

Краевая научно-практическая конференция
учебно-исследовательских работ учащихся 6-11 классов
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Прикладные вопросы математики

**Особенности применения магнитных жидкостей в
амортизаторах**

Калугин Василий Алексеевич,
11 кл., МБОУ «Лицей №1», г. Пермь,
Анферов Сергей Дмитриевич,
учитель физики.

Пермь. 2015.

Аннотация

Основным предметом исследования является амортизатор с ферромагнитной жидкостью в магнитном поле.

Целью исследования является создание модели амортизатора с ферромагнитной жидкостью и изучение его свойств.

Чтобы достичь цели, было необходимо выполнить следующее:

- Создать математическую модель амортизатора
- Провести эксперимент, показывающий поведение ферромагнитной жидкости в магнитном поле
- Проанализировать результаты

Во время исследования было выяснено, что время срабатывания амортизатора зависит от электрического напряжения.

Стоит отметить, что в качестве модели ферромагнитной жидкости используются стальные шарики.

В заключение следует отметить, что цели, поставленные в начале исследования, были выполнены, а именно: математическая и физическая модели были построены, результаты проанализированы.

Оглавление

Аннотация.....	2
Annotation	Ошибка! Закладка не определена.
Введение	4
Цель работы.....	4
Общая теоретическая информация.....	5
Постановка задачи.....	6
Содержательная постановка задачи	7
Концептуальная постановка задачи	8
Математическая постановка задачи	9
Эксперимент	13
Результаты эксперимента.....	16
Вывод.....	18
Перспективы развития	18
Развитие модели для эксперимента.....	19
Модель №1:	19
Модель №2:	20
Модель №3:	21
Модель №4, улучшенная:	23
Список литературы	27

Введение

Все мы пользуемся механическими транспортными средствами, но далеко не все имеют представление о том, как работают эти механизмы. Большинство людей считает, что на безопасность движения влияют только тормоза, колёса, ремни безопасности и общая исправность транспортного средства. Но при наезде автомобиля на неровность на большой скорости образуются вибрации, которые могут сбить автомобиль с курса, а при многократном повторении и разрушить его. Для гашения этих вибраций в подвеске автомобиля используют рессоры, резиновые подушки, витые пружины в сочетании с амортизаторами. Именно об амортизаторах и пойдёт речь в этой работе.

На разных скоростях и разных дорожных покрытиях от амортизаторов требуется разная жёсткость, чтобы гасить вибрации, но при этом не допускать излишних кренов транспортного средства.

Цель работы

Была поставлена следующая цель работы:

Построить математическую модель амортизатора, использующего в качестве рабочего тела магнитную жидкость.

Исследовать использование в качестве рабочего тела в амортизаторах не масло или газ, а магнитную жидкость, т.к. при воздействии на неё электромагнитного поля, изменяются её свойства. Нас интересует изменение вязкости жидкости.

Были поставлены задачи:

- Составить математическую модель движения этой жидкости в амортизаторе без воздействия электромагнитного поля.
- Провести эксперимент, чтобы убедиться в адекватности математической модели.
- Провести эксперимент повторно, но уже с воздействием электромагнитного поля.

Общая теоретическая информация.

Амортиза́тор — устройство для гашения колебаний и поглощения толчков и ударов подвижных элементов (подвески, колёс), а также корпуса самого транспортного средства, посредством превращения механической энергии движения (колебаний) в тепловую. Амортизатор состоит из поршня, который совершает колебательные движения, рабочего тела (масло, газ, магнитная жидкость), клапанов и пружины, которая возвращает поршень в начальное положение.

Электромагнитное поле — это поле, создаваемое электрическим током.

Магнитореологическая жидкость — жидкость, содержащая в себе магнитные микрочастицы, в результате чего имеет способность менять свою вязкость под воздействием электромагнита. Это свойство широко используется в амортизаторах адаптивных подвесок, где в автоматическом режиме или превентивно, выбрав соответствующий режим, можно существенно изменять параметры жесткости подвески. Одним из лидеров применения магнитореологической жидкости в качестве рабочего тела амортизаторов является компания Ferrari (суперкары Ferrari F12berlinetta, Ferrari 458 Italia, Ferrari FF и др.). Суперкар Porsche 911 имеет магнитореологическую жидкость еще и в активных опорах двигателя.

Ферромагнитная жидкость — жидкость, сильно поляризующаяся в присутствии магнитного поля.

Изменение вязкости магнитной жидкости при воздействии на него магнитного поля:

Магнитная жидкость состоит из ферромагнитных частиц и их носителя (масло и другие вязкие жидкости). При воздействии магнитного поля ферромагнитные частицы начинают выстраиваться по направлению векторов магнитного поля. В зависимости от того, в какую сторону направлены векторы магнитного поля, ферромагнитные частицы будут либо препятствовать продвижению жидкости по цилиндру, либо ускорять его.

