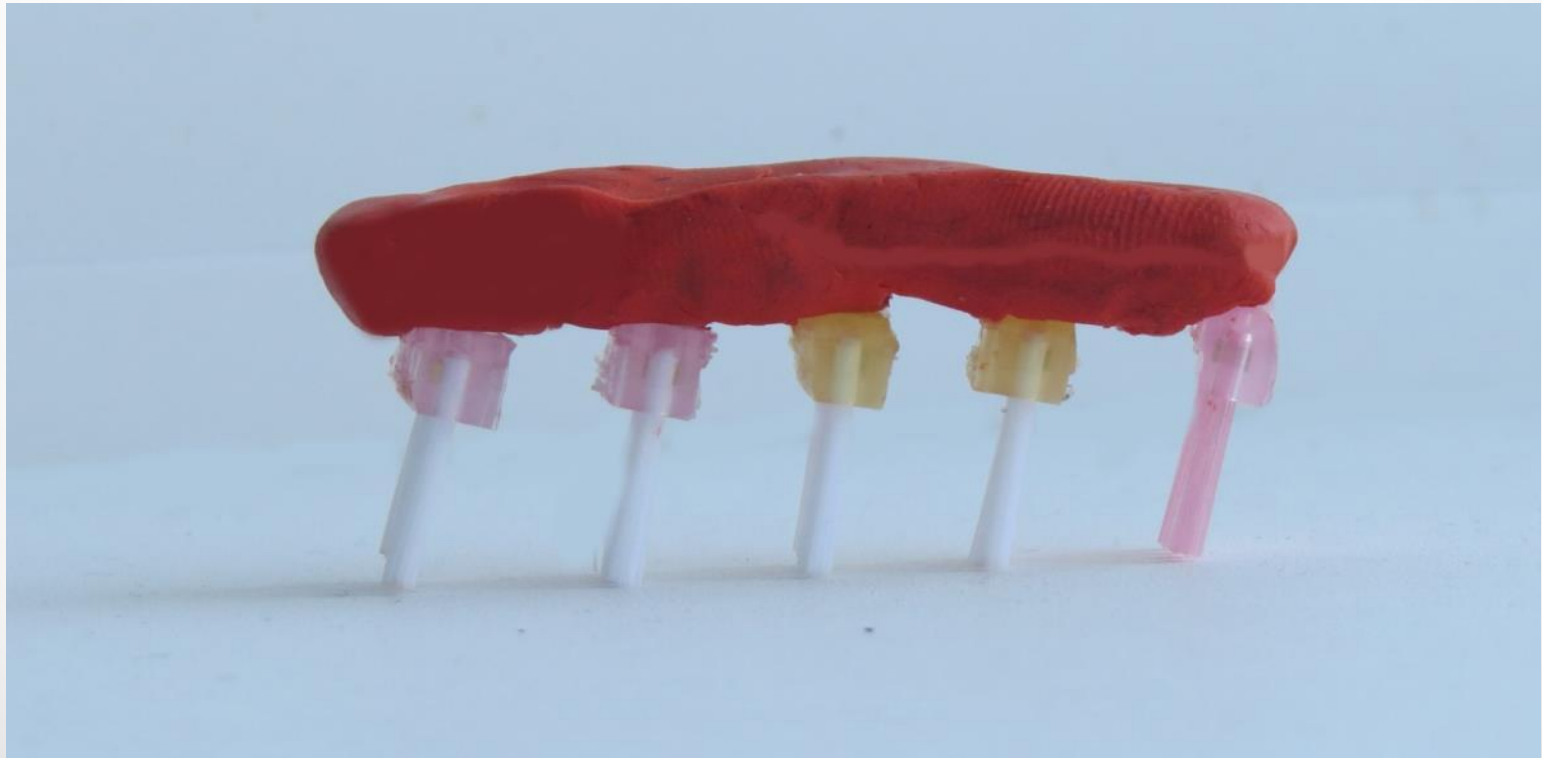
Характеристики щётки

Масса щетки ~ 8,2г. Коэффициент жёсткости ~ 1 Н/м.

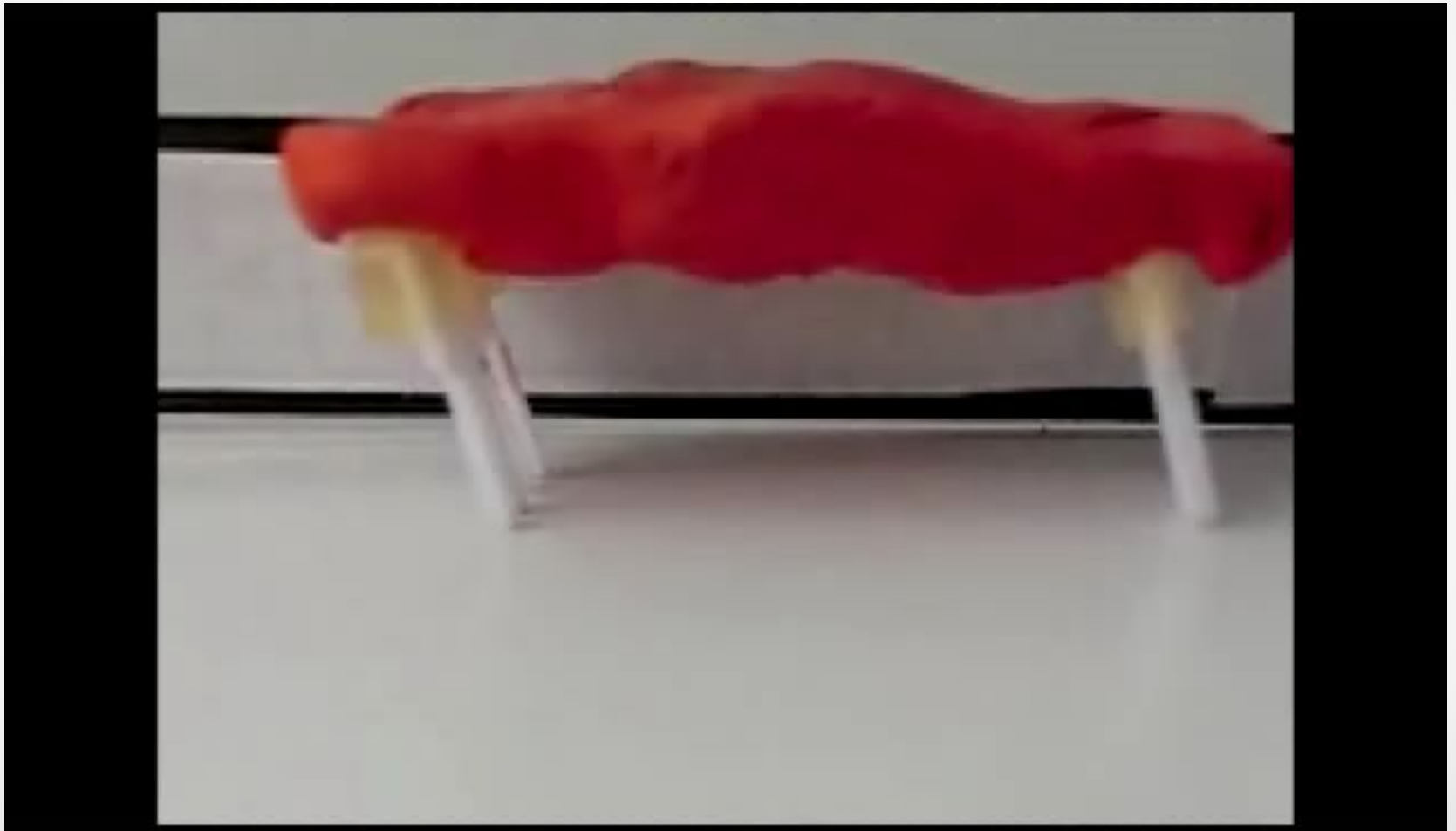
Высота щетки ~ 22мм.

Длина щетки ~ 59мм.

Длина щетинок щетки ~ 15мм.

