

-1 Законы движения. Расчет погрешностей в данной работе не требуется!

Условие

Задача 9-1 Законы движения.

Расчет погрешностей в данной работе не требуется!

В 9 классе Вы изучили два простейших вида движения – равномерное и равноускоренное. Но в реальности возможные законы движения не исчерпываются этими двумя случаями. В данной работе Вам необходимо исследовать различные законы движения и проанализировать применимость простейших моделей для их описания.

Оборудование: скрепки (15 шт.); нить; лента измерительная 1,5 м; линейка 40 см; штатив с лапкой; деревянная рейка ($200 \times 1,5 \times 1,5$) см; секундомер с памятью этапов; пластиковая бутылка с круглой выемкой, объемом 1 л; дополнительная нить, длина которой подбирается.

Разберитесь как проводить измерения с помощью секундомера с памятью этапов – это поможет Вам быстрее провести необходимые измерения. При определении времени движения скрепок делайте не менее пяти измерений с усреднением конечного результата.

Гибкая нить, перекинутая через цилиндрическую поверхность, может скользить по поверхности под действием подвешенных к ее концам скрепок. Экспериментальная установка с закрепленными на мерной ленте метками-скрепками с координатами 0,3 м; 0,6 м; 0,9 м; 1,2 м; 1,5 м показана на рис. 1. Дополнительные грузы-скрепки необходимо присоединять только к одной (например, к левой) скрепке.

Часть 1. Просто цепочка.

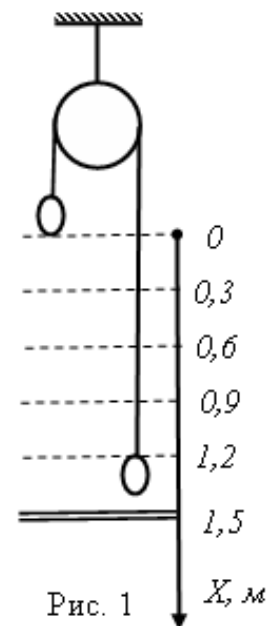
Прикрепите дополнительно к одной из скрепок 5 или 6 скрепок (так, чтобы началось скольжение нити по бутылке). 1.1 Измерьте зависимость координаты скрепок от времени $x(t)$. Постройте график полученной зависимости.

1.2 Определите какая из моделей (равномерное или равноускоренное движение) точнее описывает полученную Вами зависимость. Ответ обоснуйте графически.

1.3 Качественно объясните полученный результат.

Решение

Задача 9-1 Законы движения. Предисловие.