Постановка задачи

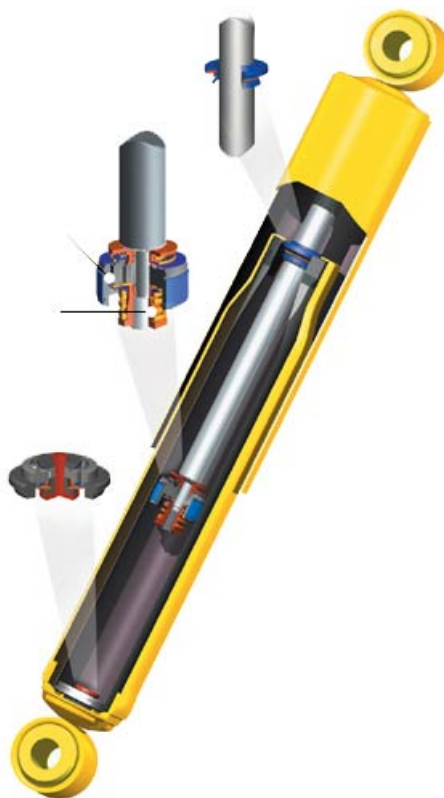
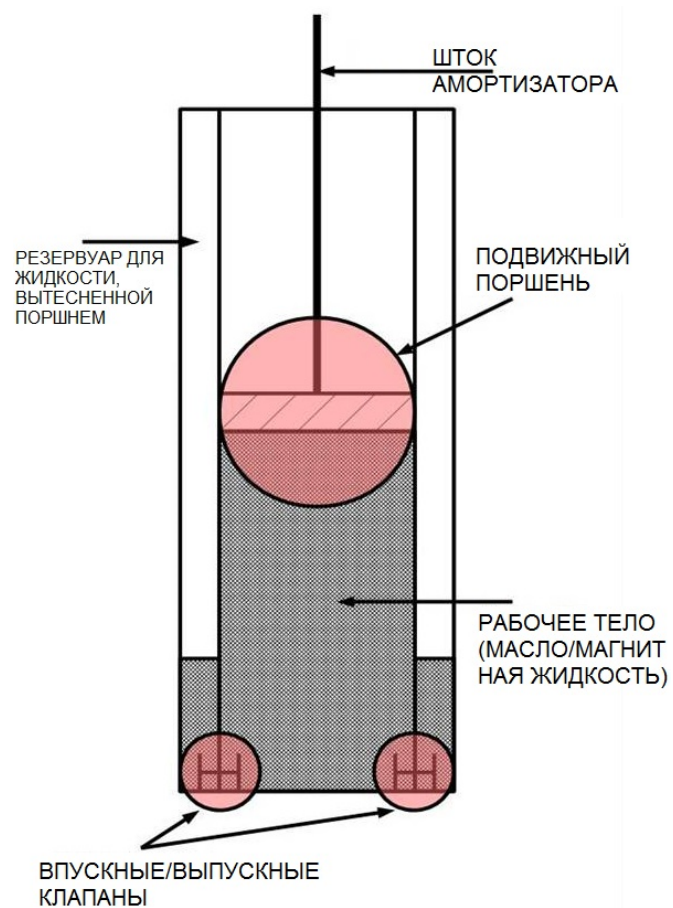


Рисунок 1 Схема работы амортизатора

Содержательная постановка задачи

Рассмотрим принцип работы жидкостного амортизатора:

При воздействии силы на шток амортизатора, он начинает движение внутрь корпуса, выталкивая жидкость через выпускные клапаны, в резервуары, расположенные по краям амортизатора. Жидкость оказывает сопротивление за счёт внутреннего трения и взаимодействия со стенками корпуса и клапанами. В результате шток совершает затухающие колебания: чтобы вернуть шток амортизатора в исходное положение, используют пружины. Пружина вытягивает шток из корпуса, а жидкость возвращается в рабочую часть поршня через впускные клапаны.

В качестве рабочего тела в амортизаторе используется магнитная жидкость.

Необходимо минимизировать количество и амплитуду этих колебаний для обеспечения комфортной и безопасной езды путём воздействия на магнитную жидкость магнитным полем.

