

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет»
Политехнический Институт
Факультет «Заочный»
Кафедра «Гидравлика и гидропневмосистемы»

ПРОЕКТ ПРОВЕРЕН
Рецензент, В.И. Форенталь

_____ 2018 г.

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой

_____ / Е.К. Спиридонов
_____ 2018 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ АМОРТИЗАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРИ
ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ
РАБОТЕ

ЮУрГУ–150302.2018.557.00 ПЗ

Руководитель работы, профессор

_____ / Е.К. Спиридонов
_____ 2018г.

Автор проекта
студент группы ПЗ-557

_____ / А.А. Кротов
_____ 2018г.

Нормоконтролер, (должность)

_____ / А.В. Подзерко
_____ 2018г.

Челябинск 2018 г.

АННОТАЦИЯ

Кротов А.А. Исследование амортизационных систем при динамических нагрузках. – Челябинск: ЮУрГУ, ГиГПС; 2018, 28 с., 8 ил., библиогр. список – 8 наим., 16 ^и слайдов презентации

В дипломном проекте проведены исследования амортизационных систем и приведен эскиз и расчет новой перспективной системы.

Произведен обзор технической, медицинской литературы и статей с сопутствующей тематикой, рассмотрен принцип действия амортизаторов. Приведено описание и расчет перспективного изделия. Рассмотрены существующие, на данный момент, аналоги, указаны достоинства и недостатки. На основании всех произведенных расчетов и анализов, сделаны выводы и дано заключение по выполненной работе.

					ЮУрГУ-15.03.02.2018.490.00 ПЗ			
					Пояснительная записка	Лит.	Масса	Масштаб
Изм.	Лист	№ докум.	Подпись	Дата		✓		
Разраб.		Кротов А.А.	<i>А.А. Кротов</i>	19.06				
Провер.		Спирidonов Е.К.						
Т. Контр.								
Реценз.					Лист	2	Листов	26
Н. Контр.		Подзерко А.В.	<i>А.В. Подзерко</i>		ЮУрГУ Кафедра ГиГПС			
Утверд.				21.06.18				

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ.....	5
2. ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ.....	6
3. КЛАССИФИКАЦИЯ АМОРТИЗАТОРОВ.....	7
4. ОДНОСТОРОННИЙ И ДВУСТОРОННИЙ АМОРТИЗАТОРЫ.....	8
4.1 Односторонний амортизатор.....	8
4.2 Двусторонний амортизатор.....	8
5. ВИДЫ АМОРТИЗАТОРОВ.....	9
5.1 Фрикционный амортизатор.....	9
5.2 Гидравлические амортизаторы.....	10
5.2.1 Гидравлические двухтрубные.....	11
5.2.2 Гидравлические однострубные.....	14
6. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ.....	18
7. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ ИЗДЕЛИЯ.....	20
8. СУЩЕСТВУЮЩИЕ АНАЛОГИ. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ.....	26
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	27
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	28

ВВЕДЕНИЕ

За всю свою историю, люди постоянно попадали в чрезвычайные ситуации разных масштабов, от мировых до бытовых. К сожалению, в этих ситуациях, происходит потеря частей тела и человек остается инвалидом на всю жизнь. Но со временем люди научились заменять утраченные конечности искусственными, от простейших конструкций до механизмов с большим количеством вычислений. С развитием протезирования, помимо полного возобновления функции, вставал вопрос об удобстве носимой искусственной конечности.

Рассматривая историю разработки протезов, можно заметить, что первый задатки амортизационных систем появились лишь в 1696 году, когда Питер Вердайн разработал первый протез ноги ниже колена без дополнительной фиксации, который позже станет основой для современного протезирования суставов и корсетных устройств.⁽⁴⁾ А позже создание культи и ее внутренняя обивка кожей, а со временем и добавление пружин, как амортизирующих элементов. И время, и технологии не стоят на месте, в скором времени, протезы стали производиться из полимеров, легких металлов и с использованием вычислительных мощностей.

В данной работе, рассматривается возможность использования амортизаторов с протезами. Изучены машиностроительные амортизаторы, виды и принципы работы. На их основе разработано изделие, подходящее под необходимые требования.

					ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		4

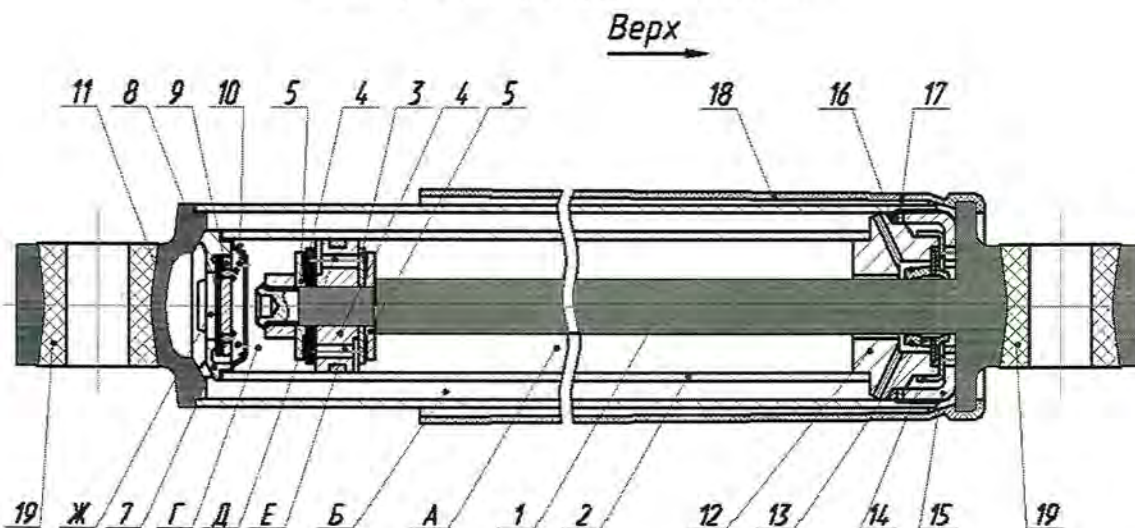
1. ОБЩЕЕ ПОНЯТИЕ

Амортизатор — устройство для гашения колебаний (*демпфирования*) и поглощения толчков и ударов подвижных элементов (подвески, колёс), а также корпуса самого транспортного средства, посредством превращения механической энергии движения (колебаний) в тепловую.