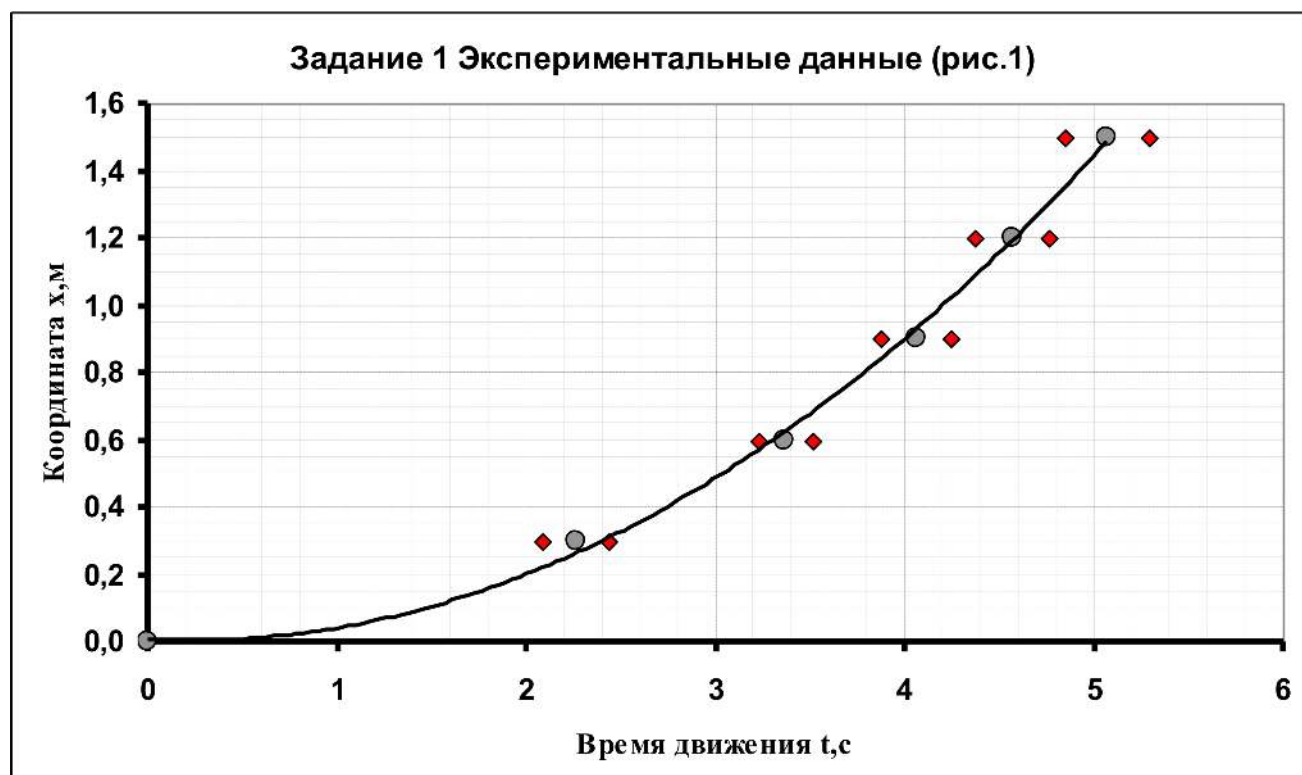


Данная задача является чисто экспериментальной, потому, что дать строгое теоретическое описание крайне затруднительно. Это связано с наличием целого ряда трудно учитываемых факторов. 1. Масса нити в данной работе сравнима с массой подвешиваемых грузов. Следовательно, при ее движении изменяются соотношения масс нитей, висящих с разных сторон от блока. 2. Трение нити о блок играет существенную роль. Причем в данном случае результирующую силу трения нельзя считать постоянной, она может зависеть от скорости. Не говоря уже о том, что даже в простейшем случае изменение силы натяжения нити на блоке описывается формулой Эйлера, содержащей «страшную экспоненту» 3. Не известны свойства самой нити – ее упругость, растяжимость, шероховатость и т.д. Иными словами начало условия задачи можно сформулировать так: «Весомая, растяжимая, с изменяющимся коэффициентом трения нить переброшена через неподвижный блок. Трение и сопротивление воздуха учитывать...!»

Часть 1. Просто цепочка. В этой части работы к обоим концам нити прикрепляются скрепки, которые приводят нить в движение. Результаты измерений времен движения приведены в Таблице 1. **Таблица 1.**

$X, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_4, \text{ с}$	$t_5, \text{ с}$	$\langle t \rangle, \text{ с}$
0,3	2,14	2,45	2,00	2,44	2,26	2,26
0,6	3,25	3,44	3,17	3,56	3,45	3,37
0,9	3,91	4,16	3,80	4,31	4,14	4,06
1,2	4,42	4,62	4,32	4,89	4,6	4,57
1,5	4,82	5,27	4,79	5,32	5,15	5,07

