ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО РЕШЕНИЮ ЗАДАЧ О ПЕРЕТЕКАНИИ ЖИДКОСТИ И ГАЗОВ ЧЕРЕЗ МАЛЫЕ ОТВЕРСТИЯ

(Физико–математические дисциплины)

Исследовательская работа

Автор: Шаров Григорий Константинович,
9 класс, МАОУ «СОШ № 43 г. Челябинска»,
Научный руководитель:
Костицына Татьяна Петровна,
учитель физики
высшей категории

Челябинск, 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....3
ГЛАВА 1. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ.....5
1.1 Физические основы работы пневматических и гидравлических исполнительных систем.....5
1.2Движение вязкой жидкости.....5
1.3Схема эксперимента в гидро- и пневматических системах.....7
1.3.1 Проверка герметичности гидро- и пневматических систем.....7
1.3.2 Расчет влияния внешней жидкости.....7
1.3.3 Схема экспериментов газовой и гидродинамической систем.....7
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ.....9
2.1 Эксперименты с пневматическими системами.....9
2.2 Эксперименты с жидкостными системами.....11
2.3Оценка величины силы трения поршня внутри цилиндра шприца.....11
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....12
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....13
ПРИЛОЖЕНИЕ.....14

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время экономика многих стран зависит от развития таких транспортных систем как газо-нефтепроводы. Физики протекающих жидкостей и газов подчиняется законам гидро- и аэродинамики. Этот раздел физики занимается также передачей давления внутри жидкости по трубопроводам различной природы. Некоторые из нас не догадываются, что сердечно-сосудистая система так же представляет собой систему трубопроводов, которые называются артериями, венами капиллярами и т.д.

Многие законы биологии человек использует для создания технических систем. Например, пневматический и гидродинамический домкрат, пресс, подъемник, рессоры (подвески).

В школьном курсе физики изучается только один гидродинамический закон – закон Паскаля. И изучается в решении задач гидростатическое давление. Таким образом, возникает вопрос: какие еще могут быть направления в развитии гидромашин, приэто так же интересен вопрос: как управлять такими машинами, существуют ли закономерности в том, как быстро передается давление внутри гидросистем. Таким образом, тема исследования «Экспериментальные исследования по решению задачо перетекании жидкости и газов через малые отверстия» является актуальной.

Исходя из заявленной темы сформулирована цель работы:

Целью работы является: исследование систем гидро- и пневмопоршней как элементов исполнительных механизмов машин.

Объект исследования. Физические законы гидроаэродинамики замкнутых систем.

Предмет исследования.Выполнение закона Паскаля в поршневых замкнутых системах.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие **задачи:**

1. Изучить источники информации по проблеме исследования.
2. Определить круг вопросов известных по применению закона Паскаля в поршневых замкнутых системах.
3. Разработать схему экспериментов по Исследованию разветвленных систем гидро- и пневмопоршней.
4. Провести первоначальные опыты и наблюдения за поведением поршней в разветвленных гидро- и пневмосистемах.
5. Установить время реакции на изменение давления в системе.
6. Проанализировать полученные результаты и сформулировать выводы.
7. Предложить возможные направления развития в гидро- и пневмосистем.

Гипотеза. Если закон Паскаля справедлив для увеличения давления в системе, то все поршни гидросистемы должны одновременно реагировать на это увеличение.

Основными**методами в работе** были: анализ источников литературы, обобщение материала, проектирование и конструирование, наблюдение,

эксперимент.

Новизна исследования: в школьной практике такого рода опыты не проводились.

Приборы и материалы, использованные в работе:

1 Доступная медтехника: шприцы, капельницы.

2. Товары из зоомагазина: аквариум, гибкие шланги, уголки.

3. Физические приборы: секундомер, динамометр, манометр.

4. Система видеоконтроля: фото и видео системы смартофона.

ГЛАВА 1. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

1.1 Физические основы работы пневматических и гидравлических исполнительных систем

Основные понятия:

- Исполнительный механизм - устройство, преобразующее выходной сигнал регулятора в перемещение регулирующего органа, применяются поршневые и мембранные пневмоприводы.
- Пневматический исполнительный механизм – устройство, которое использует давление сжатого воздуха, чтобы произвести механическое движение. Движение, которое произведено, затем может использоваться, чтобы выполнить функцию перемещения регулирующего органа в системе автоматического регулирования.