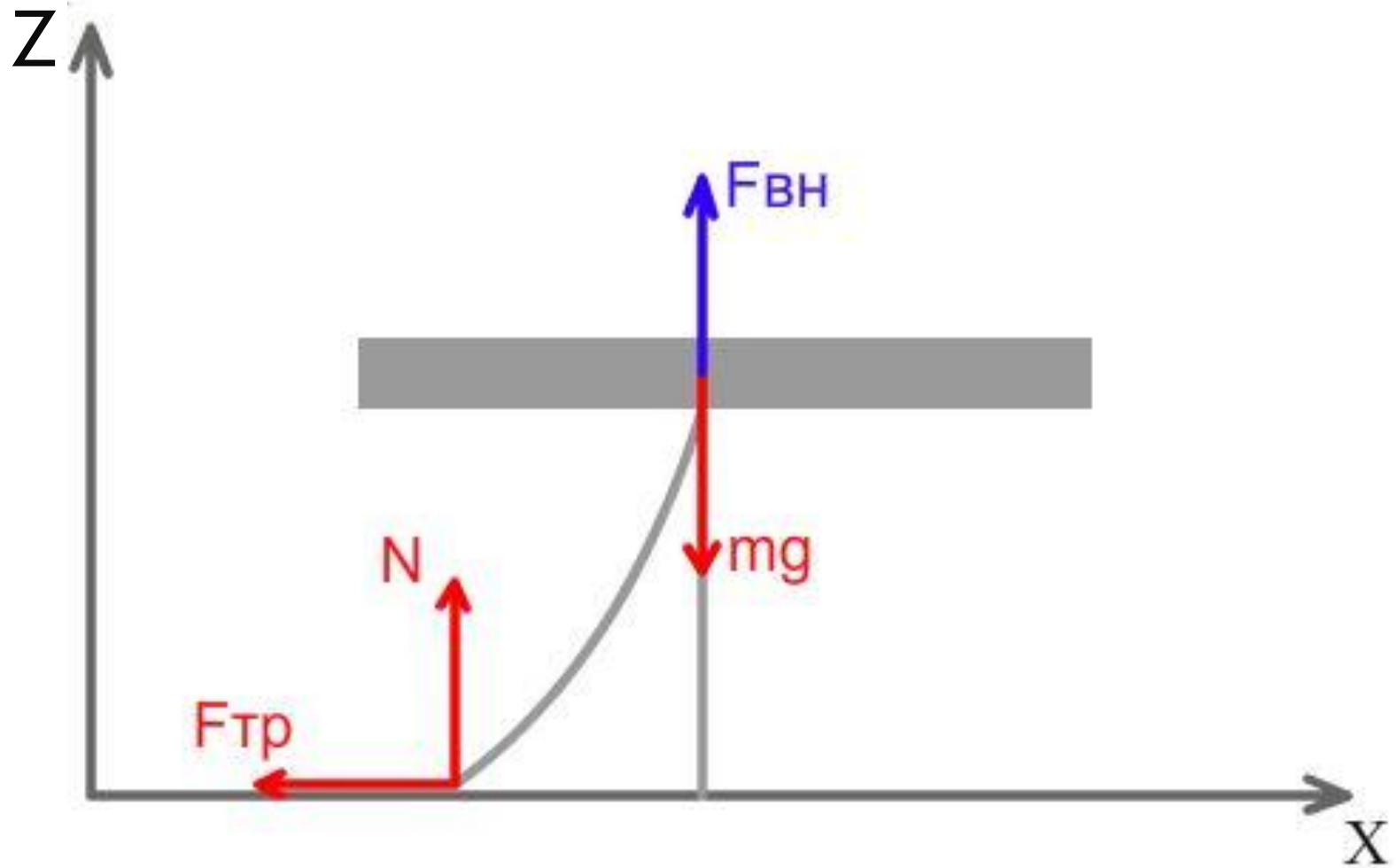


Динамика движения щётки



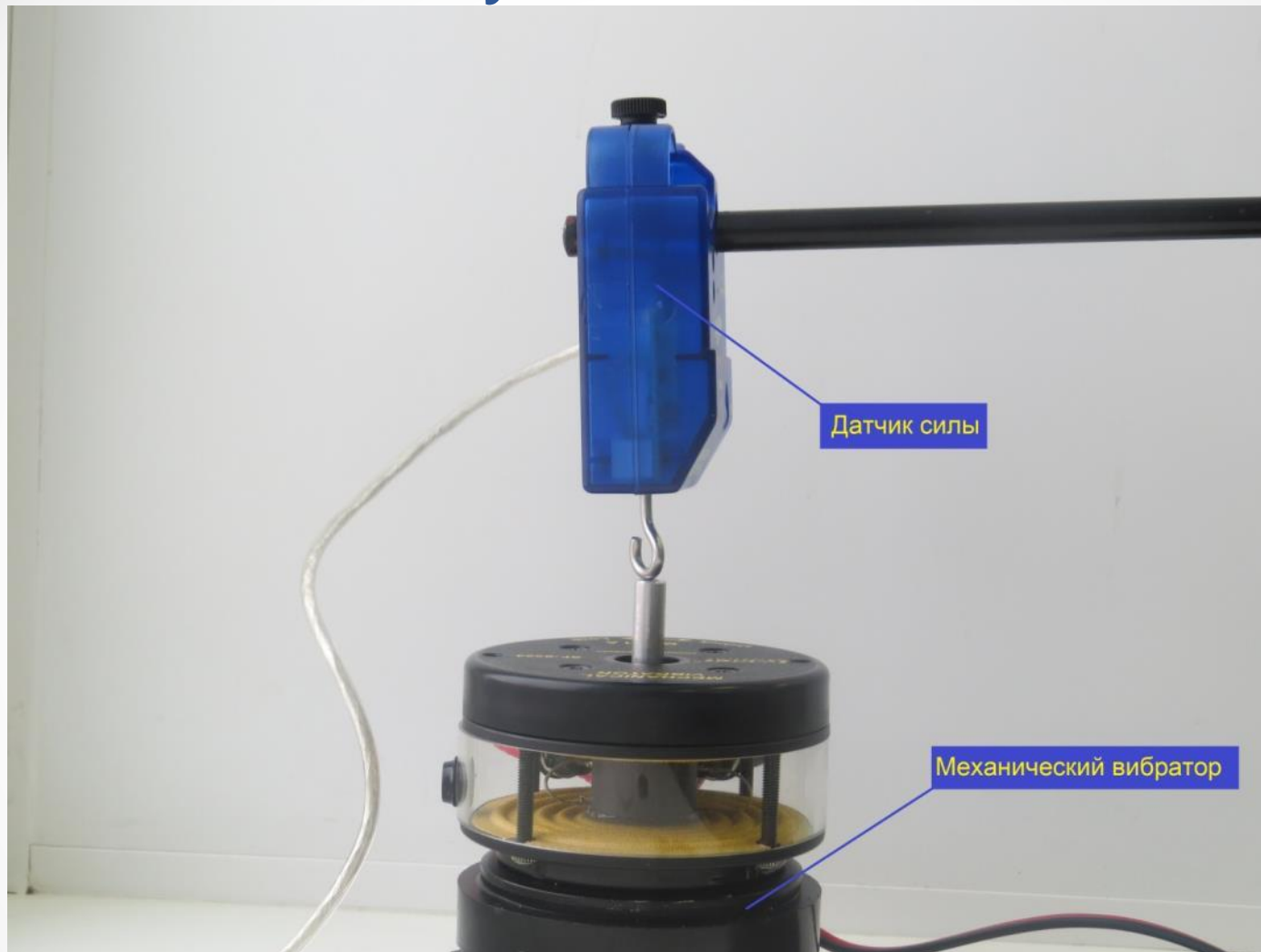
Частота колебаний поверхности = 15Гц

Силы действующие на всю систему



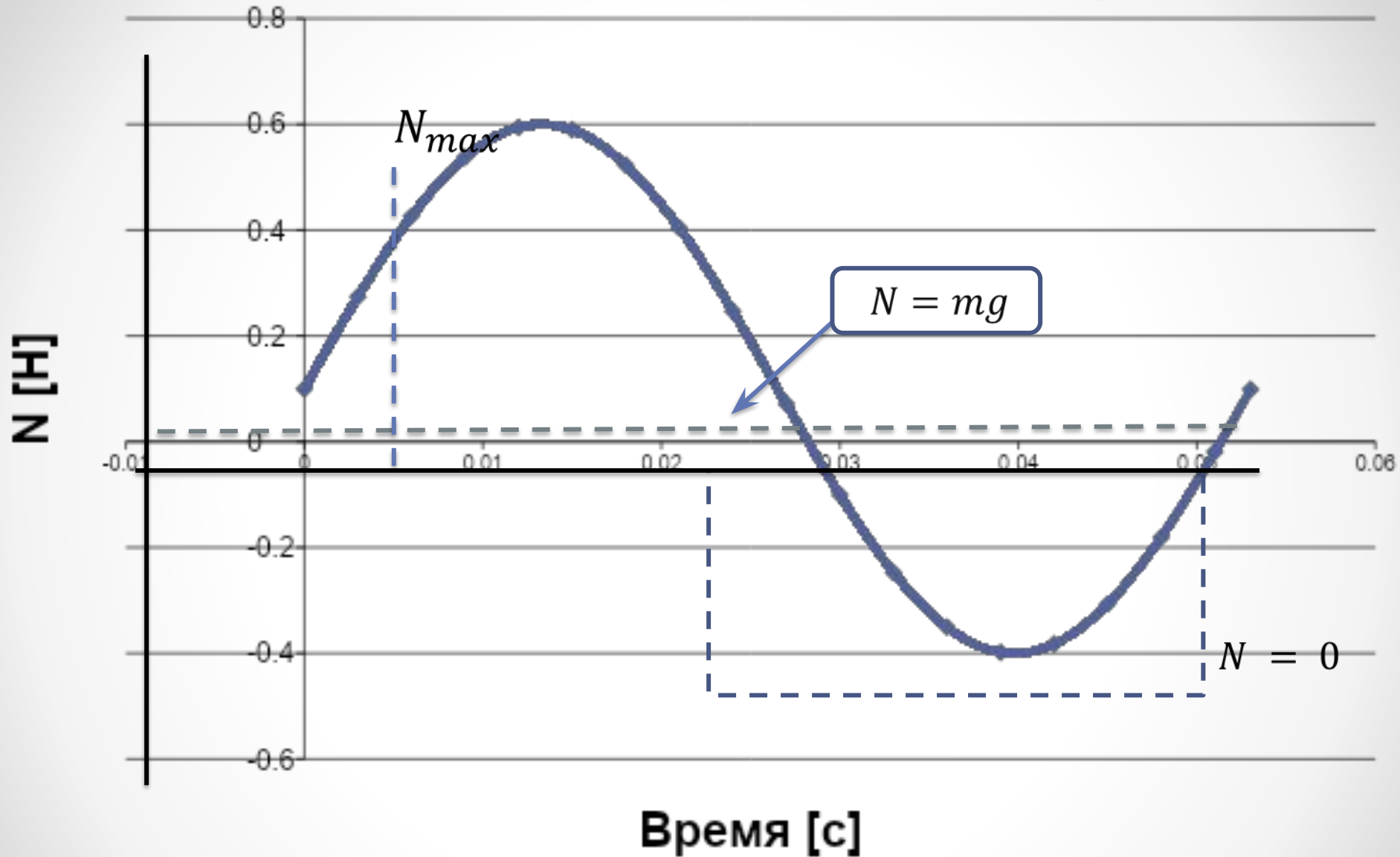
$$F_{тр} \leq \mu N$$
$$F_{BH} = F_0 \sin \omega t$$
$$N = mg + F_{BH}$$

