АКТИВНЫЕ ПОДВЕСКИ АВТОМОБИЛЯ С АМОРТИЗАТОРАМИ ПЕРЕМЕННОЙ ЖЕСТКОСТИ

Юсупбеков Х.А.[1], Собиров М.М.[2], Юлдашев А.Р.[3]
Email: Yusupbekov1166@scientifictext.ru

[1]Юсупбеков Хондамир Абдуллабекович – ассистент;
[2]Собиров Маъмуржон Маруфжанович - старший преподаватель,
кафедра автомобилестроения;
[3]Юлдашев Абдувахобжон Рашитович - старший преподаватель,
кафедра метрологии, стандартизации и управления качеством продукта,
Андижанский машиностроительный институт,
г. Андижан, Республика Узбекистан

Аннотация: *исследование подвесок легковых автомобилей является одним главных направлений современного автомобилестроения. В большинстве автомобилей характеристики подвески выбираются в результате поиска компромисса между противоречивыми требованиями устойчивости, управляемости, надежности и комфортности. Одной из важнейших задач, стоящих перед конструкторами автомобилей, является создание для человека таких условий движения, при которых он не будет испытывать никаких негативных ощущений. Реализация этого стремления требует тем больше усилий, чем выше становится скорость современного автомобиля. К тому же постоянно приходится искать некий компромисс с такой, например, важной характеристикой этого движения, как управляемость.*
Ключевые слова: *подвеска, амортизатор, мехатронная система, мембрана.*

ACTIVE SUSPENSION OF A CAR WITH VARIABLE SHOCK ABSORBERS

Yusupbekov H.A.[1], Sobirov M.M.[2], Yuldashev A.R.[3]

[1]Yusupbekov Hondamir Abdullabekovich – Assistant;
[2]Sobirov Ma'murjon Marufjanovich - Senior Lecturer,
DEPARTMENT OF AUTOMOTIVE ENGINEERING;
[3]Yuldashev Abduvahobjon Rashitovich - Senior Lecturer,
DEPARTMENT OF METROLOGY, STANDARDIZATION AND PRODUCT QUALITY MANAGEMENT,
ANDIJAN MACHINE BUILDING INSTITUTE,
ANDIJAN, REPUBLIC OF UZBEKISTAN

Abstract: *the study of car suspensions is one of the main directions of modern automotive industry. In most vehicles, suspension characteristics are selected as a result of a compromise between the conflicting demands of stability, handling, reliability and comfort. One of the most important tasks facing car designers is to create for a person such driving conditions under which he will not experience any negative feelings. The realization of this aspiration requires the more effort, the higher the speed of a modern car becomes. Moreover, one constantly has to look for a compromise with, for example, such an important characteristic of this movement as controllability.*
Keywords: *suspension, shock absorber, mechatronic system, membrane.*

УДК 629.1.02.

Цель работы: Разработка мехатронной системы автоматического управления сопротивлением гидравлического амортизатора.

Поставленная цель реализуется следующим:

- разработкой мехатронной схемы управления сопротивлением гидравлического амортизатора;
- разработкой конструкции перепускного клапана гидравлического амортизатора с изменяемой характеристикой сопротивления;

- оптимизацией гидравлических характеристик мембранного узла управляемого гидравлического амортизатора.

Научная новизна:

- Определение гидравлических характеристик мембранного узла регулируемого амортизатора собственной конструкции.

Основная проблема конструирования подвесок состоит в том, что требования к подвеске со стороны устойчивости, управляемости и комфортности оказываются противоречивыми. Так, с одной стороны, подвеска должна быть по возможности более мягкой, чтобы исключить отрыв колес от дорожного полотна при наезде на неровность, а также увеличить комфортность автомобиля для пассажиров и водителя, обеспечить сохранность перевозимых грузов. С другой стороны, подвеска должна быть по возможности более жесткой, чтобы увеличить устойчивость и управляемость автомобиля, именно - чтобы не возникали опасные крены на поворотах, не было клевков корпуса автомобиля при разгоне и торможении, разгружающих переднюю или заднюю оси автомобиля.