В поршневом пневматическом исполнительном механизме давление воздуха действует на поршень в цилиндре для развития тяги и создания движения.

Поршневой пневматический исполнительный механизм используется для выбора положения жалюзи и заслонок, которые управляют потоком воздуха или других газов в промышленных процессах.

Гидравлический исполнительный механизм – устройство, преобразующее выходной сигнал регулятора при помощи силы жидкости под давлением, чтобы произвести механическое движение.

Гидравлические исполнительные механизмы обычно используются в случаях, требующих приложения больших усилий для перемещения устройств.

Самый простой вид гидравлического исполнительного механизма – механизм, который является механизмом однонаправленного действия. Именно такой механизм изучается в школьном курсе физики на примерегидравлеческого пресса.

1.2Движение вязкой жидкости

Формулировка закона Паскаля из школьного учебника физики: «Давление, производимое на жидкость или газ, передается в любую точку без изменений во всех направлениях»

Формулы из теории движения вязкой жидкости:

При движении реальной жидкости между ее слоями возникают силы внутреннего трения, или силы вязкости, которые замедляют движение жидкости.

Как показал Ньютон, сила внутреннего трения пропорциональна градиенту скорости и площади соприкасающихся слоев текущей жидкости $F=\eta\frac{\Delta\upsilon}{\Delta z}S$ (1)

где — η коэффициент динамической вязкости

Как следует из формулы (1), коэффициент динамической вязкости η численно равен силе вязкости, возникающей между двумя слоями жидкости единичнойплощади при градиенте скорости, равном единице. Коэффициент динамической вязкости зависит от температуры: в жидкостях с повышением

температуры уменьшается, в газах — увеличивается. Это говорит о разном механизме возникновения сил внутреннего трения в жидкостях и газах.

Течение жидкости называется ламинарным (слоистым), если выделенный вдоль потока слой скользит относительно соседних, не перемешиваясь с ними. Ламинарное течение стационарно. Течение жидкости называется турбулентным (вихревым), если в потоке происходит перемешивание частиц жидкости. Турбулентное течение нестационарно.

Рассмотрим ламинарное течение вязкой жидкости по горизонтальной цилиндрической трубе радиусом R (рис. 1). Выделим в потоке жидкости элементарный объем жидкости в форме цилиндра длиной l и радиусом r таким образом, чтобы ось цилиндра совпадала с осью трубы.

В курсе общей физики Фриш С.Э., Тиморева А.В. $[10, c.154-156]$ приводится подробное решение этой задачи, в результате которого получен результат распределения скорости по сечению трубы:

$$\upsilon = \frac{p_2 - p_1}{4\eta l}\left(R^2 - r^2\right) \qquad (2)$$

Если r = 0 , то максимальная скорость течения потока жидкости имеет место

$$\upsilon_{\max} = \frac{p_2 - p_1}{4\eta l} R^2$$

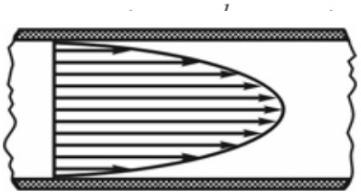


Рисунок 2

Следовательно, справедливо распределение скорости по сечению трубы, как показано на рисунке.

После чего в указанном ранее источнике мы находим формулу для объема жидкости, протекающей через поперечное сечение трубы за время *t*:

$$V = \frac{\pi R^4}{8\eta l}\left(p_2 - p_1\right)t \qquad (3)$$

Соотношение (3) было установлено французским физиком и физиологом Жаном Пуазейлем (1799—1869) и получило название *формулы Пуазейля*. Для турбулентного движения жидкости формула Пуазейля непригодна.

Если в трубе возникает вихрь, то частицы жидкости или газа, которые совершают быстрое вращательное движение относительно мгновенной оси вращения. Английский физик Осборн Рейнольдс (1842—1912), исследуя характер течения жидкостей по трубам, установил, что переход от ламинарного течения к турбулентному определяется безразмерным числом, которое получило название *числа Рейнольдса*:

$$\mathrm{Re} = l\rho\upsilon/\eta$$

где ρ— плотность жидкости, υ — средняя скорость потока по сечению трубы, η — коэффициент динамической вязкости, *l* — характерный размер сечения потока (при течении в длинных цилиндрических трубах *l* равно диаметру).