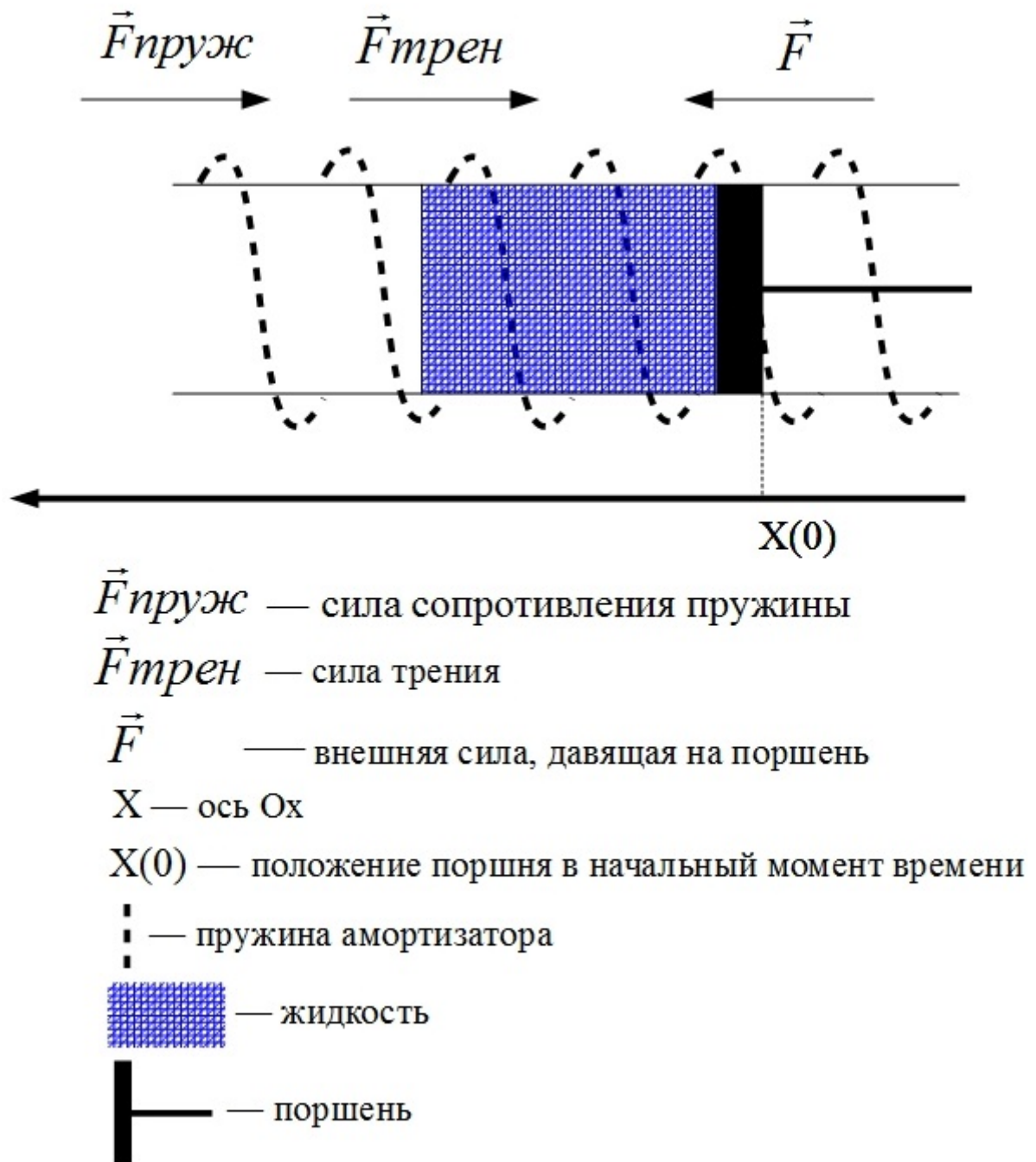
Концептуальная постановка задачи

На первом этапе работы рассмотрим движение штока и жидкости в амортизаторе, при этом вводятся следующие гипотезы:

- В качестве жидкости в амортизаторе используется масло, либо магнитная жидкость.
- Известно, что давление, оказываемое на жидкость недостаточно для изменения объёма жидкости, будем считать жидкость твёрдым телом.
- Т.к. клапаны не будут оказывать заметного воздействия на жидкость в самом цилиндре, их сопротивление учитывать не будем.
- Исходя из того, что сопротивлением клапанов можно пренебречь, учтём только трение жидкости о стенки трубки амортизатора.
- Пусть трубка герметично запаяна, поэтому количество вещества в ней считаем постоянным.
- Не вводим ограничений на свободный ход поршня, т.к. необходимо рассмотреть его поведение на большем участке пути.

Математическая постановка задачи

Построим схему работы поршня. Для упрощения дальнейших вычислений рассмотрим движение поршня в горизонтальной плоскости, что позволит не учитывать силу тяжести.



- I. Рассмотрим проекции сил, действующих на поршень и жидкость, на ось Ox :

1) Сила трения: $F_{тр} = -\mu * v = -\mu * x'$;

μ - коэффициент трения, v - скорость, x' - скорость как первая производная от координаты.

2) Сила сопротивления пружины: $F_{пруж} = -k * x$;

k - коэффициент упругости пружины, x - координата

3) Внешняя сила, сжимающая поршень: $F = const$.

- II. Векторная сумма сил в проекции ось Ox :

$$-F_{тр} - F_{пруж} + F = m * a = m * x''$$

m - масса жидкости и поршня вместе, a - ускорение, x'' - ускорение как вторая производная от координаты.

Запишем силы через другие величины (см. пункт I)

$$-\mu * v - k * x + F = m * a$$

- III. Расчёты будем проводить в среде Wolfram Mathematica, поэтому запишем уравнение в следующем виде:

$$-\mu * x' - k * x + F = m * x''$$

Подставим в уравнение следующие значения параметров задачи:

$$F=10 \text{ Н};$$

$$m=0.5 \text{ кг};$$

$$k=100 \text{ Н/м};$$

В первом случае будем пренебрегать силой трения, т.е. $\mu=0$.