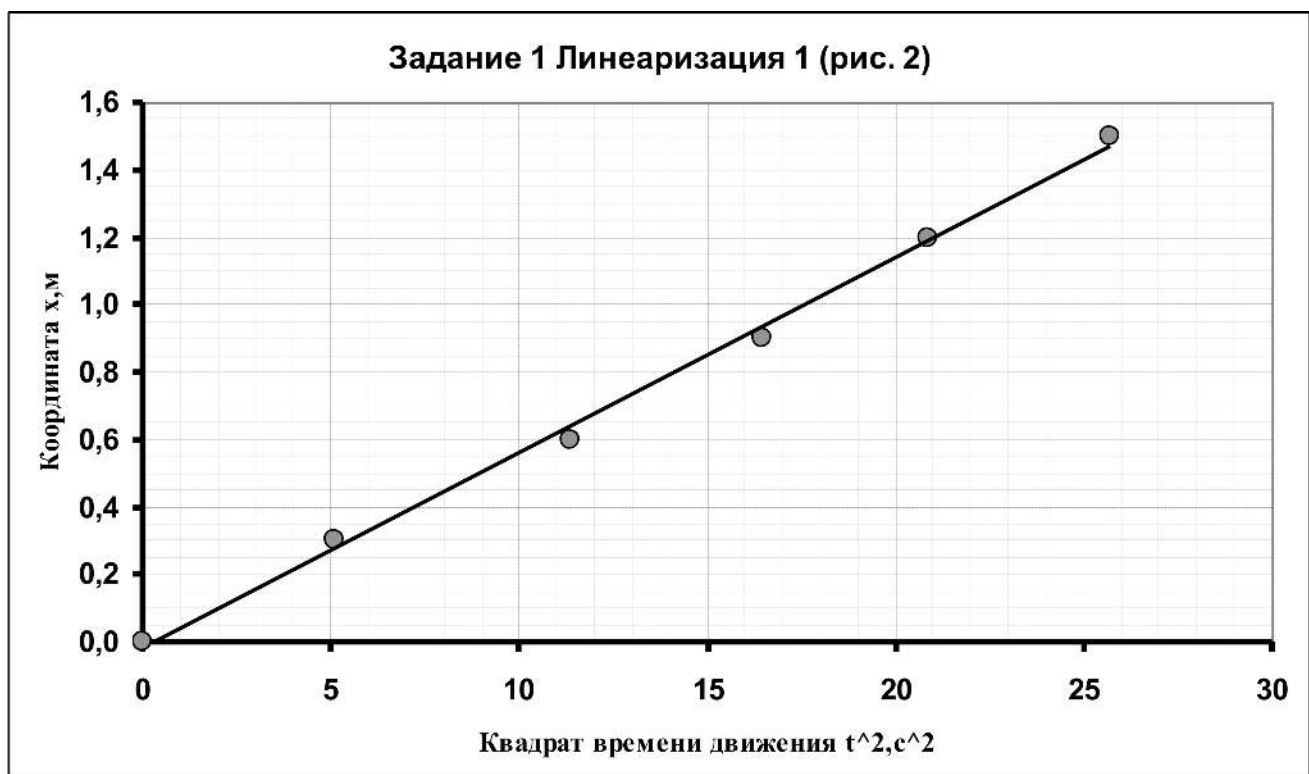
На рисунке 1 приведен график полученного экспериментального закона движения.



Ромбами отмечены пределы статистической погрешности измерения времен движения (от участников олимпиады не требуется). По внешнему виду полученная зависимость похожа на квадратичную, описывающую закон равноускоренного движения:

$$x = \frac{at^2}{2} \quad (1)$$

Однако, внешний вид не является серьезным аргументом в физической дискуссии. Поэтому требуется дальнейший анализ полученной зависимости. основной способ проверки заключается в линеаризации этой зависимости, которая может быть проведена различными способами. Простейший из них – построить зависимость координаты от квадрата скорости $x(t^2)$ - рисунок 2.