По всей вероятности, в нашей работе это число будет играть определенную роль, так как в разветвленной трубе появятся завихрения за счет изгиба и поворотов трубопровода (так как предполагается использование гибкого шланга). Если жидкость течет по гладкой круглой трубе, Re=2300. Это означает, при Re<2300 возможно только ламинарное течение жидкости, а при Re>2300течение может стать турбулентным.

Отношение ν=η/ρ называется *коэффициентом кинематической вязкости*, откуда Re=*l*υ/ν.

1.3Схема эксперимента в гидро- и пневматических системах

1.3.1 Проверка герметичности гидро- и пневматических систем.

Размещаем все использованное оборудование в воду. В случае пневматических систем «утечка» будет видна – появятся пузырьки воздуха в воде.

В случае гидросистемы также сможем наблюдать утечку, так как в качестве заполняющей жидкости используем подкрашенную незамерзающую жидкость, используемую в автомобилях.

1.3.2 Расчет влияния внешней жидкости.

Влияние внешней жидкости (жидкости, используемой в качестве индикатора герметичности пневмо- и гидросистем) можно не учитывать, так оно будет минимальным из-за небольшой высоты водяного столба:

$$h = 3 \text{ см} = 0{,}03\text{м}.$$

Тогда давление воды:

$$P = \rho gh = 1000\text{кг/м}^3 \cdot 10\text{м/с}^2 \cdot 0{,}03\text{м} = 300 \text{ Па}.$$

Минимальное давление внутри поршней равно атмосферному:

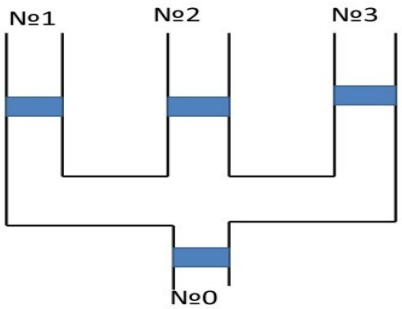
$$P_{мин} = P_{атм} = 100000 \text{ Па}$$

Найдем, какую часть атмосферного давления составляет внешнее гидростатическое давление:

$$\frac{P}{P_{атм}} = \frac{300}{100000} \cdot 100\,\% = ¿0{,}003 \cdot 100\% = 0{,}3\%$$

Таким образом, максимальное влияние внешней жидкости – индикатора утечки всего 0,3%, а при повышении давление будет еще меньше.

1.3.3 Схема экспериментов газовой и гидродинамической систем.

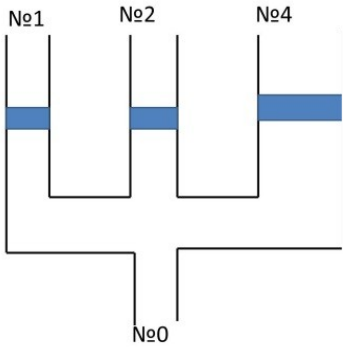


Чтобы узнать, как происходит смещение поршней во время повышения и уменьшения давления внутри системы, берем три поршня № 1,2,3. В первый раз все три – одинакового диаметра.

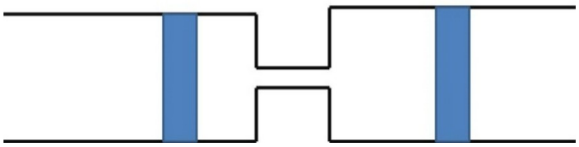
Систему шприцов и шлангов соединяем

параллельно. Изменяем давление внутри пневматической системы с помощью нулевого поршня (№ 0 на схеме). Наблюдаем движение поршней № 1,2,3 при быстром и медленном движении нулевого поршня на повышение и понижение давления.

Далее меняем поршень №3 на поршень большего диаметра №4. Повторяем опыты для пневматической и гидродинамической систем.



Другое соединение поршней: последовательное. Изменяем соединение поршней и повторяем опыты с одинаковыми и разными по диаметру поршнями.