Амортизаторы применяются совместно с упругими элементами пружинами или рессорами, торсионами, подушками и т. п. для гашения свободных колебаний больших масс и предотвращения высоких относительных скоростей меньших масс, связанных упругими элементами.

Не следует путать внешне похожие гидравлический трубный амортизатор и газовую пружину. Последние также часто встречаются в автотехнике и быту, но имеют другое назначение (а именно — создание толкающего усилия на штоке, например, для удержания в открытом положении капота или крышки багажника автомобиля)⁽³⁾

Амортизатор гидравлический



А, Б - камеры, В - надпоршневая полость, Г - подпоршневая полость, Д, Е - отверстия поршня, 1 - шток с поршнем, 2 - рабочий цилиндр, 3 - диск перепускного клапана, 4 - поршень, 5 - тарелки, 6 - диски клапана отбоя, 7 - клапан сжатия, 8 - диски клапана сжатия, 9 - тарелка перепускного клапана, 10 - пружина перепускного клапана, 11 - корпус резервуара с проушиной, 12 - направляющая со втулкой, 13 - сальник штока, 14 - обойма, 15 - гайка, 16 - кольцо уплотнительное, 17 - шайба, 18 - кожух, 19 - втулки.

Рисунок 1 – Чертеж и конструкция амортизатора

										Лист
										5
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ					

2. ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ

История создания первых амортизаторов непосредственно связана с выполняемыми функциями, а эволюция их развития происходила совместно с совершенствованием конструкции автомобиля.

Подвески первых автомобилей, подобных конным экипажам, не имели амортизаторов. Скорости движения их были малы, а некоторое гашение колебаний достигалось трением, возникающим между листами рессор.

Амортизаторы в подвесках появились в начале 20 века, и одну из первых их конструкций предложил французский изобретатель Трюффо, патент которого в дальнейшем использовали многие фирмы. Демпфирование колебаний рычажными амортизаторами Трюффо, которые назывались поглотителями, осуществлялось благодаря трению металла рычага о кожные шайбы. При небольших скоростях движения такие амортизаторы работали достаточно эффективно, а ремонт их сводился к замене кожных шайб. Принцип Трюффо использовался и в более поздних конструкциях, но вместо кожи сначала ставили несколько металлических пластин, сжимаемых специальной гайкой, регулирующей жесткость узла, а затем появились гидравлические амортизаторы. Рычажная же схема привода просуществовала почти 50 лет

Разработка двухтрубных телескопических амортизаторов начались в конце 30-х годов, а в производстве они появились в 50-е годы прошлого года. Однотрубный же гидропневматический амортизатор с разделительным поршнем изобретен в 1956 году также французским изобретателем Де Карбоном, который в конце 50-х основал одноименную компанию, долгие годы в мировом автомобилестроении являвшуюся лидером в производстве однотрубных амортизаторов.⁽²⁾

					ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		6

3. КЛАССИФИКАЦИЯ АМОРТИЗАТОРОВ

Амортизаторы делятся на группы по следующим признакам^(5,6):

- *по принципу действия* — на фрикционные или механические (сухого трения), гидравлические (вязкостного трения), электромагнитные (по схеме близки к линейным двигателям);
- *по характеру действия сил трения* — на амортизаторы одностороннего и двустороннего действия (с сопротивлением на прямом и обратном ходах);
- *конструктивно* гидравлические амортизаторы делятся на рычажно-лопастные, рычажно-поршневые и телескопические (двух- и однотрубные) с газовым подпором или без него;
- *по характеру изменения силы сопротивления*, в зависимости от перемещения катков, скорости и ускорения этого перемещения амортизаторы подразделяются на:
 - амортизаторы с примерно постоянной силой трения (например, простой механический амортизатор танка «Ландсверк»);
 - амортизаторы с силой трения, зависящей от перемещения («релаксационные», преимущественно устанавливаются на быстроходную гусеничную технику), при этом сила трения может быть как пропорциональна перемещению, так и иметь нелинейную зависимость;
 - амортизаторы с силой трения пропорциональной скорости перемещения катка (подавляющее большинство современных гидравлических амортизаторов);
 - амортизатор, сопротивление которого меняется пропорционально ускорению.

					ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		7

4. ОДНОСТОРОННИЙ И ДВУСТОРОННИЙ АМОРТИЗАТОРЫ

4.1 Односторонний амортизатор

У амортизатора такого типа сопротивление при ходе, соответствующем сжатию подвески, незначительно, а основное поглощение энергии происходит при отбое. Благодаря этому они обеспечивают несколько более плавный ход, однако с ростом неровностей дороги и скорости подвеска не успевает занять исходное положение до следующего срабатывания. Это приводит к пробоям и заставляет водителя снизить скорость. С появлением около 1930-го года амортизаторов двойного действия одноходовая конструкция постепенно вышла из употребления.

4.2 Двусторонний амортизатор

Амортизатор, который действует (работает) в двух направлениях, то есть амортизатор поглощает энергию при движении штока в обе стороны, передавая, однако, при этом и некоторую часть усилия толчков на кузов при прямом ходе. Такая конструкция амортизатора эффективнее, чем амортизатор односторонний, в том смысле, что может быть построена с учётом необходимого компромисса между плавностью хода и стабильностью автомобиля на дороге. Для скоростных автомобилей характерны более «жёсткие» настройки, для комфортабельных пассажирских — более «мягкие», где большая часть работы амортизатора приходится на «отбой».