Получаем следующую зависимость координаты X положения поршня от времени t :

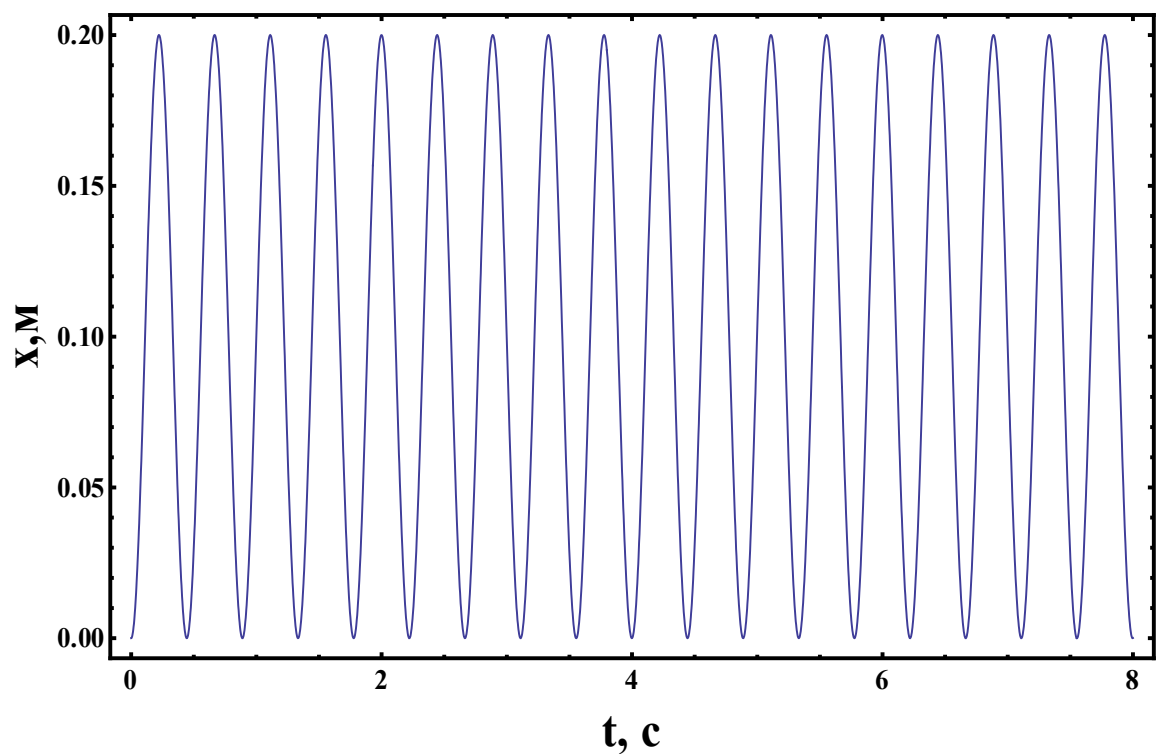


Рисунок 2 Зависимость координаты от времени без учёта силы трения

Теперь учитываем силу трения ($\mu=1$) и получаем следующий график:

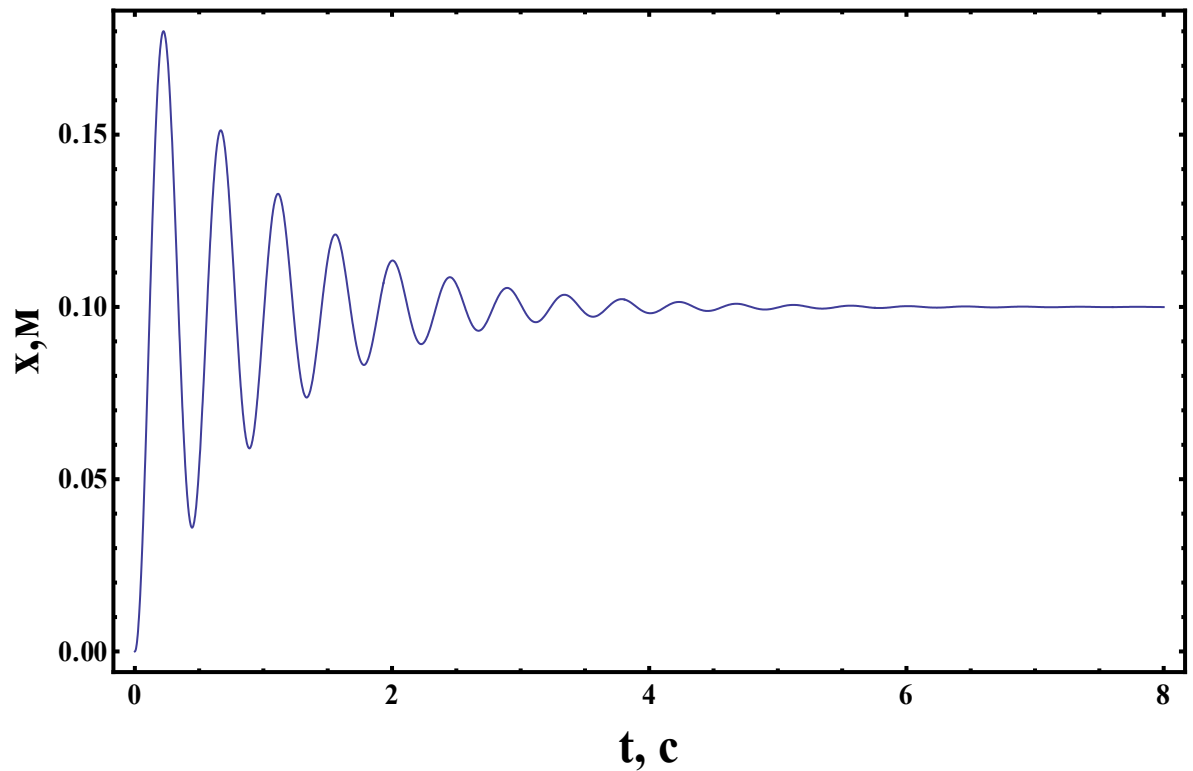


Рисунок 3 Зависимость координаты от времени с учётом силы трения

Сравнив эти графики, можем сделать вывод, что затухание колебаний поршня зависит от силы трения, иначе колебания будут продолжаться бесконечно.

Дальнейшей целью работы является изучение зависимости силы трения от напряжения, создающего магнитное поле.

Эксперимент

Была построена упрощённая модель поршня с магнитной жидкостью. В качестве модели магнитной жидкости используются стальные шарики. Стальные шарики используются, т.к. их поведение похоже на поведение молекул жидкости.

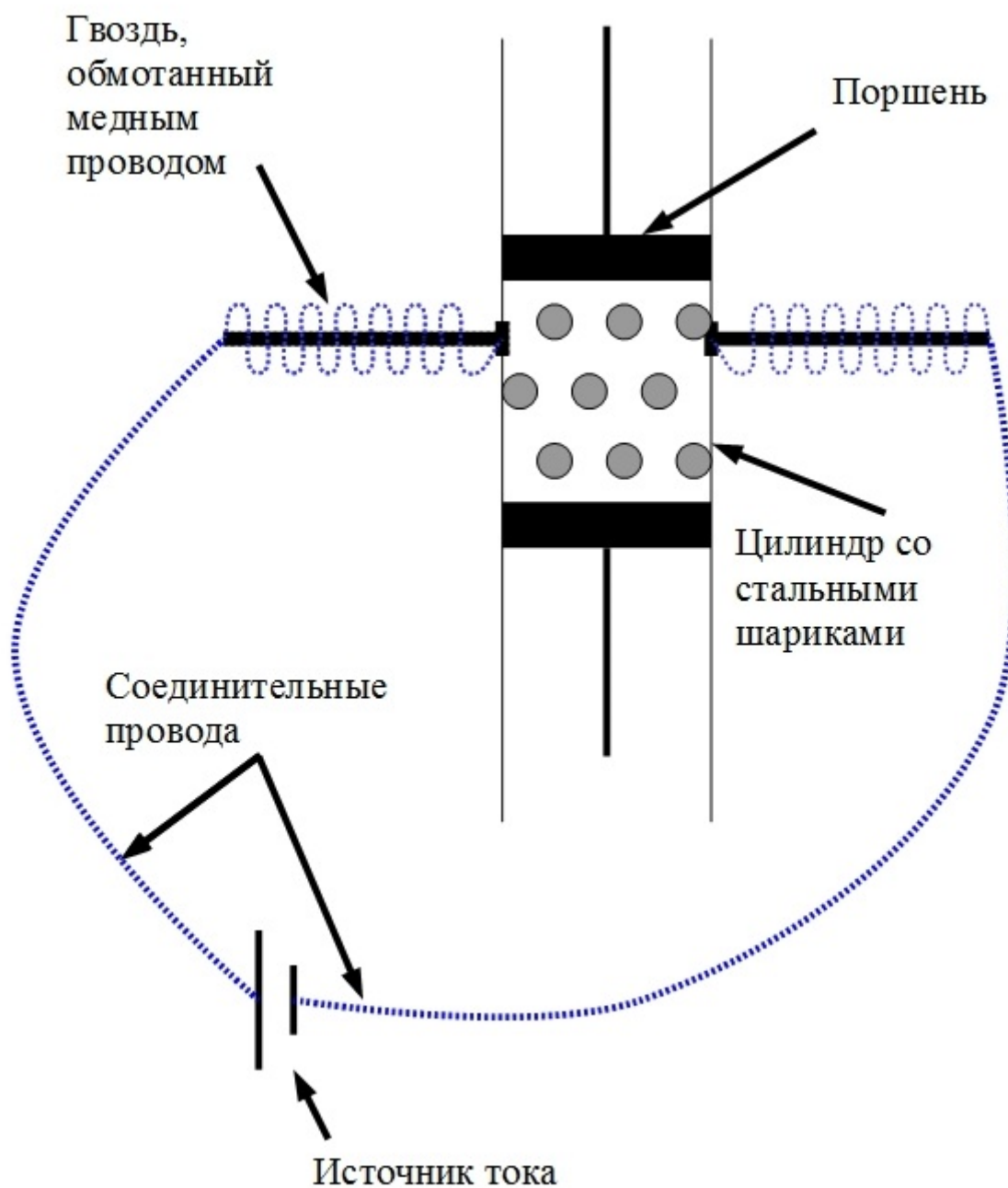


Рисунок 4 Схема эксперимента

Электрический ток подаётся от источника питания на медный провод, намотанный на гвозди, которые служат ферромагнитным сердечником, в результате чего в пространстве вокруг катушки с током образуется магнитное поле. Это магнитное поле воздействует на стальные шарики, служащие моделью магнитной жидкости, то есть изменяет вязкость жидкости.