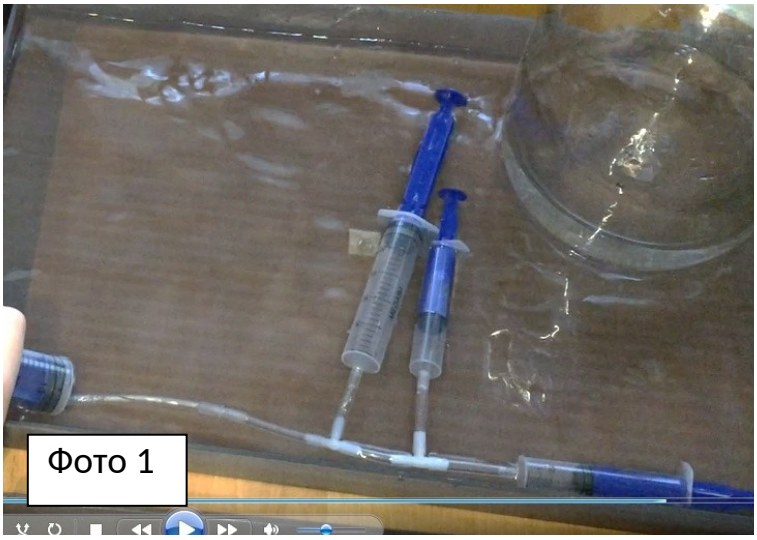
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Эксперименты с пневматическими системами

Условием успешности эксперимента является замкнутость обеих систем. Поэтому первым действием было необходимо проверить систему на герметичность. Это легко проверить:

Опыт 1 Проверка герметичности газовой системы.

Все используемое оборудование размещаем в воду. В случае пневматических систем «утечка» будет видна – появятся пузырьки воздуха в воде (фото 1).



В случае гидросистемы также сможем наблюдать утечку, так как в качестве заполняющей жидкости используем подкрашенную незамерзающую жидкость, используемую в автомобилях.

Опыт 2.1

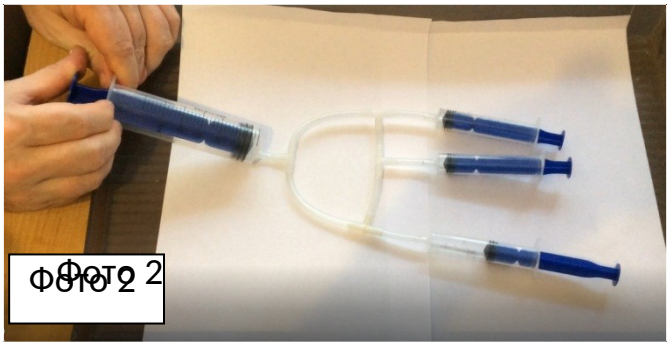
Система шприцов и шлангов соединена параллельно

Проявление закона Паскаля для газов (если силы трения между всеми поршнями одинаковы)

1) Объем свободного воздуха в каждом из трех поршней одинаковый V_1 = 2 мл, $S = \pi d^2/4$.

Объем свободного воздуха в большом поршне V_0= 12 мл

Для медленно увеличивающегося объема в законе Паскаля есть видимые отклонения – увеличение объемов воздуха в малых поршнях.



На фото 2 видим:

2) При увеличении объема в поршне V_0 мы наблюдаем не согласованное движение малых поршней.

Вывод: реакция поршня положительна на увеличение давления, в то время как при понижении давления в системе (возвращение поршней в исходное состояние) не вызывает синхронное смещение поршней №№ 1,2,3. В 7 классе демонстрации закона Паскаля проводятся только приповышении давления в системе. На уменьшение давления в пневмосистеме опытов нет. Следовательно, возникает вопрос справедливости выдвинутой гипотезы исследования.

Опыт 2.2

В 7 классе изучается формула выигрыша силы при использовании гидравлической машины. Проверим справедливость формул, описывающих изучаемое явление.

Соединяем цилиндры шприцов последовательно. Повторяем эксперимент. Делаем **вывод:** закон Паскаля для газов требует уточнения, так как наблюдается запаздывание одного из поршней при возрастании давления. Возможно, влияет трение поршня о цилиндр.

Опыт 3

Изменим объем поршней. №1 и №2 оставим прежние, а №3 поменяем на №4 – с объемом в 2 раза большим и большим сечением (фото 3).

Таблица 1. Результаты опытов

Объем цилиндра максимальный, мл	Диаметр, мм	S, мм^2 ($S = \pi d^2/4$)
12	10	79
15	15	177
15	20	314
15	30	707

Вывод:

1. Поршень №4 (с большей площадью сечения S) быстрее реагирует на увеличение давления. Это объясняется тем, что при равенстве давлений сила давления больше там, где больше площадь поршня, быстрее преодолевается барьер силы трения покоя.