На автотранспорте, как правило, эффективность хода сжатия амортизатора (сжатие, наезд колесом на препятствие) делают меньше, чем эффективность хода отбоя (обратного движения). В этом случае при сжатии амортизатор меньше передаёт толчки от неровностей на кузов, и при растяжении «придерживает» колесо от ударов его о дорогу.

					ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		8

5. ВИДЫ АМОРТИЗАТОРОВ

5.1 Фрикционный амортизатор

Фрикционные (механические) амортизаторы в простейшем случае представляют из себя трущуюся пару с фиксированным усилием сжатия. Возможна конструкция с сопротивлением, пропорциональным перемещению, с оперативно регулируемым усилием и т. д. Очевидным свойством фрикционных амортизаторов является то, что их сопротивление не зависит от скорости перемещения рычага. Поэтому они в прямом смысле слова являются демпферами, так как выполняют только одну из указанных в определении амортизатора функций — гашение колебаний. Достоинства — простота и относительная ремонтпригодность, пониженные требования к механической обработке деталей, условиям эксплуатации, стойкость к мелким повреждениям. Принципиальные недостатки — неустранимый износ трущихся поверхностей и наличие некоторого усилия страгивания, избавиться от которого без усложнения механики невозможно. Как результат — на автомобилях данный тип амортизаторов давно не применяется, сохраняясь лишь на отдельных образцах военной техники. Также в лёгких и/или низкоскоростных транспортных средствах (мопеды, тракторы и т. п.) роль фрикционного гасителя колебаний может выполнять трение между деталями подвески.

Одна из самых массовых фрикционных амортизирующих конструкций в старых автомобилях — листовая рессора, которая совмещала в себе функции упругого элемента и демпфера, работающего за счёт взаимного трения листов рессоры.⁽²⁾

					ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		9

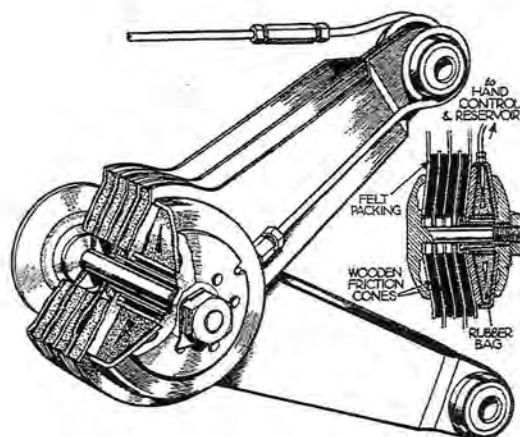


Рисунок 2. – Фрикционный амортизатор

5.2 Гидравлические амортизаторы

Гидравлические амортизаторы получили наибольшее распространение. В гидравлических амортизаторах сила сопротивления зависит от скорости перемещения штока. Рабочее тело — масло (оно также является смазкой). Принцип амортизатора заключается в возвратно-поступательном движении поршня амортизатора, поршень через перепускной клапан вытесняет масло из одной камеры в другую, превращая механическую энергию в тепловую.

Жёсткость амортизаторов зависит от начальной настройки перепускных клапанов (для амортизаторов массового предназначения начальную настройку задаёт производитель на заводе однократно на всё время эксплуатации; в амортизаторах спортивного назначения жёсткость может регулировать пользователь), изначальной вязкости жидкости (масла) и температуры окружающей среды, которая влияет на вязкость амортизаторной жидкости (масла).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Гидравлические амортизаторы делятся на несколько подвидов:

- По конструкции:
- **рычажные** (распространённые до 50-х — 60-х годов)
- **двухтрубные** (основной тип в настоящее время)
- **однотрубные** (получают распространение)
- По давлению внутри амортизатора:
- **без газового подпора** (в обиходе их называют просто масляными)
- **с газовым подпором низкого давления**
- **с газовым подпором высокого давления**

Газовый подпор, как правило, слабо влияет на жёсткость амортизатора, но значительно увеличивает стабильность характеристик в условиях сильных нагрузок за счет меньшего вспенивания масла; при повседневной езде разница совершенно незаметна.⁽²⁾

5.2.1 Гидравлические двухтрубные

Двухтрубный амортизатор состоит из двух соосных (одна в одной) труб, внешняя из которых является корпусом, внутренняя заполнена рабочей жидкостью и в ней перемещается поршень с клапанами. Пространство между трубами заполнено запасом жидкости для охлаждения и компенсации утечек, а также воздухом — для компенсации изменения объёма (температурное расширение жидкости и вход-выход штока).

Применяются в подвеске автомобилей для спокойного и размеренного движения без резких поворотов и торможений. Предназначены для работы в условиях хороших дорог.

В автоспорте амортизаторы двухтрубной конструкции не применяются, поскольку не соответствуют требованиям

					ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		11

В автоспорте амортизаторы двухтрубной конструкции не применяются, поскольку не соответствуют требованиям

снижения неподрессоренных масс, стабильности, надёжности и рабочего ресурса в условиях проведения спортивных мероприятий. Исключением является, пожалуй, только дрифтинг, где могут применяться двухтрубные амортизаторы с повышенным давлением компенсационного газа (около 6-8 атмосфер), поскольку соревнования проходят только на очень ровном дорожном покрытии и невысоких скоростях.

Достоинства:

- Относительная простота изготовления и ремонта.
- Приемлемые рабочие характеристики (в том числе надёжность) для большинства применений в транспорте
- Отсутствие выступающих деталей — может устанавливаться внутри пружины подвески.
- Малое давление внутри и соответственно требования к уплотнению штока. В основном именно это обосновывает их низкую стоимость и более дешёвые материалы для изготовления.
- При небольшом пропуске запаса масла в амортизаторе может хватить на несколько лет при полном сохранении работоспособности амортизатора (но ухудшении охлаждения).