Сверху на поршень давит груз, благодаря чему силу воздействия можно считать постоянной. В результате поршень опускается.

Цель эксперимента - определить зависимость времени опускания поршня от напряжения в цепи.

Из времени опускания и величины напряжения получить зависимость изменения вязкости жидкости от напряжения.

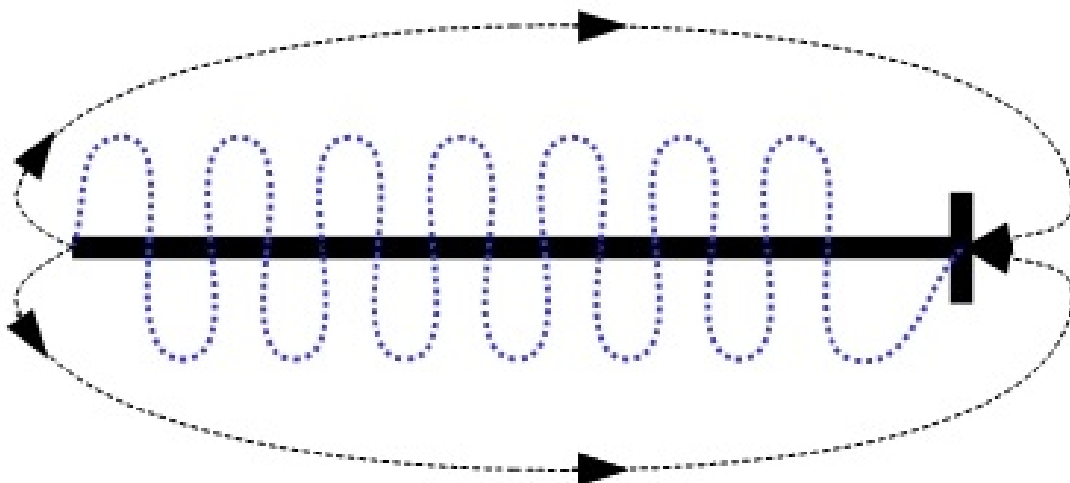


Рисунок 5 Линии магнитного поля, образующиеся вокруг гвоздя с медным , обмотанного медным проводом