Амплитуда внешней силы



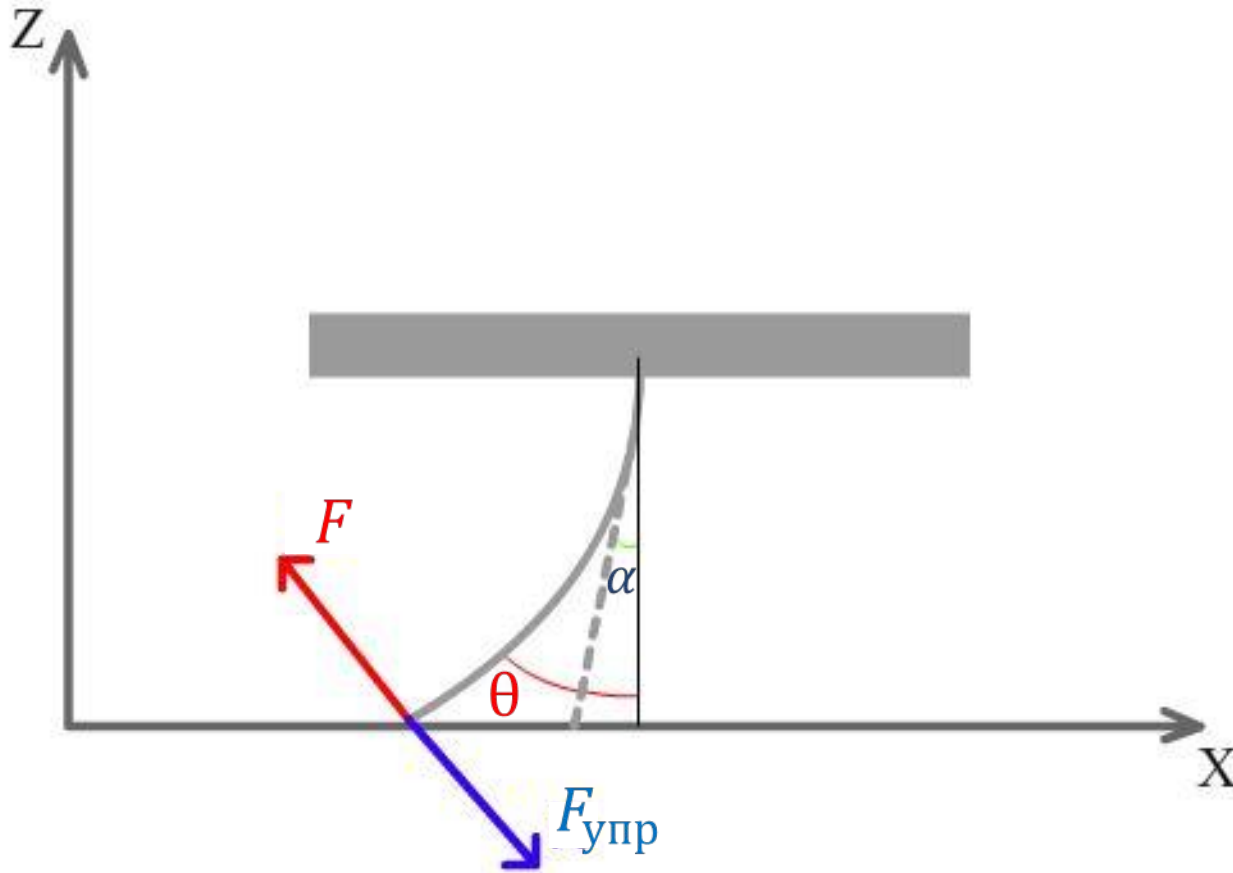
$$F_0 = 0,5H$$

Зависимость N от времени, за период



Колебания N - гармоничные

Силы, возникающие при деформации щетин



$$F + F_{\text{упр}} = 0$$
$$F = N + F_{\text{тр}}$$

Дифференциальное уравнение для угла изгиба

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} + k^2 \sin(\theta + \varphi) = 0$$

$$\varphi = \operatorname{arctg} \mu$$

$$k^2 = \frac{N}{EI/l^2} \sqrt{1 + \mu^2}$$

L. Giomi, N. Hawley-Weld and L. Mahadevan

«Swarming, swirling and stasis in sequestered bristle-bots»