Недостатки:

- При высоких нагрузках (плохие дороги, бездорожье или спортивные заезды) масло и компенсационный газ в полости С перемешиваются и образуют пену, препятствующую охлаждению амортизатора. Перегретый амортизатор теряет свои характеристики и автомобиль становится опасно менее управляемым.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ					12

- При движении в сложных условиях в данной конструкции амортизаторов (плохие дороги, бездорожье) установлена высокая вероятность возникновения кавитации, причём, чем ниже давление компенсационного газа, тем выше эта вероятность. Возникновение данного явления приводит к быстрому выходу из строя амортизаторов, а также повреждения других деталей подвески — как следствие выхода из строя первых.

- При износе характеристики амортизаторов данной конструкции ухудшаются очень плавно и незаметно для водителя, вследствие чего необходимо более тщательно контролировать их работоспособность.

- На высоких скоростях из-за недостаточной скорости реакции амортизатора на неровности, управляемость автомобиля резко падает.

- Несколько увеличивают вероятность возникновения аквапланирования.

- При установке в подвеску автомобиля максимальный угол наклона без резкого снижения работоспособности 45° к вертикали. Перед установкой обязательна «прокачка» — для удаления пузырьков газа из рабочей полости.

- Должен устанавливаться только корпусом вниз (штоком «А» вверх), что ухудшает характеристики подвески (увеличение неподрессоренных масс).

- Хранить и перевозить необходимо только в вертикальном положении.⁽⁶⁾

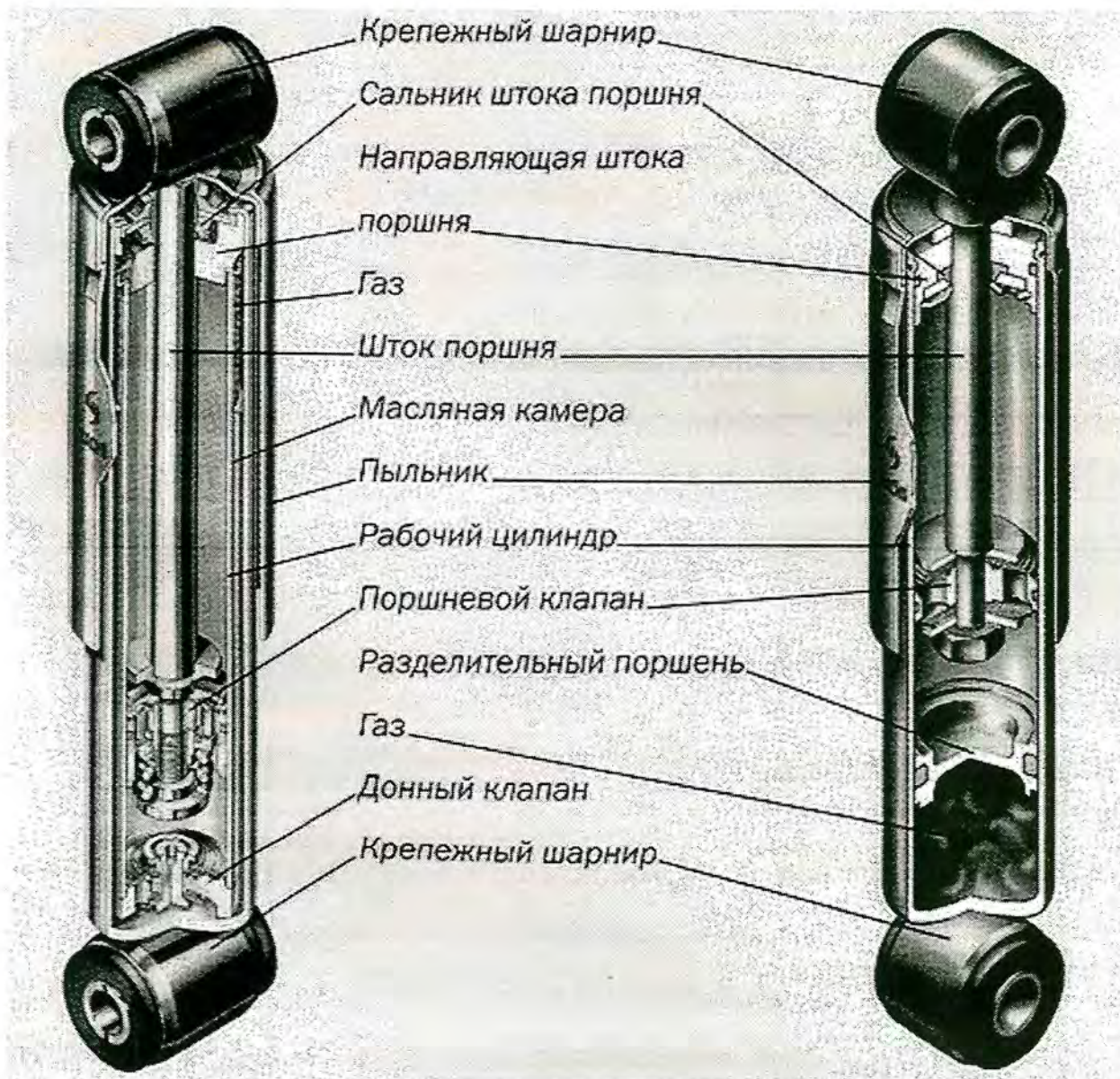


Рисунок 3. – Двухтрубный и однотрубный амортизатор

5.2.2 Гидравлические однотрубные

Представляют из себя трубу, заполненную рабочей жидкостью, в которой перемещается поршень с клапанами. Для компенсации изменения объёма рабочей жидкости (температурные и вход-выход штока) «дно» цилиндра заполнено газом, отделённым от рабочей жидкости плавающим поршнем-перегородкой. Давление газа, как правило около 18-25 атмосфер (для улучшения характеристик рабочей жидкости при нагреве и устранения вероятности возникновения кавитации).