При описании подвески одного колеса учитывают (рис. 1.) упругую шину, неподрессоренную массу ***m*** (колесо и части подвески), параллельно соединенные упругий (пружина) и демпфирующий (амортизатор) элементы, которые поддерживают корпус автомобиля - подрессоренную массу M (масса A части корпуса автомобиля). Упругие элементы принимают на себя удары со стороны неровностей дорожного покрытия, преобразуя их в затухающие колебательные движения, а демпфер гасит эти колебания.

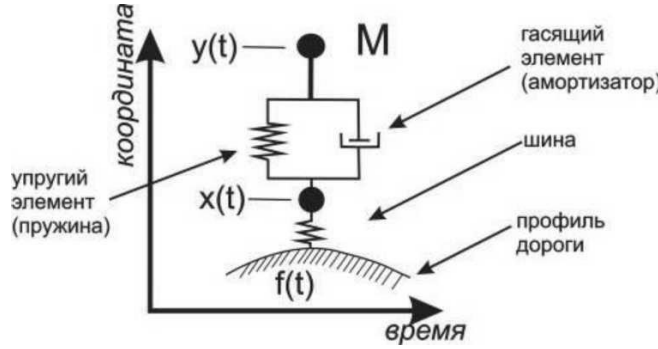


Рис. 1. Схема подвески одного колеса автомобиля:
x(t) - вертикальная координата оси колеса, y(t) - вертикальная координата корпуса автомобиля в опорной системе координат, t - время

Свойства подвески определяются ее характеристиками, основные из которых описывают упругость пружины и вязкость амортизатора в зависимости от различных фаз их движения. В большинстве обычных автомобилей характеристики подвески выбираются в результате поиска компромисса между противоречивыми требованиями устойчивости, управляемости и комфортности. Характеристики подвески оптимизируют с точки зрения среднестатистических условий, в которых будет работать данный автомобиль. Рассчитывается усредненное значение массы автомобиля с учетом возможного веса его груза, оценивается и учитывается характер и качество дорожного покрытия тех дорог, для которых разрабатывается данный автомобиль, требования к динамическим свойствам данного автомобиля, зависящие от его назначения (спортивный автомобиль, пассажирский, грузовой, специальный и т.п.). Характеристики таких подвесок не меняются в процессе эксплуатации автомобиля, если не считать изменений, связанных с износом деталей подвески. Однако очевидно, что подвеска, оптимизированная по всему диапазону условий эксплуатации автомобиля, оказывается неоптимальной в каждой из конкретных текущих дорожных ситуаций, отличающихся от расчетной среднестатистической. Так, при движении автомобиля по сравнительно гладкой дороге оптимальной является более жесткая подвеска, при движении этого же автомобиля по неровной дороге хотелось бы, чтобы подвеска становилась более мягкой. При движении по прямому участку дороги можно иметь более

мягкую подвеску, увеличивающую плавность хода, а при прохождении поворотов, при разгоне и торможении подвеска должна становиться более жесткой, чтобы обеспечить устойчивость автомобиля, не допускать большого крена, тем более - опрокидывания. Хотелось бы также изменять жесткость подвески при изменении веса груза. Имеются и много других факторов, от которых могут зависеть желаемые оптимальные в текущих условиях характеристики подвески (ускорение автомобиля, радиус поворота и т.п.). В работах [7-8], описаны попытки конструирования таких подвесок, которые позволяли бы управлять их характеристиками вручную или автоматически. Например, водителю предоставляется возможность настраивать подвеску перед выполнением конкретной поездки в соответствии с ее планируемыми свойствами. Так, в некоторых автомобилях можно изменять высоту клиренса (дорожного просвета), или жесткость подвески, выбирая из двух - трех вариантов - спортивного (жесткая подвеска) или обычного (мягкая подвеска). Например, в некоторых подвесках, устанавливавшихся на автомобилях, упругость подвески регулировалась пневматическими амортизаторами: на каждом мосте устанавливается три пневматических резервуара, работающих в роли амортизатора. У водителя имеется кран, которым он может задействовать только два, либо все три резервуара. В первом случае подвеска становилась более жесткой, во втором - более мягкой, чем и обеспечивалось изменение свойств подвески. Водитель мог также изменить клиренс, например, в зависимости от скорости движения, качества дороги, а также при остановке автомобиля [7].