Установка для записи опытов

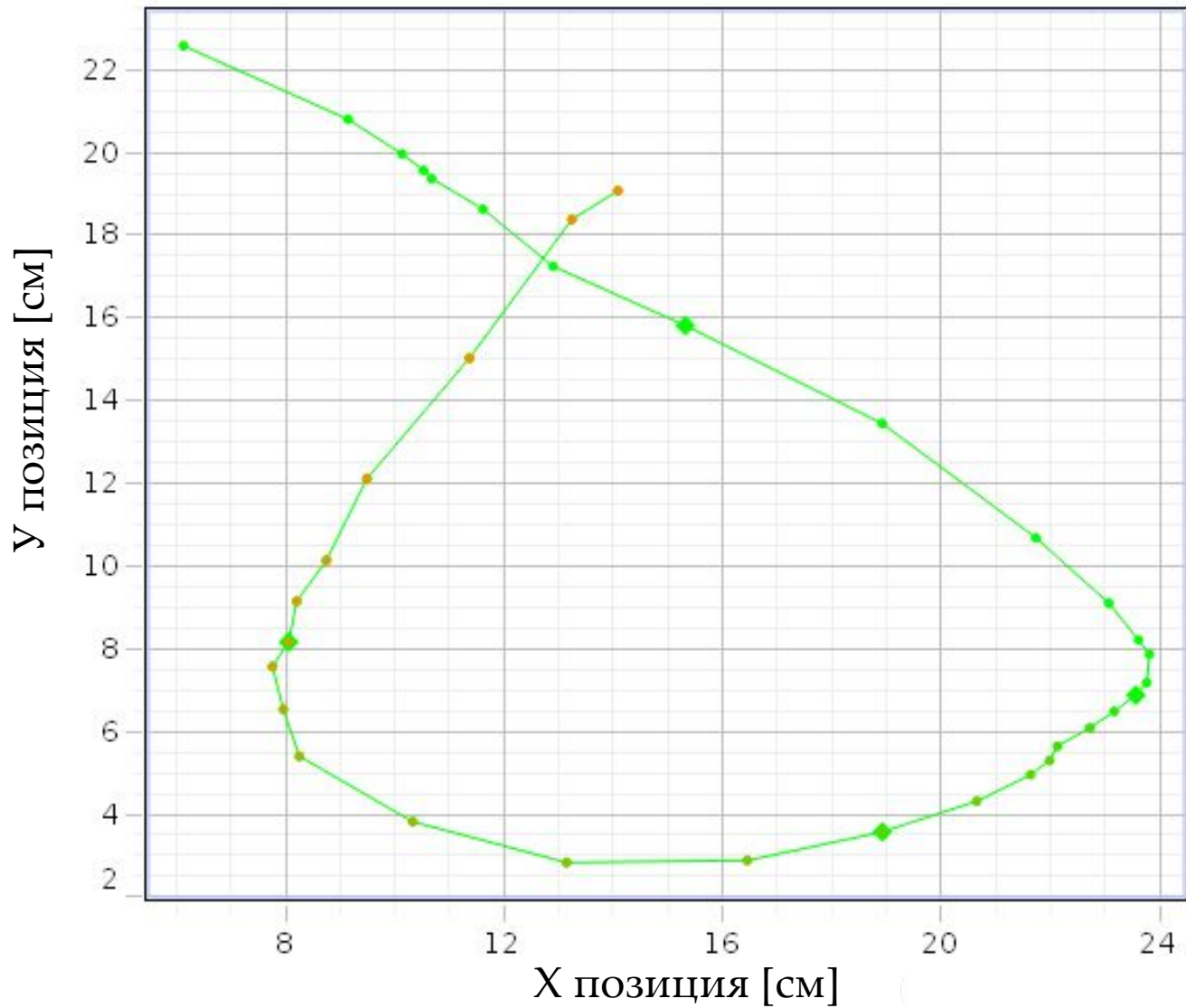


Построение траектории

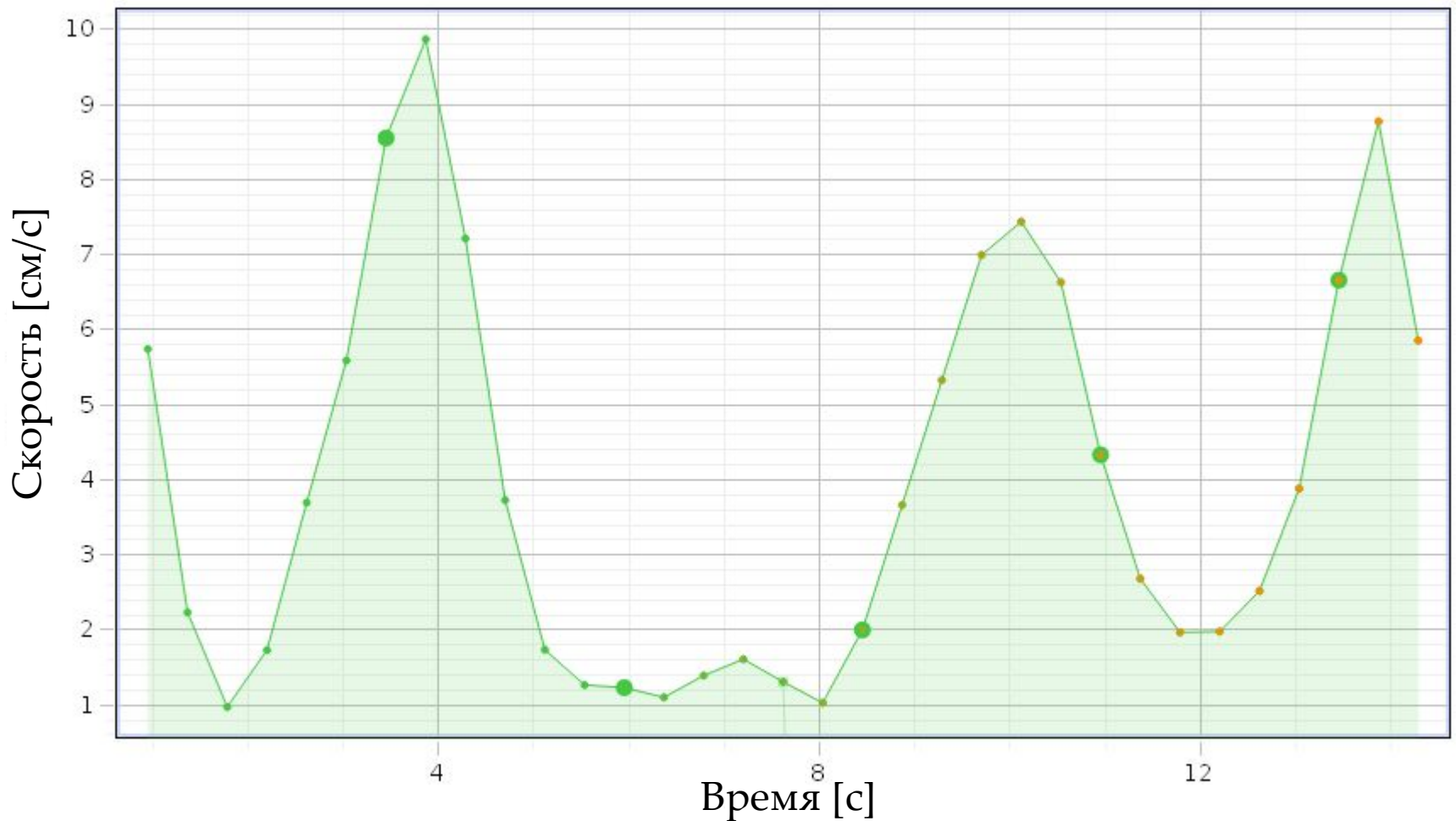


Программное обеспечение «PASCO Capstone»

Траектория

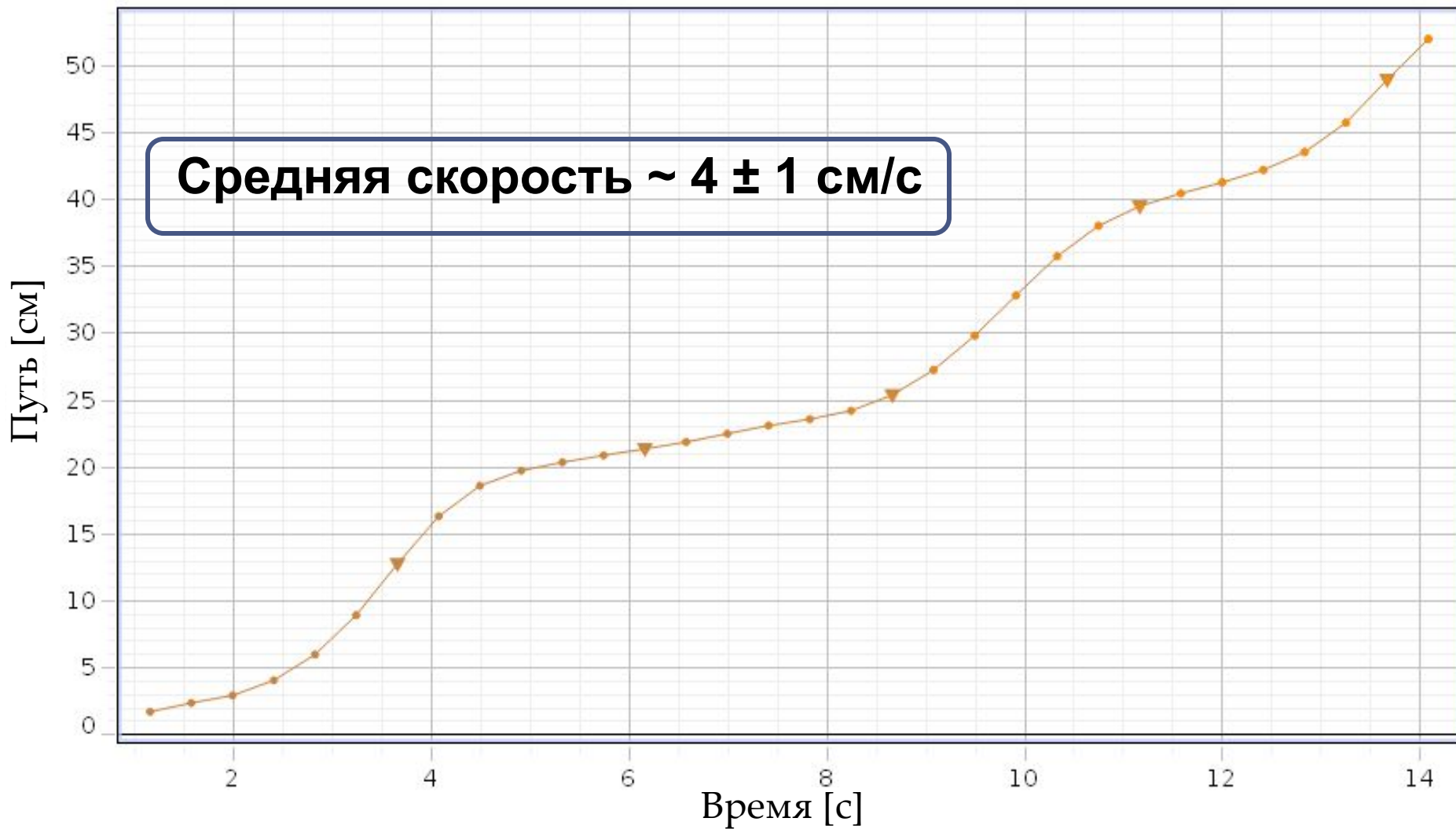


Зависимость мгновенной скорости от времени



$$V_{\text{МГН}} = \sqrt{V_x^2 + V_y^2} \quad [\text{см/сек}]$$

Вычисление средней скорости через путь



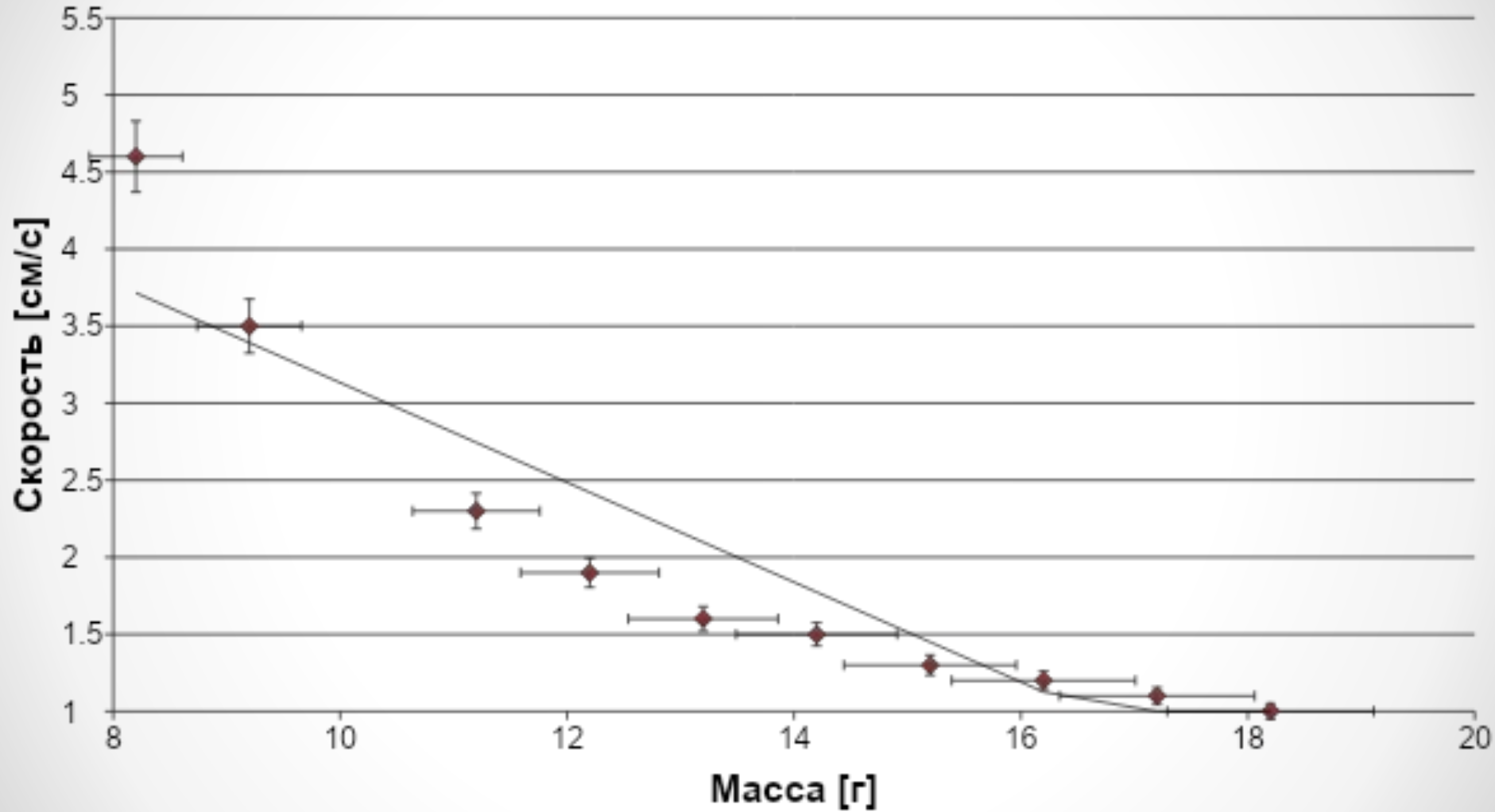
Эксперименты с различной массой



С увеличением массы уменьшается скорость.