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

Достоинства:

- Данная конструкция является практически самой эффективной;
- Стабильные показатели в самых разных дорожных условиях, при высоких нагрузках (разбитые дороги, полное бездорожье, спортивная езда и т.д.), а также лучшая скорость реакции на внезапные неровности дорожного покрытия даже на высоких скоростях.

Характеристики очень стабильны за счёт того, что компенсационный газ отделён от жидкости плавающим поршнем и эффект вспенивания рабочего тела (масла) при работе отсутствует полностью; за счёт высокого давления газа и, как следствие, жидкости в данной конструкции кавитация не возникает даже при сверхвысоких нагрузках (ралли, движение в условиях бездорожья и т.д.);

- Меньшие углы крена при вхождении автомобиля в повороты по сравнению с двухтрубной конструкцией, на 5-20% уменьшается тормозной путь;
- Благодаря более стабильному давлению автомобильных колёс на дорожное покрытие, эффект аквапланирования возникает несколько позже по кривой разгона.
- Такие амортизаторы не боятся наклонов, не требуют "прокачки" перед установкой и могут устанавливаться штоком вниз, что улучшает характеристики подвески за счёт снижения неподрессоренных масс.
- Стенка рабочего цилиндра имеет непосредственный контакт с воздухом, что улучшает охлаждение жидкости (масла) и приводит к снижению вероятности перегрева (т.е. ускоряется охлаждение);
- Поршень и цилиндр имеет большой диаметр, а жидкость большой объём — это увеличивает теплоёмкость системы (нагрев происходит значительно медленнее).

- Имеют в среднем в 1.5-2,2 раза больший срок службы в сравнении с амортизаторами двухтрубной конструкции с теми же размерами.

- Однотрубный амортизатор может быть экономически выгоден для владельцев автомобиля, поскольку больший срок службы экономит время ремонтов и расходы на замену, сопоставимые со стоимостью самого амортизатора, а также обеспечивает большую безопасность движения на дороге.

Недостатки:

- Если компенсационная камера находится прямо в рабочем цилиндре, то данный амортизатор имеет меньший ход по сравнению с двухтрубной конструкцией при одинаковых внешних размерах (длине), однако уменьшение габаритов клапанных наборов и поршня значительно снижает эту величину.

- Вынесение компенсационной камеры в отдельный элемент применяется только для отдельно взятых автомобилях в основном ориентированных на спортивную езду и в серийном производстве не используется.

- Высокое давление в амортизаторе создаёт значительную выталкивающую силу на шток (десятки килограмм), что может требовать замены пружин подвески на более слабые;

- Данный амортизатор очень критичен к повреждению (вмятинам) на внешней стенке цилиндра, это приводит к заклиниванию поршня и полному выходу из строя, в то время как двухтрубный амортизатор не замечает даже крупных вмятин. Согласно статистке вероятность возникновения данных повреждений приближается к 0.01% относительно всего объёма поставляемых амортизаторов, значительная часть случаев

										Лист
										16
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ					

происходит при транспортировке или неквалифицированной установке в подвеску;

- Однотрубный амортизатор сложнее в изготовлении чем двухтрубный, поскольку высокое давление компенсационного газа накладывает значительно большие требования к качеству уплотнений, материалам и покрытиям деталей. Это обосновывает более высокую стоимость амортизатора.⁽⁶⁾

										Лист
										17
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ					

6. ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И ПРИНЦИП РАБОТЫ

В нашей работе, спроектирован специальный гидравлический амортизатор, способный подстраиваться в зависимости от физических показателей человека. Он предназначен для гашения нагрузки, создаваемой при передвижении протеза ноги. Так как любой протез проектируется под конкретного человека⁽⁴⁾, сам амортизатор так же будет соответствовать этим требованиям ввиду доступности материалов и простоты сборки. Изделие возможно разместить на бедре, голени и стопы искусственной конечности.

По гидравлической схеме, представляет собой соединенные между собой гидроцилиндр, регулируемый дроссель и гидроаккумулятор. При действии усилия на шток гидроцилиндра, дроссель регулируется до его втягивания, набирая рабочую жидкость в гидроаккумулятор. При удалении усилия, аккумулятор создает давление рабочей жидкостью на поршень цилиндра через дроссель, возвращая в изначальное положение.



Рисунок 1. – Гидравлическая схема

Сама конструкция состоит из сиффона с пьезоэлементом, электрорегулируемого вихревого дросселя, соединенной с емкостью заполненной рабочей жидкостью и воздухом под давлением, для отделения которых ставится мембрана. При действии усилия на сиффон, дроссель регулируется до нужного усилия амортизации, заполняя емкость рабочей жидкостью, деформирующей мембрану. При удалении усилия, со стороны газовой емкости, возвращает мембрану в первоначальное состояние, выдавливая рабочую жидкость через дроссель, возвращая сиффон в исходное состояние.