Такие конструкции широко применяются на грузовых автомобилях, однако применение их на легковых автомобилях не эффективно, т.к. диапазон изменения подрессоренной массы легкового автомобиля не так велик.

Иногда обеспечивается возможность изменения характеристик подвески вручную непосредственно в процессе движения автомобиля. Однако такие манипуляции могут отвлекать водителя от управления автомобилем и известны случаи, когда это увлекательное занятие приводило к авариям. Подвески, параметры которых могут изменяться с целью управления, стали называть «активными», однако это не строгий термин, и в каждом случае полезно уточнить, что именно имеется в виду.

Попытки построения подвесок, параметры которых изменялись бы автоматически в зависимости от некоторых текущих условий, привели к появлению различных идей, которые можно подразделить на три типа [7].

Первый тип представлен подвесками, у которых характеристики изменяются в результате некоторых законов механики, гидравлики или пневматики.

Специальное устройство пружинно-листовых амортизаторов делает подвеску тем более жесткой, чем больше вес автомобиля.

Другим примером является называемая «активно-реактивной» или «активно-пассивной» подвеска, где гидравлические диагональные связи между подвесками каждого из четырех колес, позволяют без использования процессоров, датчиков и приводных механизмов «информировать» каждое колесо о том, что происходит с другими, создавая определенное корректирующее смещение колес в разных ситуациях, например, во время поворотов или при наезде одного колеса на препятствие. Функциональное разнообразие действий таких подвесок не велико, при этом требуется установка дополнительного сложного технического и/или гидравлического оборудования, что утяжеляет машину, снижает ее надежность.

Второй тип можно отнести подвески, системы управления которых работают на основе электронных схем или контроллеров, реализующих значение параметров подвески по некоторому детерминированному закону. Такие системы требуют оснащения подвески определенными датчиками, и исполнительными устройствами. Контролер устанавливает фиксированное отображение показаний датчиков в заранее определенные команды исполнительным устройствам, реализующим указанные значения параметров подвески. Очевидно, что таким способом можно реализовать гораздо более сложные детерминированные законы управления, чем посредством механических и гидравлических устройств. Такого рода системы могут управлять подвеской гораздо более динамичнее, чем это может делать человек-водитель, и могут делать это более точно.

Основные проблемы этого типа систем связаны как с трудностями построения точной математической модели автомобильной подвески, так и с необходимостью создания специальных исполнительных устройств Поскольку автоматическая система может управлять не только выбором из двух-трех вариантов, но гораздо большим их числом, то возникает соблазн оснастить подвеску такими управляемыми элементами, которые допускали бы выбор между большим числом дискретных вариантов параметров или изменений их континуальных значений.

Примером таких управляемых механизмов, которые можно было бы использовать в качестве исполнительных устройств в подвеске, является амортизатор с переменной сопротивляемостью.

Изменяя диаметр пропускного отверстия клапана, можно в широком диапазоне изменять характеристику амортизатора. Быстродействие такого актуатора довольно высокое, оно ограничивается возможностями переключающего механического устройства клапана. Однако при работе клапанов, даже с регулируемыми отверстиями, наблюдается неустойчивое гашение колебаний.

Ещё одним пример амортизатора с переменной жесткостью может являться амортизатор переменной вязкости, в котором в качестве жидкости используется так называемая магнито-реологическая жидкость (MRF), которая представляет собой суспензию в масле очень мелкодисперсных металлических магнитных частиц - диполей [9].