Зависимость скорости от массы

Зависимость скорости от массы.



- Щётка не движется, при $mg = F_0$

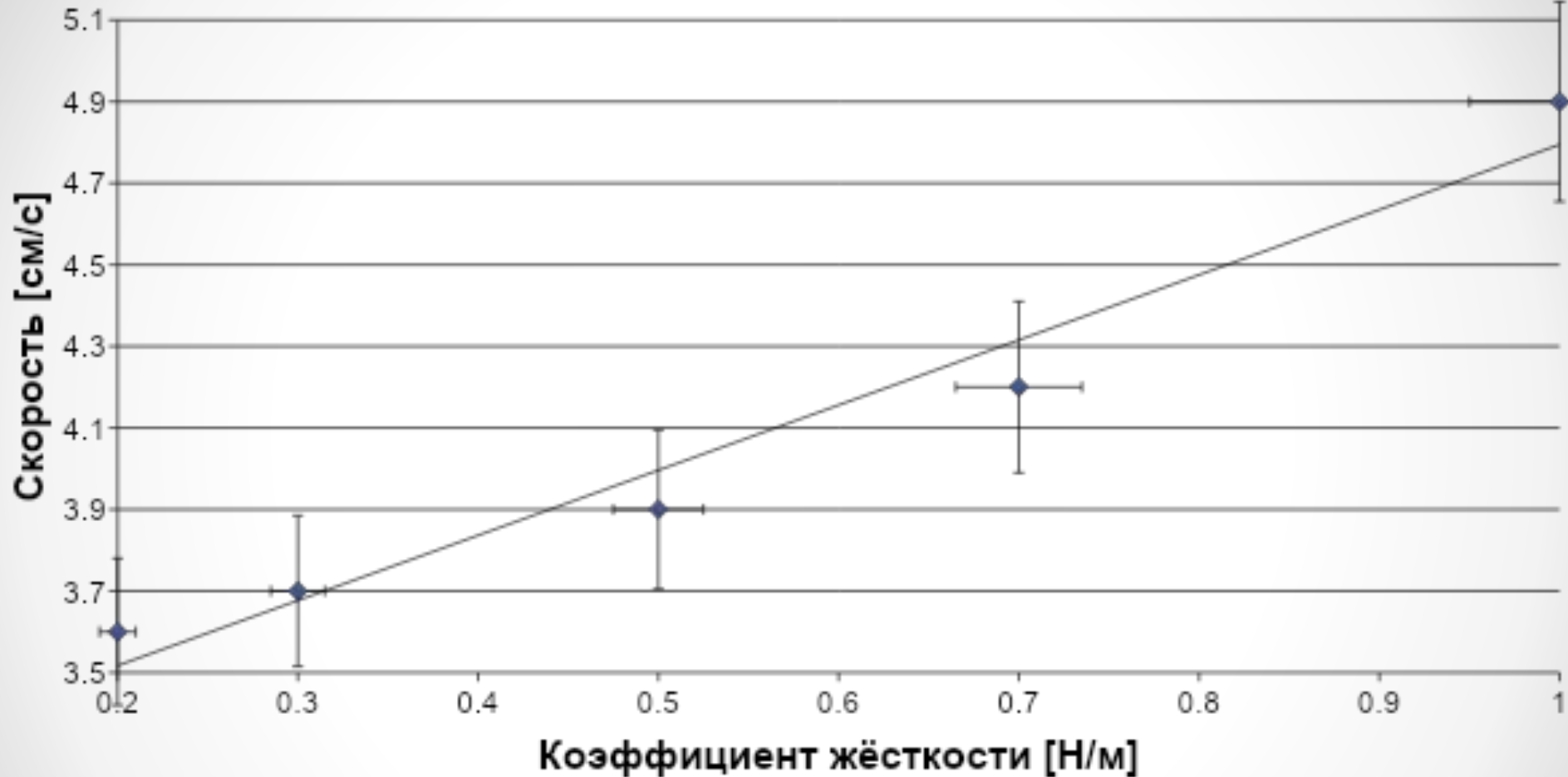
Установка для измерения коэффициента жёсткости щетинок.



Датчик силы

• Коэффициент жёсткости $\sim 1 \text{ Н/м}$ •

Зависимость скорости от коэффициента жёсткости



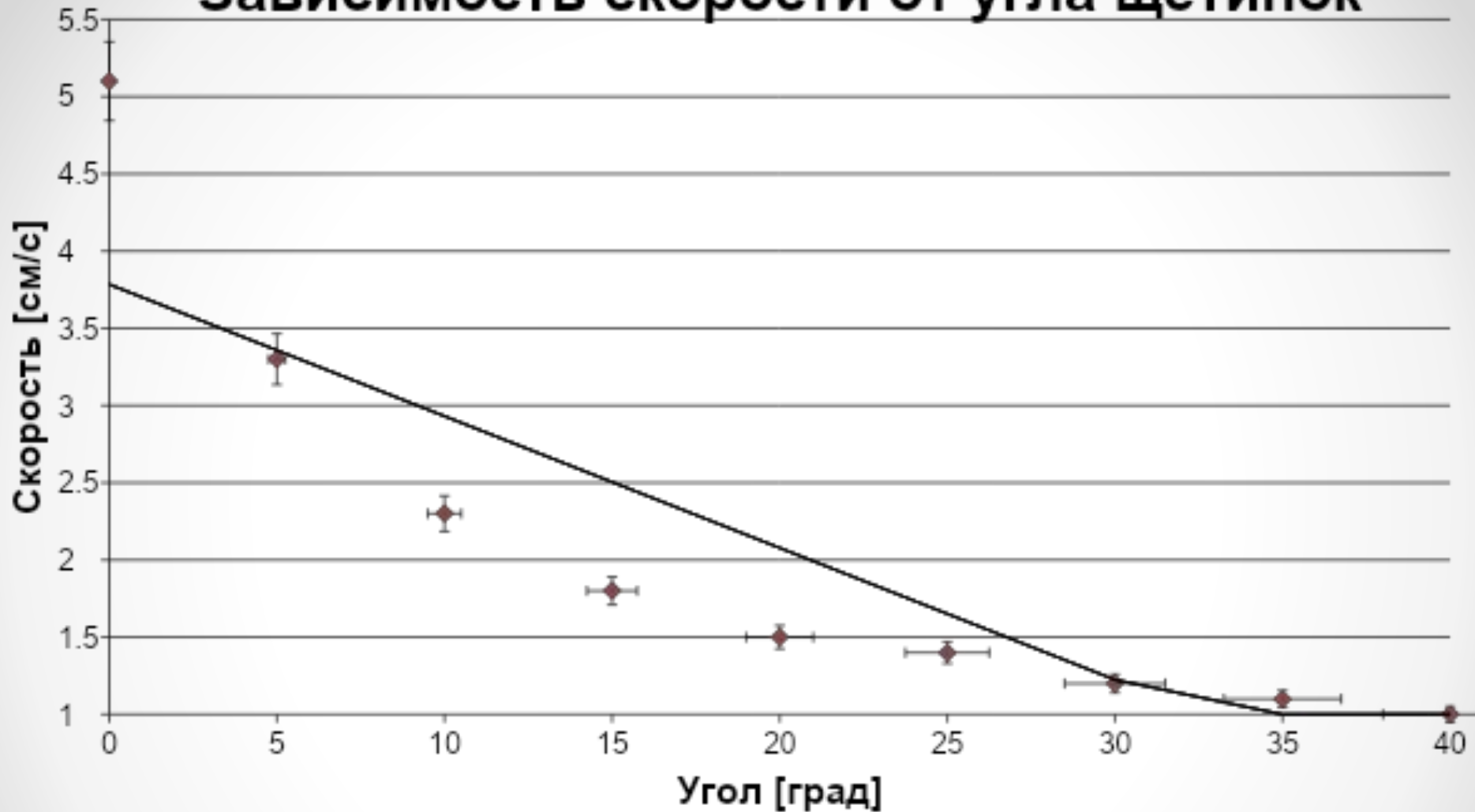
Скорость пропорциональна квадрату коэффициента жёсткости щетинок

Опыты с различным углом наклона щетинок



С увеличением угла уменьшается скорость.