									Лист	
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ					18

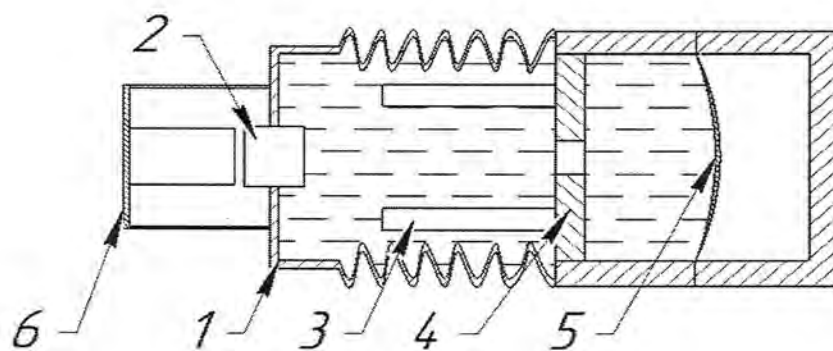


Рисунок 2. – Эскиз амортизатора. 1 – сильфон; 2- пьезоэлемент; 3 –ограничитель
хода; 4 – вихревой дроссель; 5,6 - мембраны

Работа электрорегулируемого дросселя будет зависеть от контроллера с
заложенными вычислениями, батареи и пьезоэлемента, соединенного с
сильфоном, заряжающий ее.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

7. ОСНОВНЫЕ РАСЧЕТЫ ИЗДЕЛИЯ

Наше изделие является гидропорой со случаем, когда отсутствует воздушная полость т.к. вызывается изменением внутреннего замкнутого объема и жидкость вынужденно распирает мембрану.

Эффективная площадь распределения нагрузки может быть вычислена из формул⁽¹⁾:

$$S_{эф} = \Pi R_{эф}^2 \quad (1)$$

$$R_{эф} = \sqrt{\frac{1}{3}(R_2^2 + R_1^2 + R_1 R_2)} \quad (2)$$

где R_1 - радиус сильфона, R_2 -радиус проходного сечения дросселя

Расчет жесткости гидропоры производим по схеме указанной на рис. 5. При этом в качестве нагрузки принимаем перемещение сильфона.

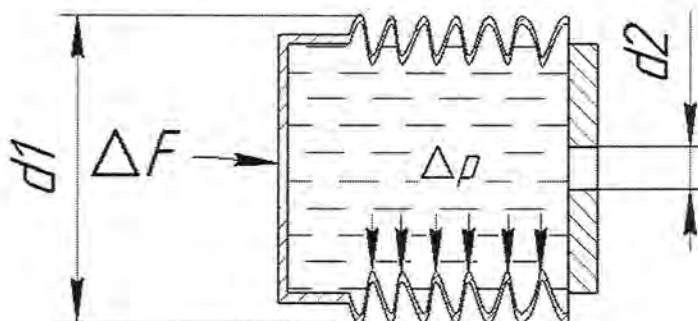


Рисунок 5. – Схема нагружения гидропоры

При расчете жесткости решение ищется в виде зависимости деформации от приложенной силы. Если задаются же две силы – сжатие внешней силы и расширения его внутренним давлением, то величина внутреннего давления может быть определена по величине силы следующим образом^(1):

$$\Delta P = \frac{\Delta F}{S_{эф}} \quad (3)$$

$$\Delta P = F_1 = \frac{\Delta F}{\Pi(r_1^2 - r_2^2)}, \quad (4)$$

где F – задаваемая сила нагрузки на сильфон, а $S_{эф}$ - площадь контакта.

Зададим условия расчета:

Человек массой 75 кг, перемещение сильфона должно быть в пределах 2 – 10 мм. Давление, оказываемое на мембрану оказываемое с воздушной полости равно 30 бар. Такое значение принято за счет смещения костей при передвижении. Материал нержавеющей сталь, жидкостью является ПМС – 500. Материалы берутся ввиду пригодности к любым условиям окружающей среды, в том числе влаги и температурах от +50 до -50⁰С. Определим основные размеры амортизатора и его характеристики.

Все начальные данные и формулы заносятся в программу Маткад.

Сначала определяется сила нагрузки по формуле

$$F_n = mg \quad (5)$$

Полученное значение подставляем в формулу, найдя создаваемое давление (4)

$$\Delta P = \frac{F_n}{\Pi(r_1^2 - r_2^2)} \quad (6)$$

При полученной нагрузке дроссель должен изменить проходное сечение, по которой создается амортизирующая сила.

$$F_a = \Delta P S_{др}, \quad (7)$$

где $S_{др} = \frac{\Pi d_2^2}{4}$ - площадь сечения дросселя.

Радиусы сильфона и сечения дросселя подбираются в программе, пока сила нагрузки будет приблизительно равна силе амортизации

$$F_n \approx F_a \quad (8)$$

В нашем случае $R_1 = 9 \text{ мм}$, $R_2 = 5,2 \text{ мм}$, $F_n \approx 735 \text{ Н}$, $F_a \approx 737 \text{ Н}$.

Условие выполняется.

Далее мы должны определить зависимость перемещения сиффона, от времени шага

$$\tau = \frac{\Delta X}{V}, \quad (9)$$

где ΔX – перемещение сиффона, V – скорость прохождения потока через сечение дросселя.

Скорость определим из формулы:

$$Q = V \cdot \frac{\Pi d^2}{4}; \quad (10)$$

$$V = \frac{4Q}{\Pi d_{отс}^2}. \quad (11)$$

Количество потока мы найдем из формулы определения давления с учетом коэффициента сужения в дросселе:

$$\Delta P = \xi \cdot \frac{8Q^2}{\Pi^2 g d_{отс}^5}; \quad (12)$$

$$Q = \sqrt{\frac{P \Pi^2 g d_{отс}^5}{8\xi}}. \quad (13)$$

Построим график зависимости (9)

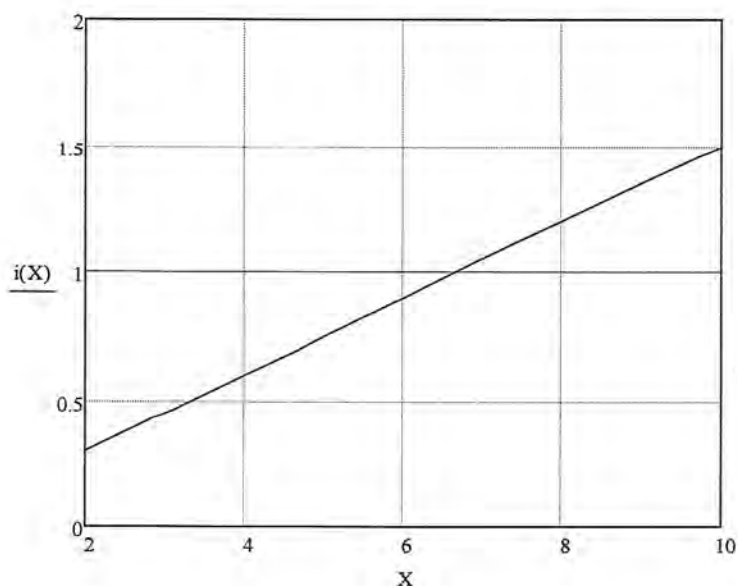


Рисунок 6. - График зависимости перемещения сиффона от времени шага

Построим график зависимости давления оказываемого на мембрану с воздушной полости и перемещения сиффона.