Металлические диполи могут управляться внешним магнитным полем, создаваемым соленоидом, заставляющем их одновременно ориентироваться в заданном направлении, например, вдоль или поперек потока жидкости, или вращаться по определенной оси, что и приводит к изменению вязкости в заданном направлении. Высокое быстродействие системы и широкий диапазон рабочих режимов делают ее очень эффективной.

Опыты показывают, что оптимум электрореологического эффекта может быть достигнут только при оптимальном сочетании концентрации дисперсной фазы и напряженности приложенного электрического поля.

Динамическая вязкость, измеренная при периодическом деформировании, оказывается существенно выше сдвиговой эффективной вязкости, определенной в ротационных или капиллярных вискозиметрах.

Из этого можно сделать вывод, что амортизатор с MRF требует достаточно частого сервисного обслуживания и замены магнитной жидкости, которая в свою очередь является дорогостоящей процедурой. Но он имеет недостатки, заключающиеся в деструкции магнитной жидкости, укрупнении частиц суспезии за счет слипания друг с другом, а главное для условий Узбекистана, где наблюдается большие сезонные перепады температур (летом до $+50^0$C, зимой до - 25^0C) и повышенная запыленность такие амортизаторы не эффективны. При повышении атмосферной температуры жидкость внутри амортизатора становиться жиже, что делает его мягче. При понижении атмосферного давления - наоборот.

Запыленность также негативно влияет на свойства амортизатора с ферримагнитной жидкостью. Частицы пыли вокруг амортизатора образуют «альтернативные» магнитные поля. Создаваемые соленоидом магнитные поля могут накладываться друг на друга, что может стать причиной гашения или усиления магнитного поля вокруг амортизатора.

Микрочастицы попадая в ферримагнитную жидкость амортизатора также вызывают негативное влияние на работу системы в целом.

Помимо таких пассивных управляемых элементов подвески были разработаны также активные элементы, например, амортизатор, в который из внешнего резервуара под высоким давлением может впрыскиваться, или, наоборот, откачиваться масло. Такой амортизатор сам может активно воздействовать на автомобиль, надо лишь правильно управлять этими воздействиями.

При помощи гидравлики высокого давления, многочисленных датчиков и мощных микропроцессоров эта активная подвеска мгновенно подстраивает под рессоривание кузова под соответствующую дорожную ситуацию. Таким образом, амортизатор с переменной жесткостью такого типа на 68% уменьшает перемещения кузова при разгоне, движении в

повороте и при торможении. Повороты автомобилей с такой подвеской проходят со значительно меньшими кранами и обеспечивает при резких маневрах объезда более высокий уровень безопасности, чем автомобили с традиционными системами подвески. При тесте „змейка" динамический крен кузова в зависимости от ситуации снижается на 50% по сравнению со значениями с пассивной подвеской и демпфирующей системой [12].

Недостатком такой системы является повышенный расход топлива, требуемый для приведения в действие такой активной подвески.

Вторая проблема, с которой сталкиваются разработчики управляемых подвесок такого типа, состоит в следующем. Закон управления в зависимости от показаний датчиков, даже если он детерминированный, должен быть рассчитан заранее и зафиксирован в каком-либо виде в контроллере. Такой закон управления рассчитывается на основании анализа математической модели динамики объекта управления - движения корпуса и подвески автомобиля в тех или иных возможных условиях. Составляется математическая модель объекта управления и находится ее обратное решение, которое указывает, какие управляющие воздействия следует развить, чтобы в текущих условиях привести объект управления к заданному желаемому состоянию.

Математическая модель обычно представляет собой большую систему нелинейных дифференциальных уравнений, которые описывают движение как твердотельных элементов автомобиля, так и его осциллирующих элементов. Значения коэффициентов подбираются по результатам стендовых испытаний [14].