Эта зависимость близка к линейной, что подтверждает (?) применимость формулы (1) к описанию полученного закона движения. Однако, проведенная линеаризация не применима если движение является равноускоренным. но с некоторой начальной скоростью

$$x = v_0 t + \frac{at^2}{2} \quad (2)$$

В этом случае можно исследовать следующую линеаризующую зависимость $\frac{x}{t} = F(t)$ - зависимость средней скорости (с начала движения) от времени.

$$\frac{x}{t} = v_0 + \frac{at}{2} \quad (3)$$

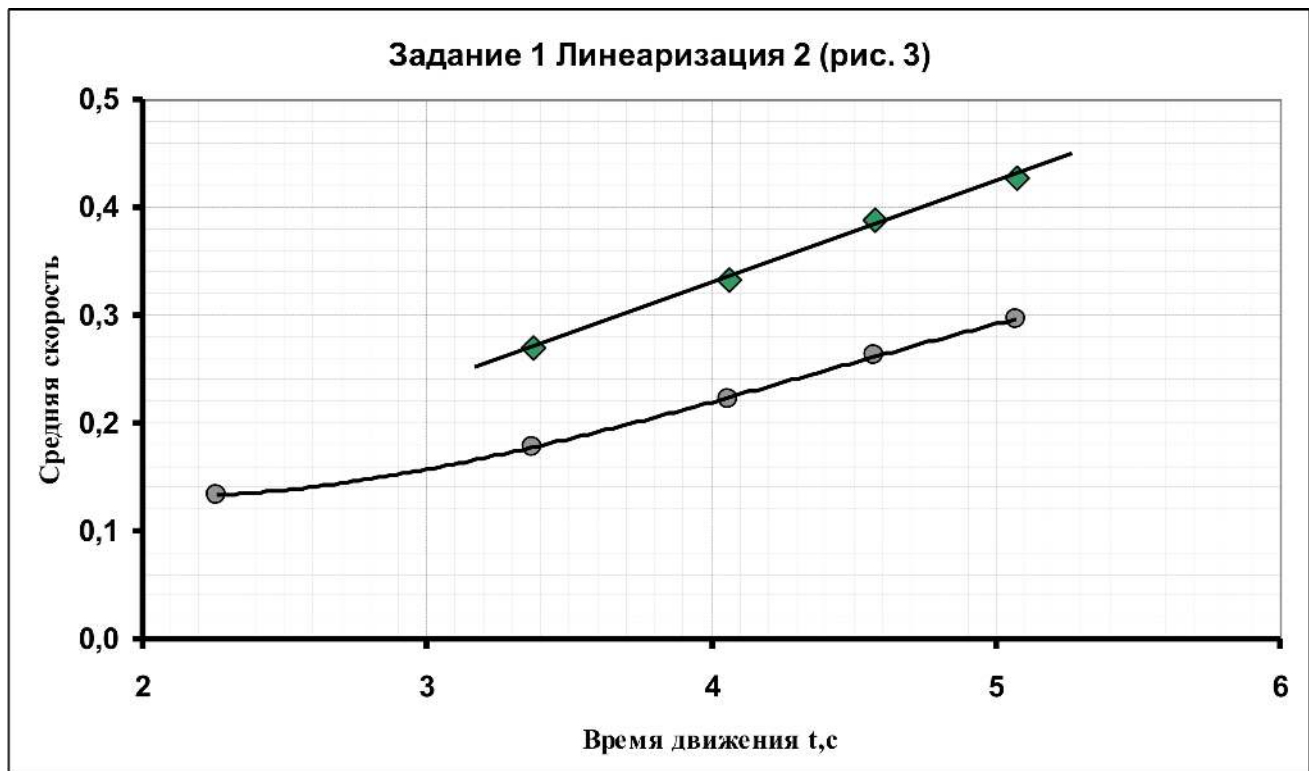
Но и эта линейаризация «работает» не всегда. Если в начальный момент времени координата отлична от нуля, то следует ее исключить, посредством перехода к новым переменным

$$\frac{x - x_0}{t - t_0} = v_0 + \frac{a(t - t_0)}{2}. \quad (4)$$

Теоретически эта линейаризация при анализе равноускоренного движения является оптимальной. Но при анализе реальных экспериментальных данных (при наличии неизбежных погрешностей измерений) она может приводить к большим ошибкам, главным

образом из-за погрешностей измерения величины t_0 . Поэтому в дальнейшем мы ограничимся анализом с помощью формулы (3).