Процессы около мембраны происходят по адиабатическому закону

$$P_{zn} V_{zn}^{1,4} = P_{zk} V_{zk}^{1,4}, \quad (14)$$

где P_{zn} и V_{zn} – давление и скорость при нулевой деформации мембраны, P_{zk} и V_{zk} – давление и скорость при конечной деформации.

$$V_{zn} = \frac{\pi D^2 X_n}{4} \quad (15)$$

$$V_{zk} = \frac{\pi D^2 X_n}{4} - \frac{\pi D^2 \Delta X}{4} \quad (16)$$

$$\frac{P_{zn}}{P_{zk}} = \left(\frac{V_{zk}}{V_{zn}} \right)^{1,4} \quad (17)$$

$$P_{zk} = \frac{P_{zn} V_{zn}^{1,4}}{(V_{zk})^{1,4}} \quad (18)$$

Подставляем формулы (15) и (16) в (18):

$$P_{zk} = \frac{P_{zn} \left(\frac{\pi D^2 X_n}{4} \right)^{1,4}}{\left(\frac{\pi D^2 X_n}{4} - \frac{\pi D^2 \Delta X}{4} \right)^{1,4}} \quad (19)$$

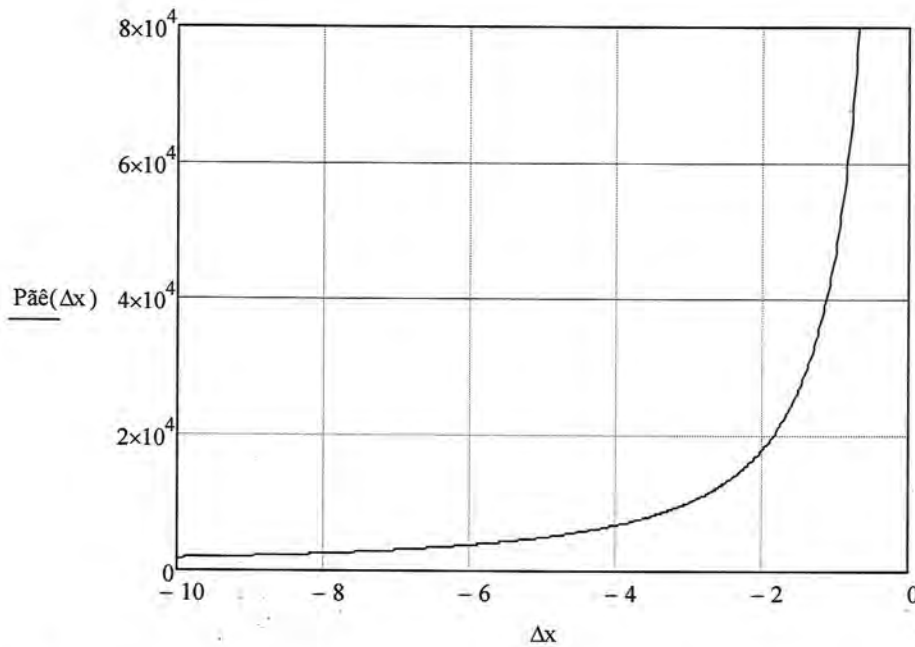


Рисунок 7. - График зависимости давления оказываемого на мембрану с воздушной полости от перемещения сиффона

Зададим графики зависимости скорости и количества потока от перемещения сиффона

$$Q(\Delta X) = \frac{\underline{P} \cdot D(\Delta X)}{\frac{4}{\tau}} \quad (20)$$

$$V(\Delta X) = \frac{Q(\Delta X)}{\frac{\underline{P} d_{отв}^2}{4}} \quad (21)$$