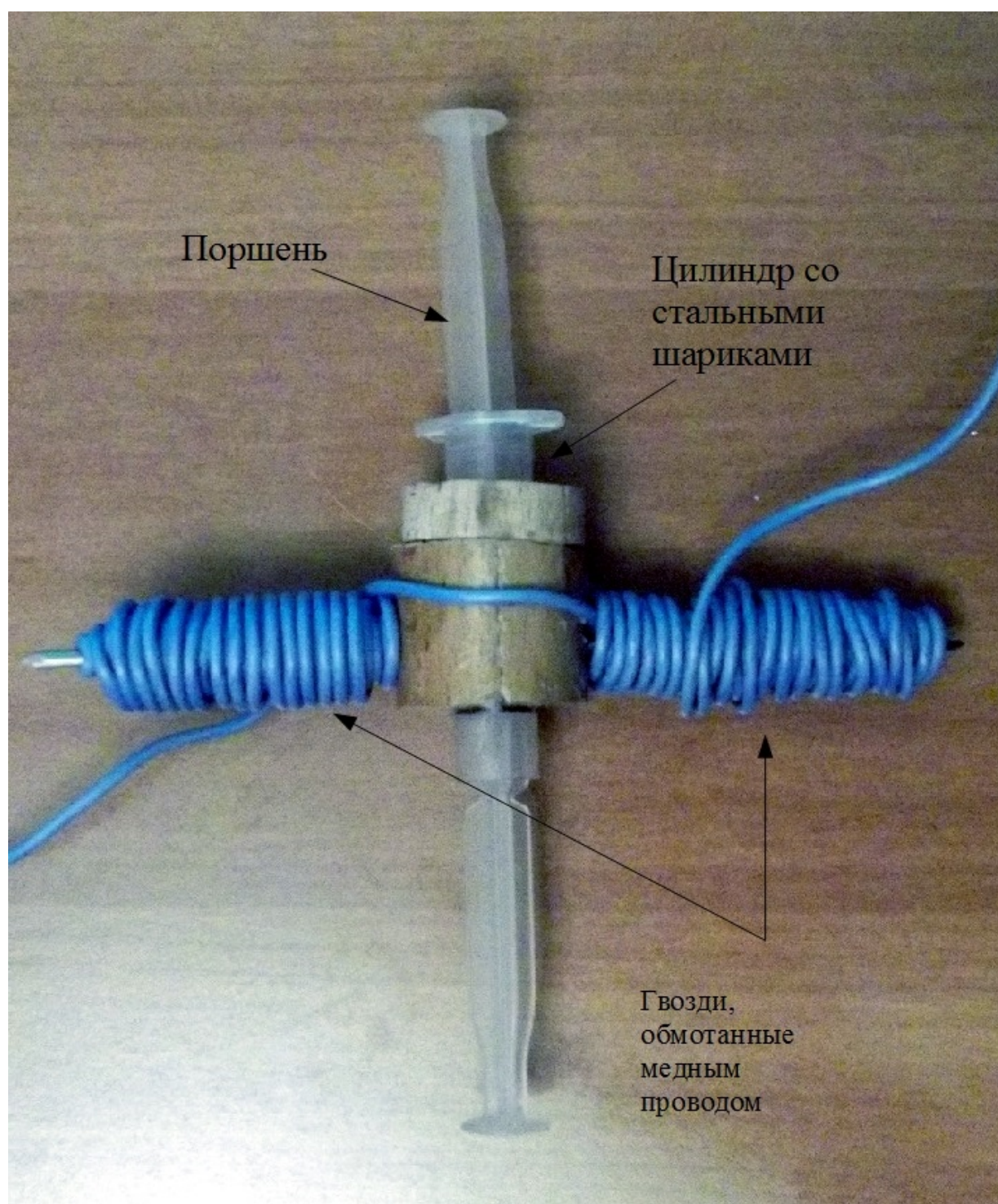


Рисунок 6 Модель амортизатора для эксперимента

Результаты эксперимента

Эксперимент, проведённый на модели №3 (см. Развитие модели для эксперимента) показал, что время срабатывания амортизатора зависит от напряжения, подаваемого на катушки с током.

	без напряжения(t),с	18 В(t),с	30 В (t),с	45 В(t),с
	1,4	1,69	1,9	2,05
	1,43	1,69	1,88	2
	1,38	1,71	1,9	2,03
	1,38	1,68	1,89	1,99
	1,44	1,69	1,91	2,01
	1,39	1,72	1,9	2,02
	1,4	1,69	1,88	2
	1,39	1,68	1,92	2,01
	1,42	1,71	1,9	2
	1,4	1,69	1,89	1,99
ср.знач.=	1,403	1,695	1,897	2,01