На рисунке 3 приведены результаты обработки по формулам (3 – отмечены кружками) и (4 – отмечены ромбами)



В целом можно сказать, что эти зависимости также подтверждают вывод о равноускоренном характере движения в данном случае.

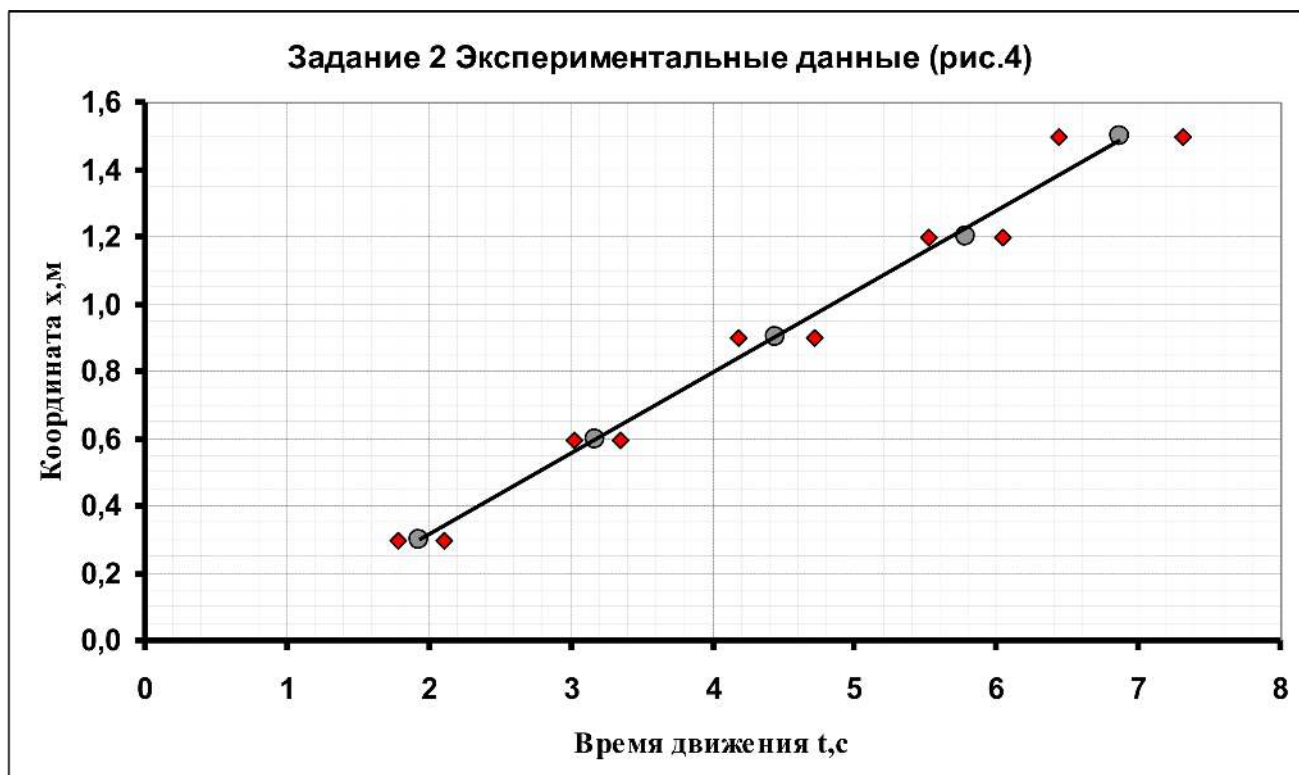
Задание 2 Полузамкнутая цепочка.