Проблема состоит в том, что разработать точную математическую модель автомобиля очень трудно. Попытки учесть чуть более сложные и реалистические элементы автомобиля делают его математическую модель чрезмерно сложной и не поддающиеся расчетам. Ситуацию усложняет то обстоятельство, что свойства реального автомобиля постоянно изменяются даже в течение одной поездки - изменяется его масса в результате изменения числа пассажиров или массы груза, изменяется температурный режим, свойства конструктивных элементов, свойства дороги, режим движения. Поэтому всякая зафиксированная математическая модель в целом оказывается неверной, а качество управления, следовательно, ограничено.

В этом типе существуют и адаптивные системы управления, которые строятся на эмпирическом уточнении значений параметров, при условии, что заранее известен набор характеристик, влияющих на целевую характеристику, и общий вид зависимости между характеристиками, т.е. решается задача идентификации модели.

К третьему типу можно отнести активные подвески, управляющие системы которых строятся не на основе математических моделей, а на основе подходов, характерных для задач анализа «черного ящика», или задач управления «по прецедентам». Это системы нового поколения, основанные на идеях самообучения, автоматической работы со знаниями, с автоматическими распознающими системами, использующие нечеткую логику, нейросети, гибридные системы и т.п. подходы. Работы над такими активными подвесками ведутся в настоящее время в ряде автомобильных компаний, но особенности технологии, реализованные в анонсируемых образцах, как правило, не освещаются. Из общих соображений можно предполагать, что все такого рода системы управления активными подвесками, даже если они эвристические, можно отнести к одному из направлений, известных сегодня в области управляющих систем: это экспертные системы, системы нечеткой логики, нейросети, системы с подкрепляющим обучением.

Достоинством такого рода управляющих систем является то, что они основаны не на математических моделях объектов управления. Закон управления в них получается либо в результате автоматического обучения по прецедентам, либо в результате перенесения в управляющую систему формализованных знаний человека - эксперта. Каждый из названных здесь методов управления имеет свои ограничения, особенности и недостатки, а также способы сглаживания этих недостатков.

Экспертные системы позволяют зафиксировать знания человека - эксперта, который хорошо принимает решения в некоторой области, и затем тиражировать эти способности.

Нечеткие системы являются разновидностью экспертных систем и удобны для построения управляющих систем. Однако в своих канонических вариантах эти системы не предполагают автоматического доучивания или переучивания, т.е. автоматической адаптации, их правила принятия решений задаются вручную при конструировании таких систем. Очевидно, что в области управления подвеской не существует экспертов, умеющих быстро и правильно менять параметры подвески, к тому же здесь требуется постоянное переучивание системы управления. Нейронные сети в своем каноническом виде предназначены для распознавания образов, которым они предварительно были обучены по обучающей выборке. Переобучение нейросети в процессе работы (что собственно и обеспечивает адаптивное управление) вызывает уже серьезные проблемы. К тому же и предварительное обучение связано с трудностью подготовки обучающей выборки прецедентов, трудоемкостью обучения нейросети, проблемами сходимости. Системы с подкрепляющим обучением - одно из наиболее перспективных направлений, также имеют свои органические трудности. В каждой из названных областей проводятся исследования, направленные на поиск путей обхода соответствующих проблем [15].

Исследование истечения жидкости через отверстия мембраны перепускного клапана регулируемого амортизатора.

Основной задачей исследования является определение расхода жидкости и эффективности гашения гидравлического удара во время открытия перепускного клапана мембранного типа, использованного в регулируемом амортизаторе.

Во время экспериментальных исследований при выборе материала мембраны оценивали предел выносливости, модуль упругости и коррозионную стойкость материала, при этом были использованы гидравлические жидкости, согласно выданным на них сертификатам.

Отверстия (поры) мембраны располагают на равных расстояниях друг от друга вдоль окружности мембраны (рис.2.5), исходя из ее прочности для выдерживания давления во время гидравлического удара (20 МПа), при условии сохранения суммарной площади отверстий для их различных диаметров и минимального диаметра $d \geq 0{,}100$ *мм* из-за частиц износа.