Зависимость скорости от угла щетинок

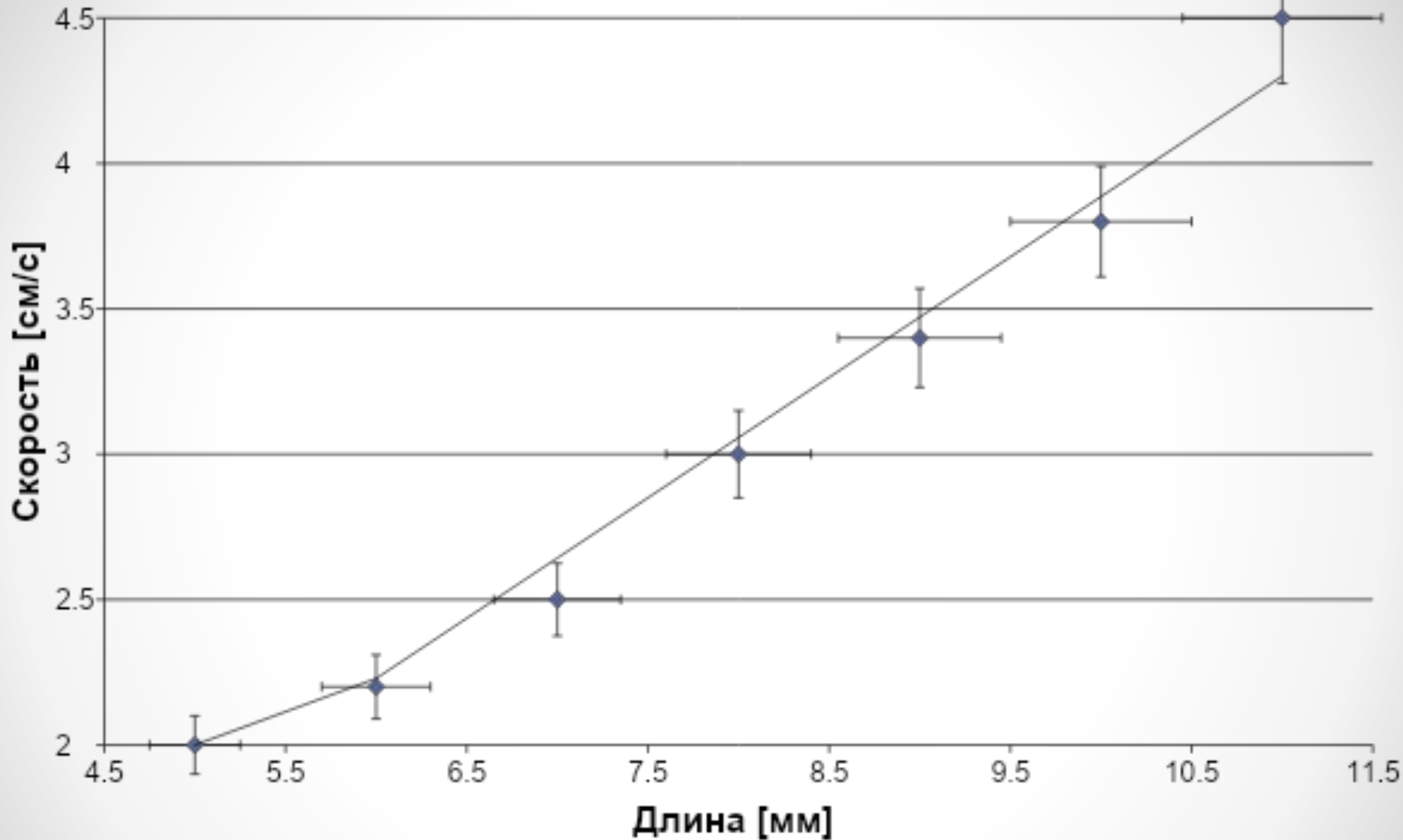


Опыты с различной длиной



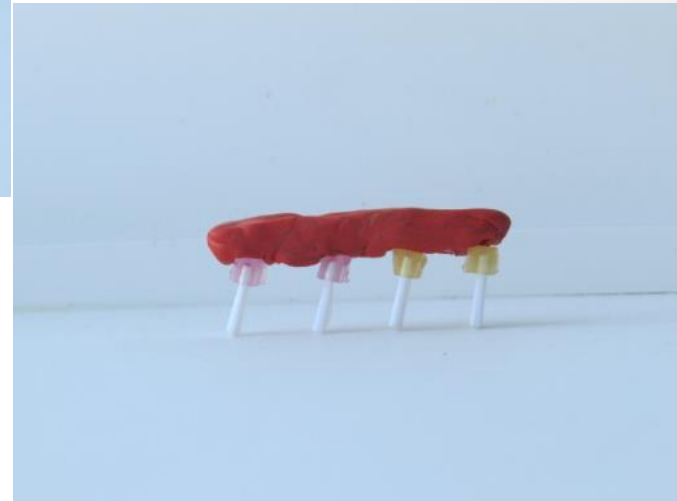
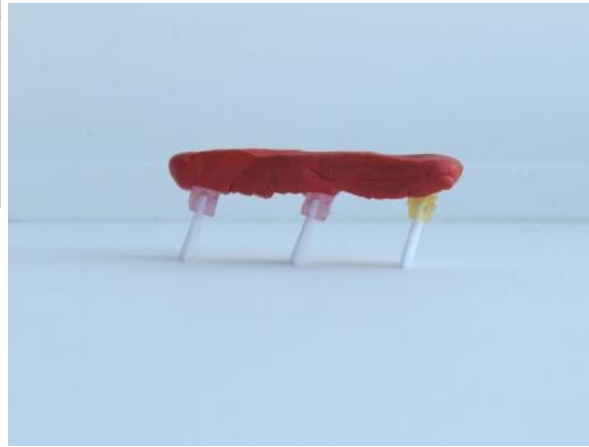
С увеличением длины увеличивается скорость.

Зависимость скорости от длины.

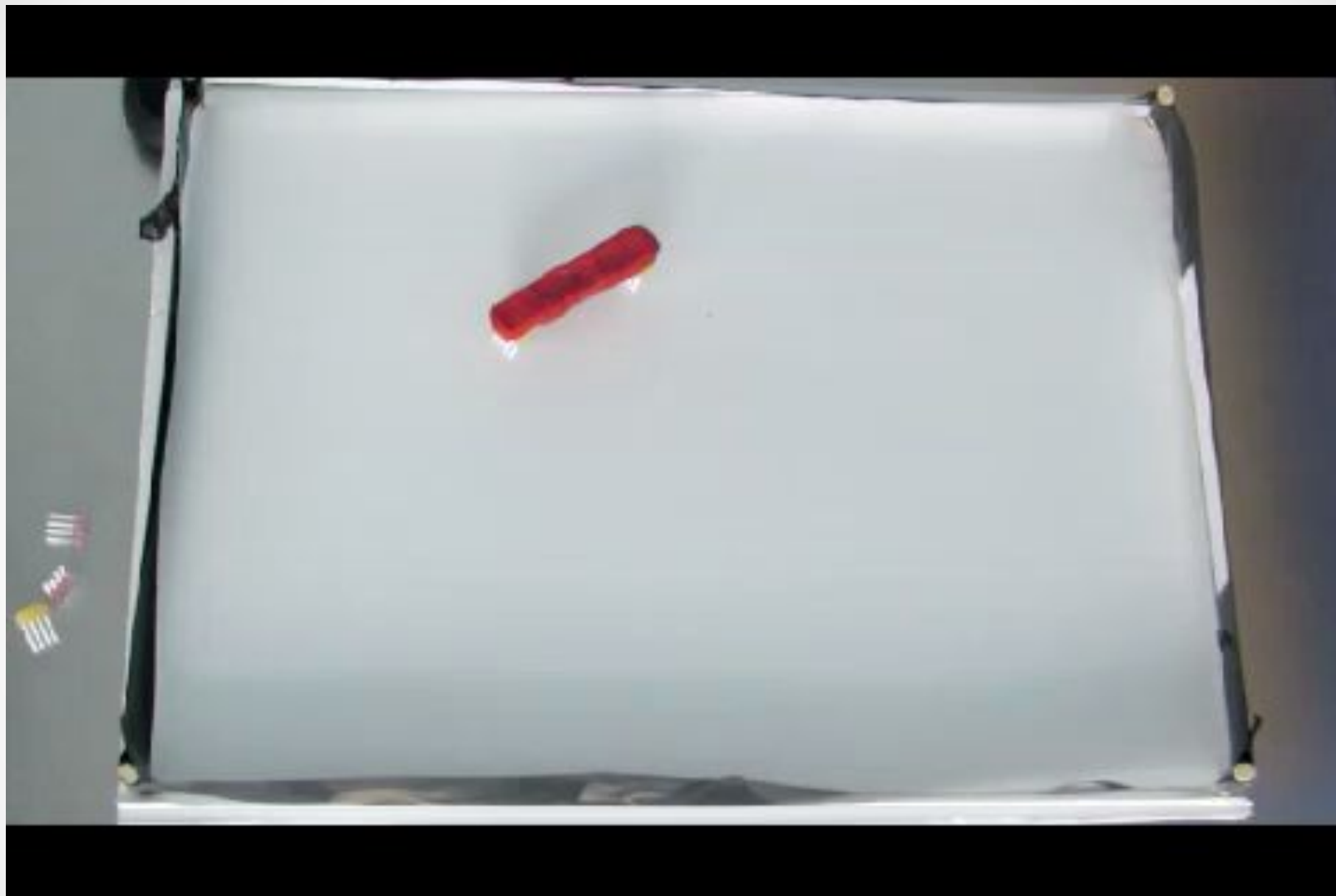


Скорость пропорциональна квадрату длины щетинок.