В этой части задания длинный кусок нити лежит на полу и постепенно поднимается в процессе движения.

Результаты измерений зависимостей времен движения от величины смещения приведены в таблице 2 и на графике рис. 4

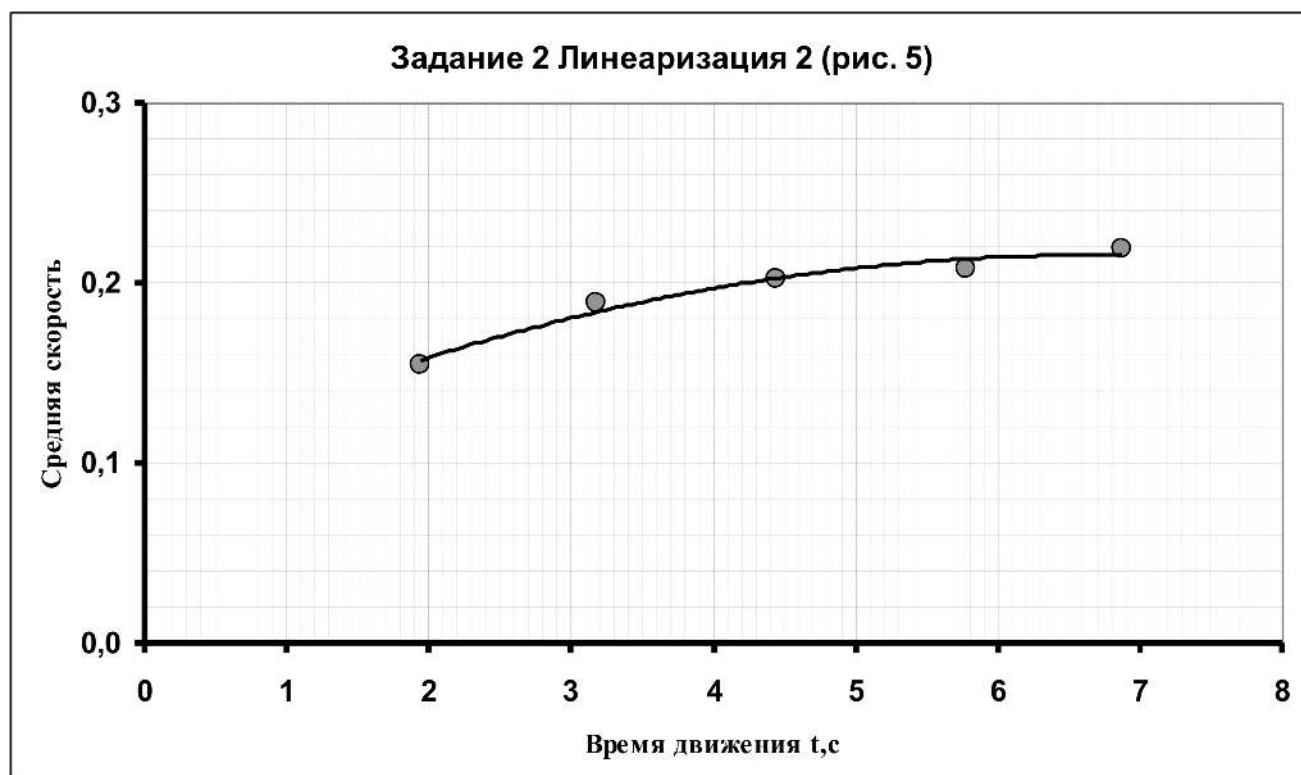
Таблица 2.