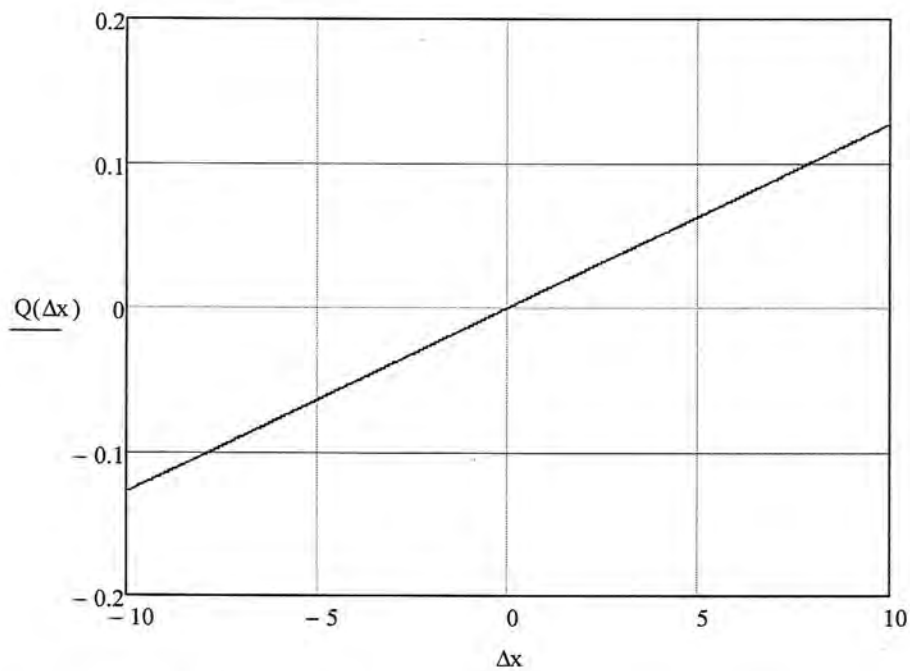


Рисунок 8. - График зависимости количества потока от перемещения сиффона

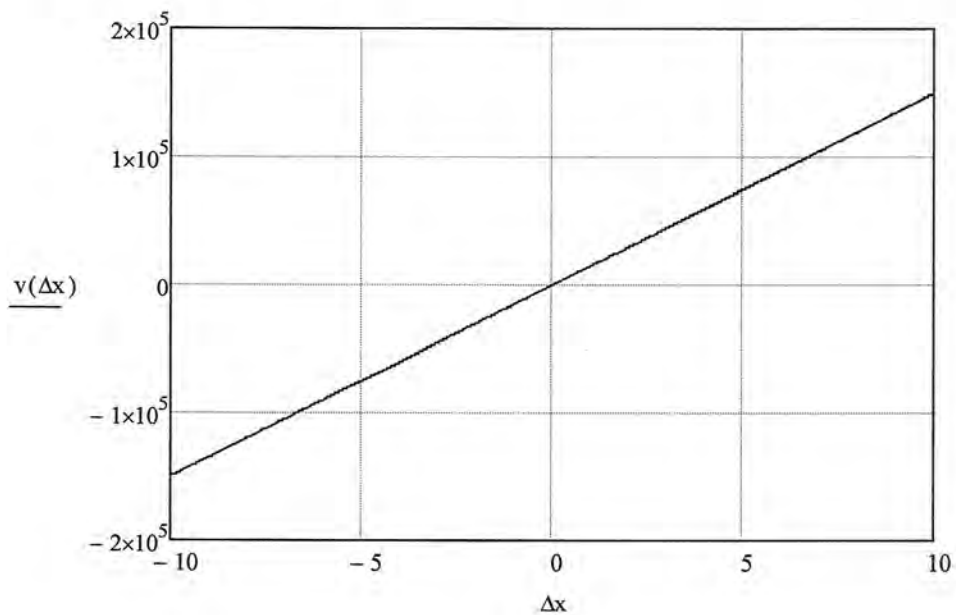


Рисунок 9. - График зависимости скорости потока от перемещения сиффона

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

8. СУЩЕСТВУЮЩИЕ АНАЛОГИ. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ.

В настоящее время, существуют множество видов протезов и амортизации к ним, но выделяются на сегодня два типа амортизационных систем, которые являются самыми перспективными.

Система, разработанная компанией iWalk – специально разработанная синтетическая кожа, используемая в протезе PowerFoot One. В нормальном состоянии материал мягкий, при подачи электрического тока становится жестким. Распределение зависимости нагрузки на здоровую ногу и синтетическую кожу вычисляется за счет встроенных в протез процессоров. Результатом является уменьшение нагрузки, оказываемой на живую часть тела, вплоть до полного исключения дискомфорта.⁽⁸⁾ (Слайды 9-12)

Недостатки: 1) При использовании данной системы, создается отдача в виде вибрации, оказывающая негативное влияние на позвоночник пациента, в долгосрочной перспективе приведут к серьезной травме. 2) Большие энергозатраты протезов. К концу дня требуют полной подзарядки аккумуляторов. 3) Высокая цена, ввиду сложности производства и используемых материалов.

Следующей является система созданная компанией Ossur. При создании, применяется углеродное волокно, используемая в протезах Flex-Foot Cheetah. Кинетическая энергия от шагов владельца, сохраняется в виде потенциальной энергии, как пружина, позволяя бегать и прыгать. Данный протез особо популярен у спортсменов.⁽⁷⁾

Недостатками являются, сложности в производстве данного волокна, в следствии высокая себестоимость. (Слайды 13-15)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам разработки, получен амортизатор, успешно гасящий нагрузки, создаваемые при передвижении человека, с учетом его состояния. При использовании нескольких амортизаторов, эффект гашения будет преобладать, тем самым уменьшив дискомфорт передвижения к минимуму.

В отличие от аналогов, амортизация создается не только в культе, а по всему протезу, не оказывая негативного влияния на организм. Решена проблема энергозависимости, т.к. работа дросселя не требует много заряда, а батарея будет заряжаться за счет пьезоэлемента, на который постоянно будет создаваться усилие. Материалы и рабочая жидкость, применяемые для производства деталей, сравнительно недорогие и позволяют использование изделия в широком спектре условий окружающей среды.

					ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		27

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гордеев Б.А., Ерофеев В.И., Синев А.В., Мугин О.О. «Системы виброзащиты с использованием инерционности и диссипации реологических сред» - Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2004 г.
2. Добромиров В.Н., Острцов А.В. «Конструкции амортизаторов» - Москва: МГТУ «МАМИ», 2007 г.
3. Большая советская энциклопедия, 1978 г.
4. Рене Баумгартнер, Пьер Ботта «Ампутация и протезирование нижних конечностей», Москва «Медицина» 2002 г.
5. http://offroad38.ru/tuning_monstrohod_elementipodveski.php
6. <https://etlib.ru/wiki/amortizator-amortizatory-avtomobilya-6>
7. <https://www.ossur.com/prosthetic-solutions/products/sport-solutions/cheetah#specifications>
8. <https://youtu.be/CDsNZJTWw0w>

					ЮУрГУ – 15.02.03.2018.490.00 ПЗ	Лист
Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата		28