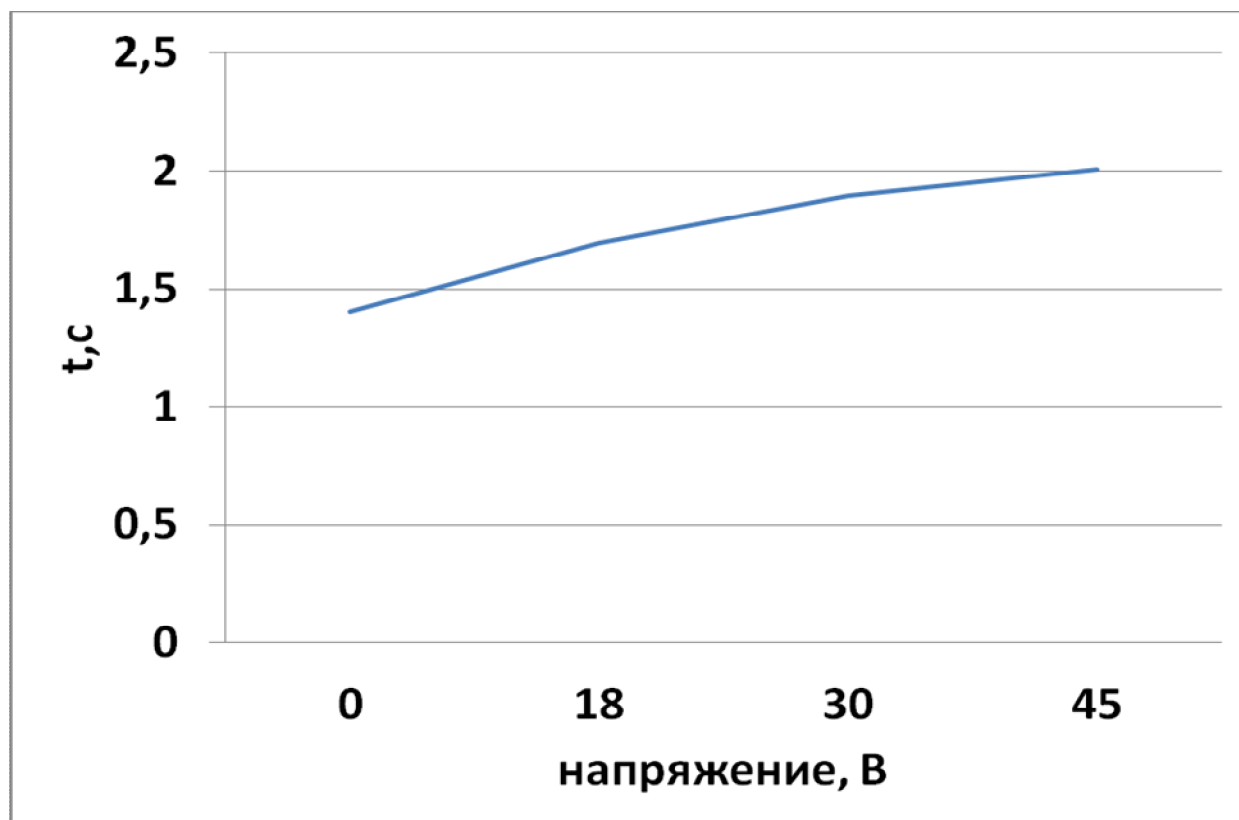


Рисунок 6 График зависимости времени опускания поршня от напряжения

Вывод

Из построенной математической модели можно сделать вывод, что затухание колебаний амортизатора зависит от силы трений. В случае её отсутствия колебания будут продолжаться бесконечно.

Из проведённого эксперимента можно сделать вывод, что время срабатывания амортизатора изменяется при воздействии на него магнитного поля.

Перспективы развития

В ходе эксперимента была построена ещё одна модель амортизатор с магнитной жидкостью (см. см. Развитие модели для эксперимента). Она будет использована в дальнейшей работе.

Также необходимо заменить стальные шарики на магнитную жидкость.

Будет использовано большее напряжение.

Развитие модели для эксперимента

Модель №1:

Основываясь на принципе работы амортизатора и свойствах магнитной жидкости, была создана следующая модель:

- Модель амортизатора - шприц с пластиковым наконечником на поршне
- Модель магнитной жидкости – машинное масло, смешанное с мелкой металлической стружкой
- Магнитное поле создаётся медным проводом, накрученным на шприц

Недостатки модели:

- При использовании масла с малой вязкостью стружка оседает на дне, при использовании масла с высокой вязкостью – возникает слишком большое усилие на поршне
- Поршень с пластиковым наконечником не обеспечивает достаточной плавности хода
- Провод, намотанный на шприц, создаёт внутри шприца однородное магнитное поле, которое не оказывает значительного воздействия на модель магнитной жидкости.



Рисунок 8 Шприц, наполненный смесью масла и металлической стружки

Модель №2:

- Для обеспечения достаточной плавности хода используется поршень с резиновым наконечником.
- В качестве модели магнитной жидкости используется смесь стальных шариков с мелкой металлической стружкой. Стальные шарики используются, т.к. их поведение похоже на поведение молекул жидкости.
- Чтобы равномерно перемещать модель магнитной жидкости по шприцу был добавлен ещё один поршень снизу.

Недостатки модели:

- Металлическая стружка проникает между резиновым наконечником поршня и стенками цилиндра, значительно увеличивая силу трения. Из-за этого поршень необходимо прочищать после каждого эксперимента.
- Малый ход поршня не позволяет точно замерить время его опускания.
- Проблема с расположением провода для создания магнитного поля ещё не решена.



Рисунок 9 Шприц, наполненный смесью стальных шариков и металлической стружки

Модель №3:

- В качестве модели магнитной жидкости используются только стальные шарики.
- Для создания магнитного поля используются два гвоздя, обмотанных медным проводом и расположенных перпендикулярно шприцу.
- Источник питания – 12 батареек на 1.5 Вольта каждая, соединённые последовательно, суммарное напряжение 18 В.

Недостатки модели

- Малый ход поршня не позволяет точно замерить время его опускания.
- Необходимо провести эксперименты с разными величинами напряжения.



Рисунок 10 модель амортизатора - шприц с двумя поршнями



Рисунок 11 Собранный модель (по бокам два гвоздя, обмотанные медным проводом)

Модель №4, улучшенная:

- В качестве модели амортизатора используется велосипедный насос с подвижным поршнем с каждой стороны.
- Увеличено количество стальных шариков
- Использовано большее напряжение (батарейки объединены в модули, а не соединены проводами).
- Использован выключатель с крышкой, чтобы исключить случайное включение системы во время переноски.

Недостатки модели:

- Слишком слабое воздействие магнитного поля на шарики. Возможно, увеличение напряжения и диаметра ферромагнитных сердечников решат проблему.



Рисунок 12 Модули батареек



Рисунок 13 Выключатель с крышкой



Рисунок 14 Модель амортизатора для эксперимента



Рисунок 15 Вид сверху на модель амортизатора

Список литературы

Автомобильные амортизаторы. (n.d.). Retrieved from <http://autoustroistvo.ru/hodovaya-chast/amortizator/>

Магнитореологическая жидкость. (n.d.). Retrieved from <http://topruscar.ru/terms/magnitoreologicheskaya-zhidkost>

Мякишев, Синяков, С. (2010). Физика. Электродинамика. 10 - 11 кл.

Электромагнитное поле. (n.d.). Retrieved from
https://ru.wikipedia.org/wiki/%D%D%E%EA%F%F%E%EC%
E0%E3%ED%E8%F%ED%E%E% %EF%E%E%E