Изменение удельного числа рядов

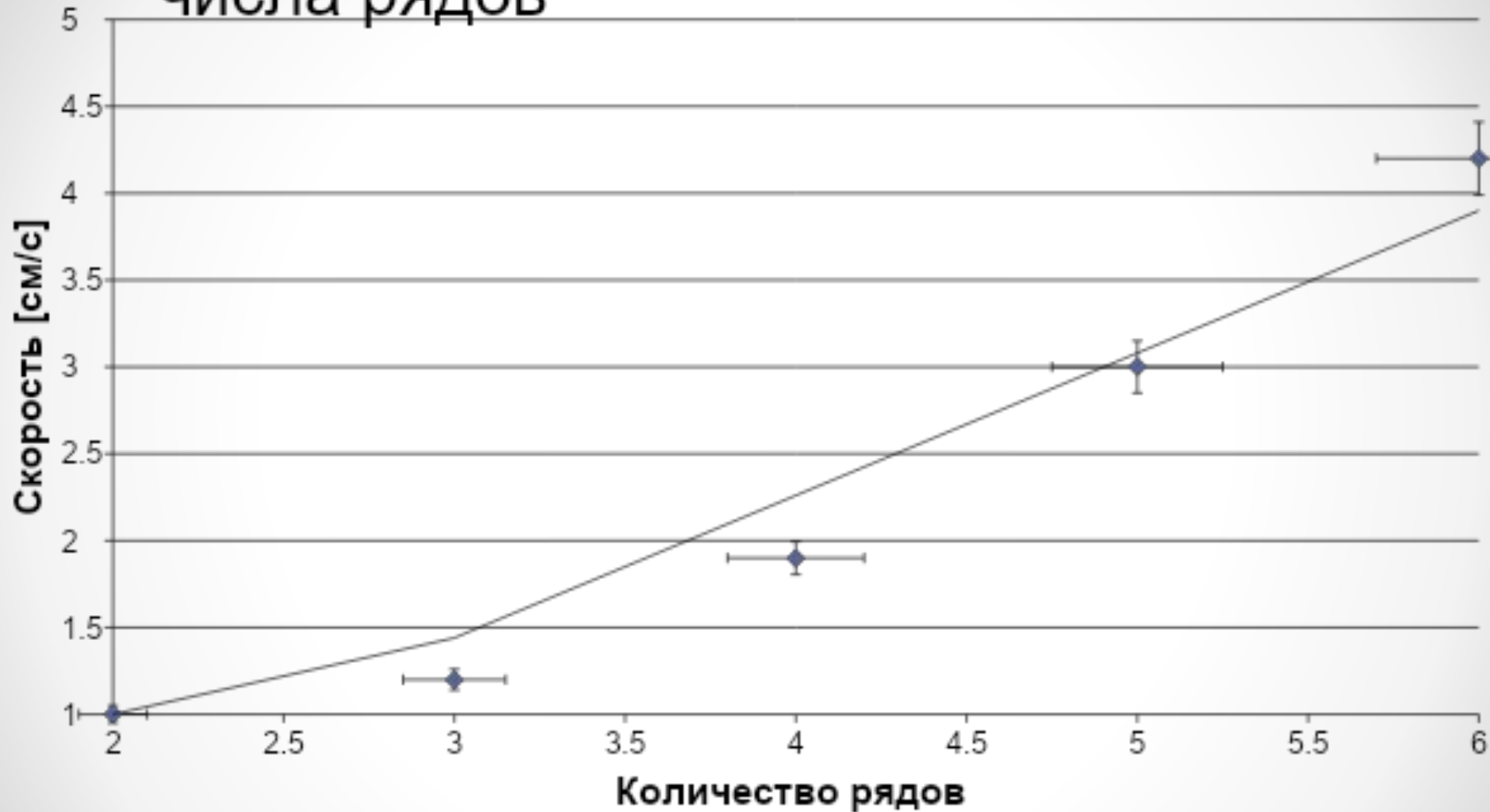


Опыты с различным удельным числом рядов



С увеличением количества рядов увеличивается скорость.

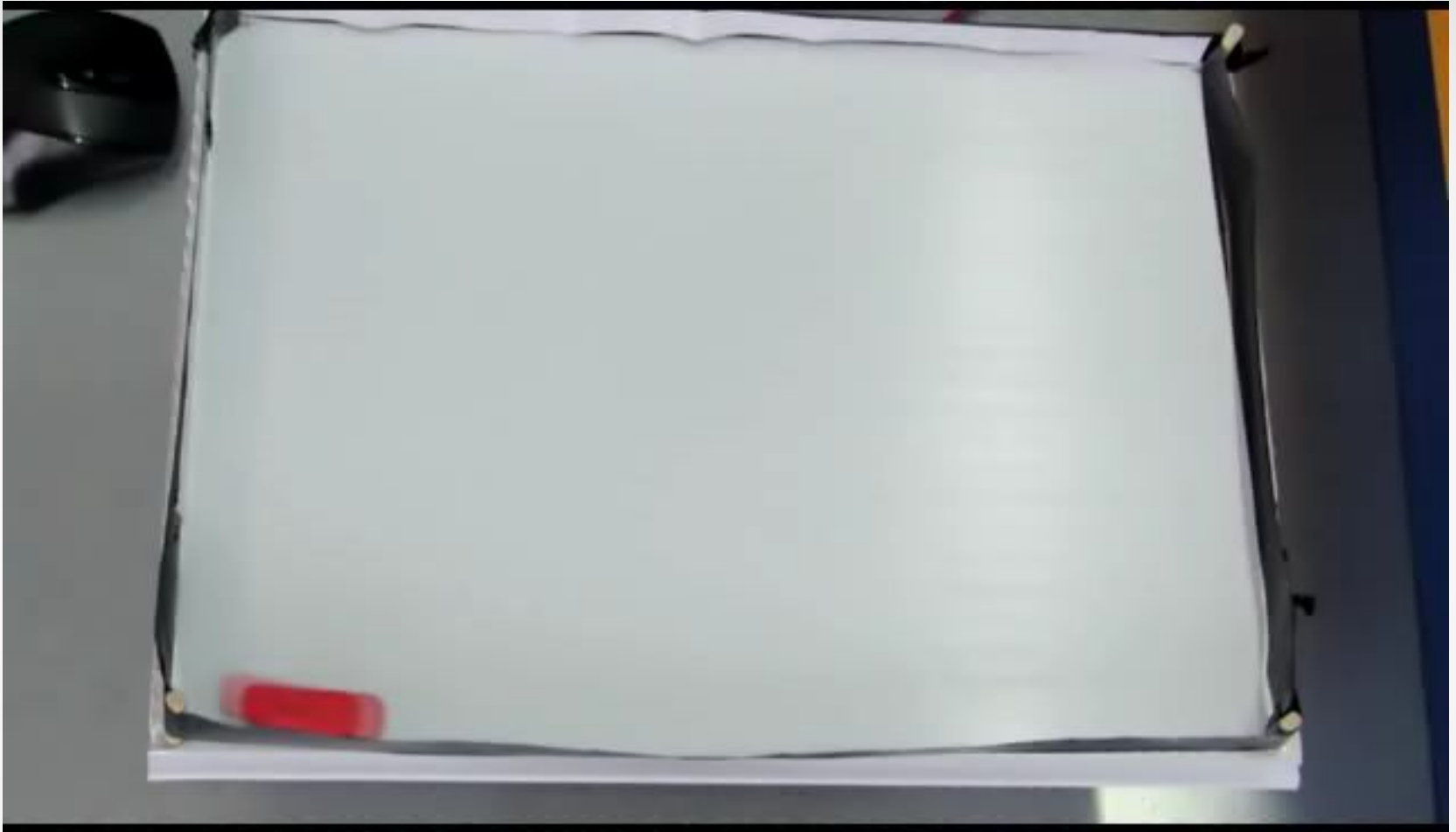
Зависимость скорости от удельного числа рядов



Скорость пропорциональна квадрату количества

- рядов щетинок.

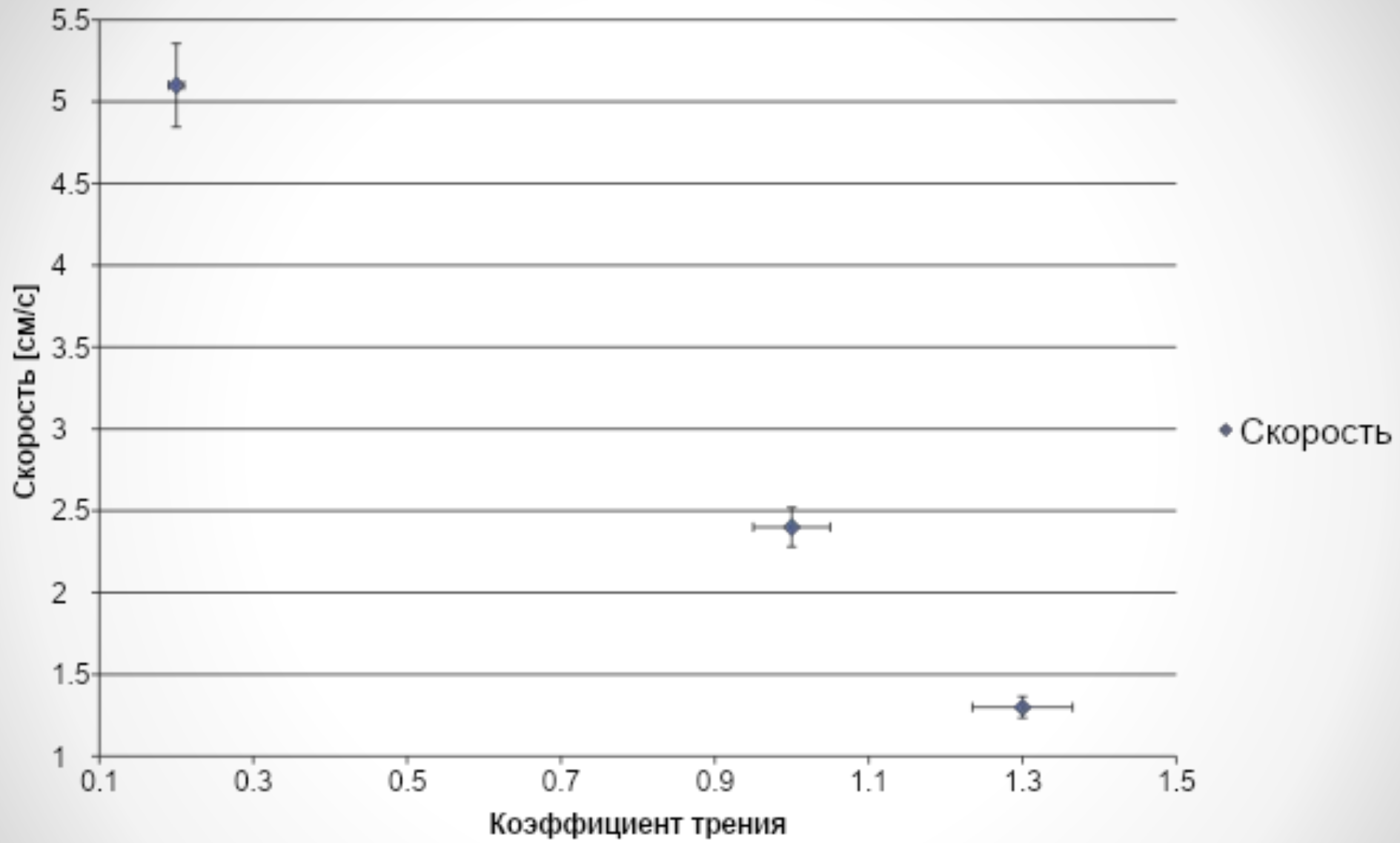
Опыты с различным коэффициентом трения поверхности