2. При медленном понижении давления атмосфера не всегда успевает вернуть поршень в исходное состояние

3. При резком понижении давления под поршнем №5 возникает разность между ними атмосферным давлением, что способствует более быстрому возвращению поршня в исходное состояние без видимой разницы в скорости движения всех поршней системы.

2.2 Эксперименты с жидкостными системами

Аналогичные опыты проведем с гидросистемами. Для этого заполним цилиндры и шланги жидкостью (водой).

В результате проведенных наблюдений мы увидели, что жидкость не может быстро перетекать из области высокого давления в область низкого, что обусловлено ее вязкостью.

Поскольку во всех случаях внутри цилиндров создавалась разность давлений с атмосферным, то необходимо было преодолевать силы трения между поршнем и цилиндром, атак же наблюдается запаздывание движения поршней в цилиндрах исполнительных механизмов.

Повторяемость опытов заставляет нас задуматься об однородности материалов, из которых изготовлены шприцы.

2.3Оценка величины силы трения поршня внутри цилиндра шприца

Результаты опытов с жидкостями повторили результаты опытов с газами кроме одного. Мы не можем резко понижать давление в поршне, так как жидкость не может так же быстро, как газ, перейти из одного объема V_0 в другой.

Измерение силы трения поршня.

Для этого обрежем цилиндр шприца, сделав его однородным. С помощью динамометра определим силу трения поршня о цилиндр (аналогично лабораторной работе в 7 классе).

Проведем измерения с цилиндром большого диаметра.

Полученные результаты: сила трения в результате нескольких дублированных опытов находится в диапазоне от 4Н до 6 Н.

В разных цилиндрах сила трения различна. При проведении опытов с гидросистемами при учете силы трения, результаты качественно не менялись.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе выполнения работы по теме «Экспериментальные исследования по решению задачо перетекании жидкостей и газов через малые отверстия», изучены различные источники информации по заявленной проблеме, определены границы применения закона Паскаля в поршневых замкнутых системах. На основе проведенного анализ работ была составлена схема экспериментов по исследованию разветвленных систем гидро- и пневмопоршней. Проведена серия опытов и наблюдений за поведением поршней цилиндрах шприцов. Выявлены особенности их реакции на изменение давления в системе. Оформлены результаты измерений и сформулированы следующие выводы:

1. В настоящее время гидросистемы нашли широкое применение в различных областях человеческой деятельности
2. Наблюдается различие в описании гидро- и пневмосистем, так как рабочим телом являются разные по своим физическим свойствам вещества. Но наиболее существенным и значимым для обеих систем является вязкость вещества.
3. В разветвленных гидро- и пневмосистемах особое значение играет число Рейтнгольтса.
4. Закон Паскаля, изучаемый в школьном курсе физики, имеет некоторые ограничения в применении.

Применение простых и доступных материалов в нашем исследовании позволяет использовать полученные результаты в других учебных заведениях.Исходя из этого, делаем вывод, что поставленная цель достигнута и задачи решены.

Перспективы развития направления исследования в расширении гидро- и пневмосистем за счет изучения закономерностей распределения давления газов и жидкостей в объемах разного сечения в динамике, так как, на наш взгляд, эти системы позволяют разрабатывать систему газовых фильтров, газопроводов и компрессоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Башта Т.М. Гидропривод и гидропневмоавтоматика. –Москва.: Изд-во Машиностроение, 1972. – С. 320.
2. Левин. В. Мускулы из воздуха /В. Левин // Наука и жизнь. журнал. - № 5. – С.41–45.
3. Гидравлическая система самолета http://avia.pro/blog/gidravlicheskaya-sistema-samoleta.
4. Меренков А. П. Теория гидравлических цепей/ А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. – М.: Изд-во Наука, 1985. - 276 с.
5. Описание сборки рабочей пневмосистемы https://pneumoprivod.ru/public/pnevmosistema-pnevmoprivod-shema-statya.htm.
6. Перышкин, А.В. Физика. 7 кл.: учебник / А.В. Перышкин. – М.: Дрофа, 2016. – 224с.
7. Проскуряков К. Н. Гидравлические и акустические характеристики элементов гидравлических систем/ К. Н. Проскуряков . – М.: Изд-во МЭИ, 1980. – 67 с.
8. Рымкевич, П.А. Вопросы гидро- и аэродинамики в курсе физики средней школы /П.А. Рымкевич. – М.: Гос. уч.-пед. изд-во Министерства просвещения РСФСР, 1959. – 71 с.
9. Устройство и принцип работы пневмосистемы европейских грузовиков http://sto-razborka.ru/uslugi-sto/remont-pnevmaticheskih-sistem/ustrojstvo-i-printsip-raboty-pnevmosistemy-evropejskih-gruzovikov/
10. Фриш С.Э. Курс общей физики в 2-х томах // Том 1. Физические основы механики. Молекулярная физика. Колебания и волны /С.Э.ФришА.В.Тиморева – Изд-е 9-е, испр., доп. – Гос. изд-во физ.-мат. лит. – М., 1962. – с. 154-156.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Приборы и материалы, использованные в работе: шприцы, капельницы, гибкие шланги, уголки.