$X, \text{ м}$	$t_1, \text{ с}$	$t_2, \text{ с}$	$t_3, \text{ с}$	$t_4, \text{ с}$	$t_5, \text{ с}$	$\langle t \rangle, \text{ с}$
0,3	1,8	2,11	2,09	2,0	1,70	1,94
0,6	3,07	3,41	3,34	3,15	2,98	3,18
0,9	4,17	4,91	4,49	4,42	4,19	4,44
1,2	5,51	6,17	5,83	5,89	5,48	5,78
1,5	6,34	7,62	7,03	6,79	6,57	6,87



Задание 2 Экспериментальные данные (рис.4)

В этом случае график закона движения близок к прямой линии, что «намекает» на то, что движение является равномерным. Однако, график зависимости средней скорости от времени, данные для которого рассчитаны по формуле (3), показывает, что и в этом случае скорость незначительно возрастает (рис. 5)



Задание 2 Линеаризация 2 (рис. 5)

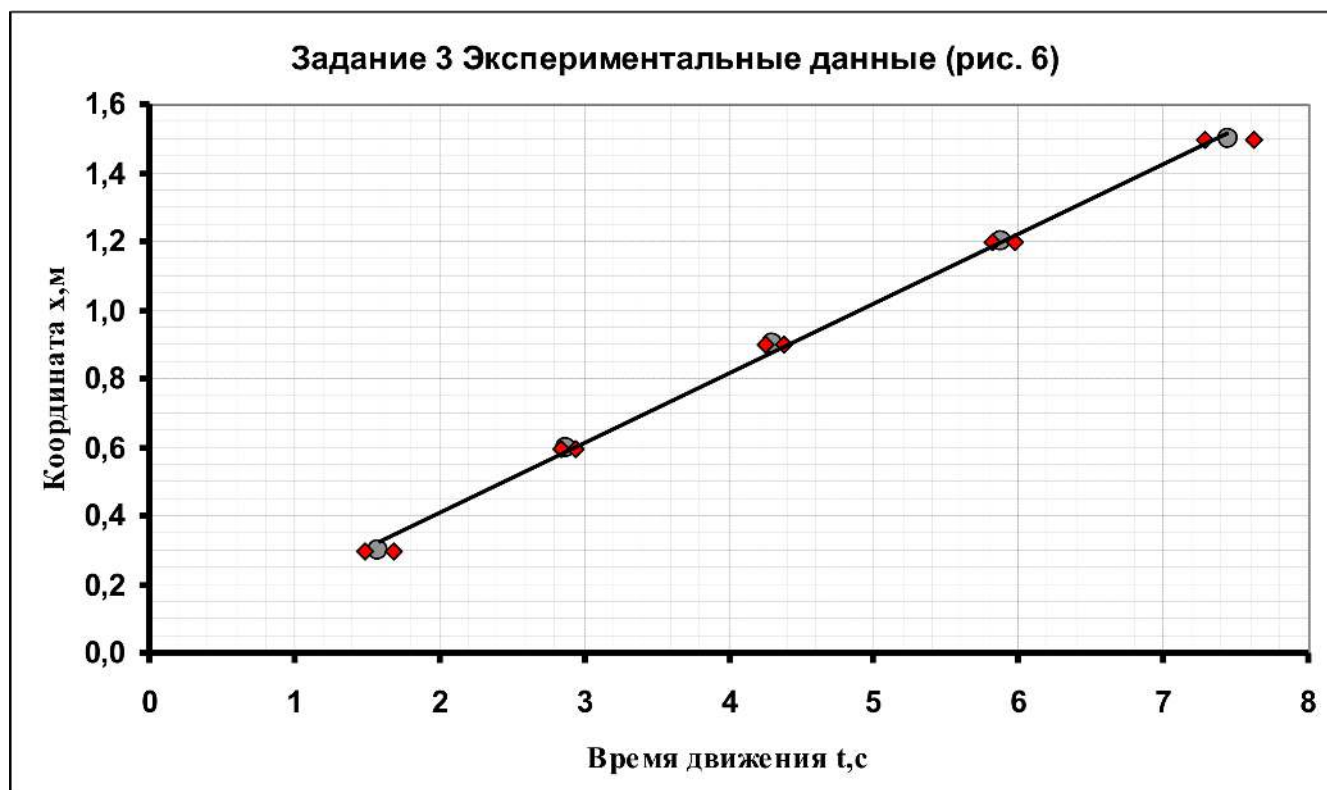
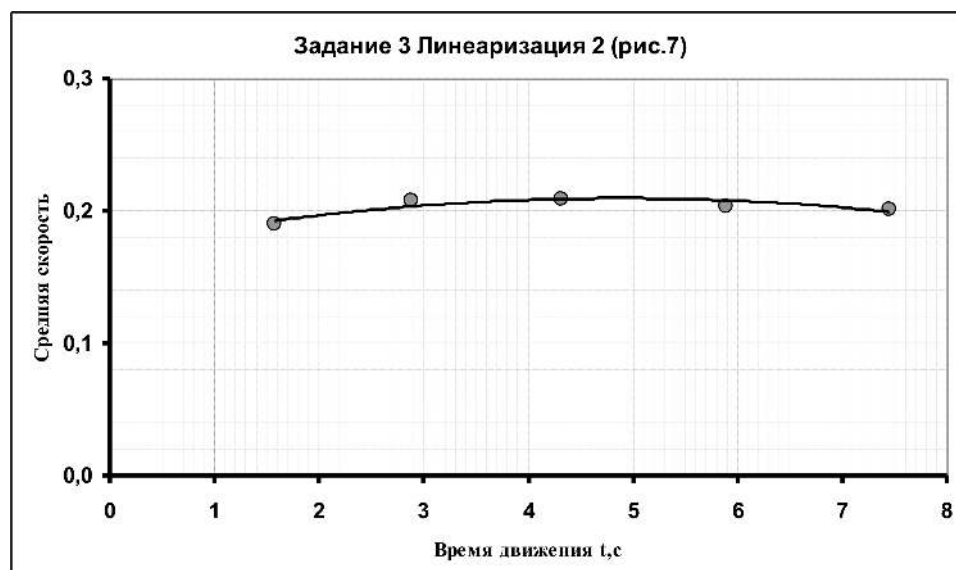
Возможно, эти изменения лежат в пределах погрешности (но их рассчитывать запрещено), но тенденция к возрастанию скорости есть! Тем не менее, в данном случае **модель равномерного движения вполне применима**. Качественно объяснить полученную зависимость можно следующим образом. При движении часть нити приподнимается (увеличивается