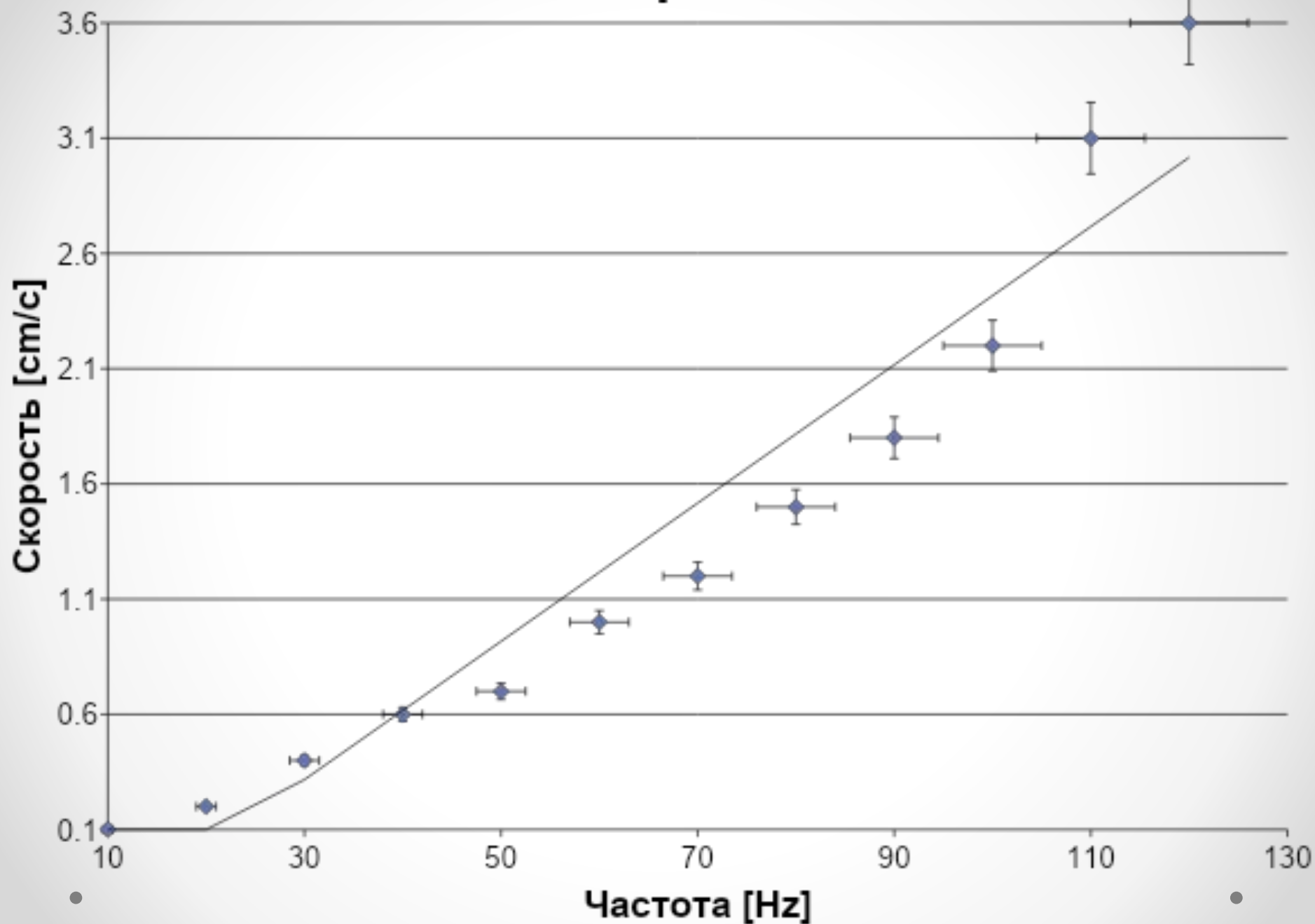
С увеличением коэффициента трения поверхности скорость уменьшается.



Зависимость скорости от коэффициента трения поверхности

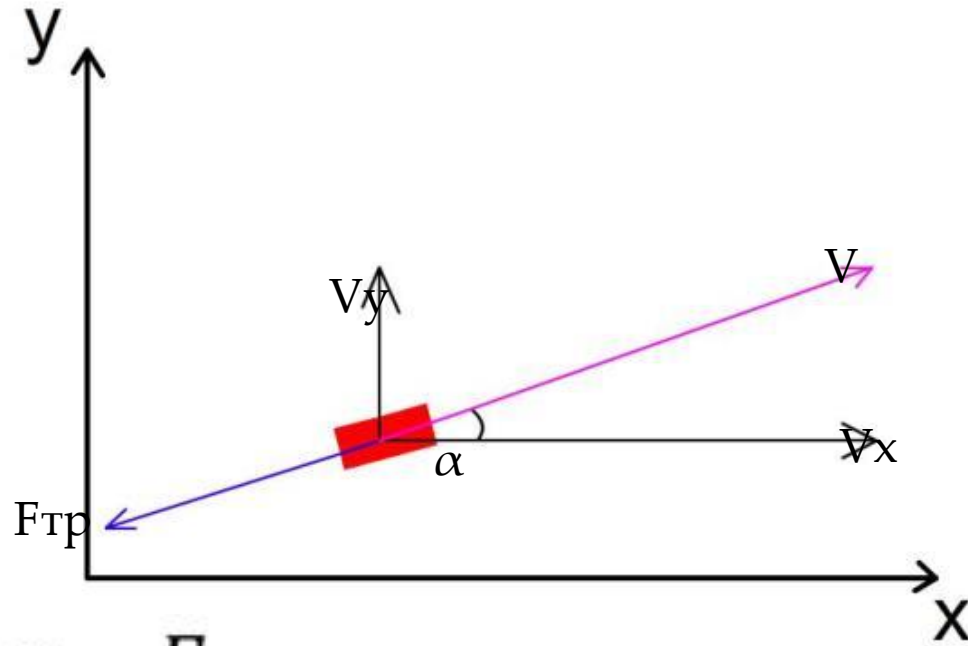


Зависимость скорости от частоты



Модель движения щётки

$$v_x \gg v_y$$



$$F_x = -F \cos \alpha \approx -F_{\text{тр}}$$

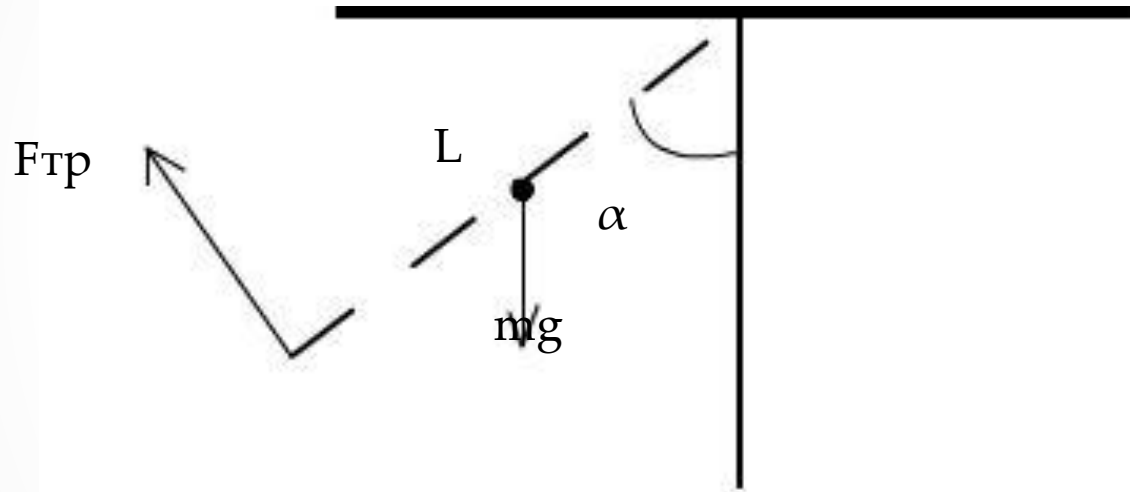
$$F_y = -F \sin \alpha \approx -F \tan \alpha$$

$$\frac{F_y}{v_y} = C$$

$$F = -C v$$

Вывод: Можно применить модель вязкого трения

Модель квазистатического движения при вязком трении



$$M_{\text{тр}} = M_{\text{тяж}}$$

$$V = \frac{mg}{2C} \cos \alpha$$

Сравнение практики и теории

Эксперимент	Теория
3,5 см/с	3,2 см/с

$$v \sim 1/\alpha$$

$$v \sim 1/m$$

$$v \sim 1/\mu$$

$$v \sim k$$

Итоги

- Объяснили причину движения щётки и определили параметры, существенно влияющие на характер движения
- Рассмотрели кинематику движения щётки
- Провели эксперименты по изучению движения щётки
- Рассмотрели зависимость скорости движения щётки от существенных параметров
- Описали модель движения щётки

Спасибо за внимание!