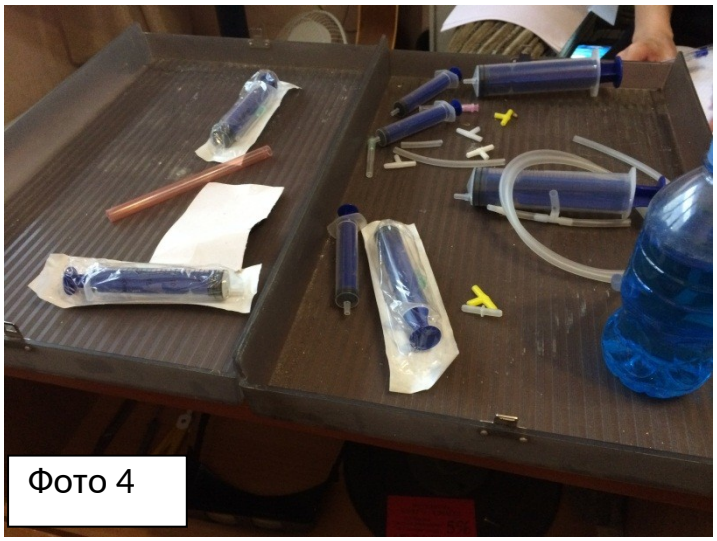
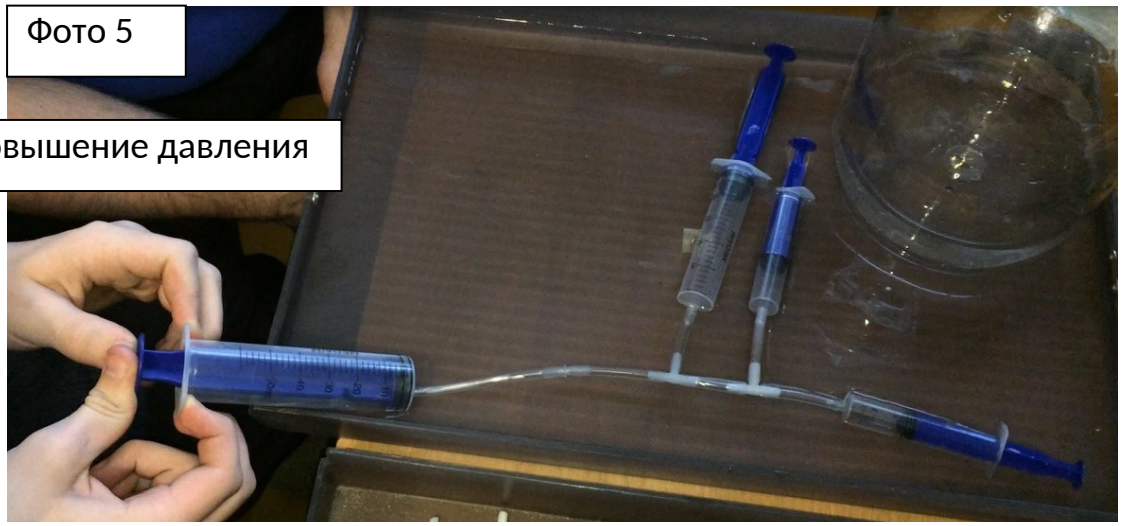


Фото 4

На повышение и понижение давления. Видно различие в реакции поршней разного диаметра:

Фото 5

Повышение давления



Понижение давления

Фото 6