потенциальная энергия) и разгоняется (увеличивается кинетическая энергия), на что затрачивается энергия опускающихся скрепок. Так как эти изменения зависят от скорости, то возможно установление постоянной скорости установившегося движения.

Задание 3 Замкнутая цепочка.

В данной части нить «зациклена», поэтому суммарная масса нити висящей нити остается постоянной, причем с разных сторон блока массы нитей остаются постоянными. Результаты измерений, аналогичных, проведенным в предыдущих частях задания, приведены в Таблице 3 и на графике рис. 6.

Таблица 3.

$X, м$	t_1, c	t_2, c	t_3, c	t_4, c	t_5, c	$\langle t \rangle, c$
0,3	1,48	1,74	1,66	1,53	1,48	1,58
0,6	2,85	2,94	2,93	2,81	2,87	2,88
0,9	4,24	4,41	4,35	4,30	4,25	4,31
1,2	5,92	5,86	5,81	5,86	6,02	5,89
1,5	7,75	7,46	7,34	7,23	7,47	7,45



Полученная зависимость очень близка к линейной, что говорит о том, что и в данном случае движение близко к равномерному. Этот же вывод подтверждает и уже традиционная линеаризация. (рис. 7) — средняя скорость остается постоянной. Объяснение подобного неожиданного результата требует дальнейших исследований.