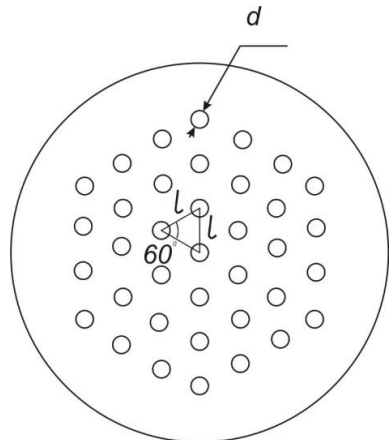


Рис. 2. Мембрана с отверстиями

Результаты экспериментального исследования расхода жидкости через отверстия мембраны (рис.3.) показали, что расход жидкости имеет оптимум при количестве отверстий равном 37, при этом расход жидкости повышается с увеличением толщины мембраны.

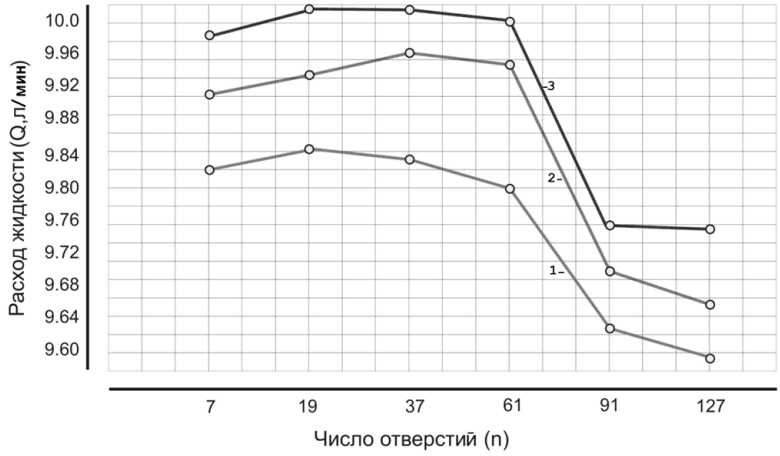


Рис. 3. Зависимости расхода жидкости через мембраны от количества и диаметра отверстий: 1-толщина мембраны 1,0мм; 2-толщина мембраны 1,5 мм;3-толщина мембраны 2,0 мм

Результаты экспериментального исследования гидравлического удара в зависимости от параметров мембраны показали, что с уменьшением диаметра отверстий от 1,546 до 0,315 мм и толщины мембраны от 1,0 до 2.0 мм эффективность гашения давления повышается на 2,2-2,7%.

Анализ проведенных теоретических и экспериментальных исследований предлагаемой конструкции позволил определить следующие параметры мембраны: наружный диаметр 20мм, диаметр отверстий 0,672 мм, количество отверстий 37.

Испытания перепускного клапана мембранного типа проводились на лабораторных стендах.

Во время экспериментальных исследований при выборе материала мембраны оценивали следующее свойства:

- Механические и физические свойства,
- Предел выносливости материала,
- Модуль упругости материала,
- Предел выносливости материала при испытании на изгиб с симметричным циклом нагружения,
- Коррозионная стойкость материала.

Во время эксперимента в лаборатории использованы гидравлические жидкости, согласно выданным на них сертификатам.

Таблица 1. Механические и физические свойства материалов

Механические и физические свойства	**Наименования материалов**			
	Сталь	**Медь**	**Метало керамика**	**Бронза**
Параметры R, δ (мм)	20 мм, 1 мм			
Предел выносливости Р, (МПа)	180-600	40-100	10-12	140
Модуль упругости Р,(МПа)	200-600		10-15	180-450
Предел выносливости при испытании на изгиб с симметричным циклом нагружения, Р (МПа)	400-800		12-16	350-750
Коррозионная стойкость (скорость коррозии мм/год)	0,025	0,010	0,100	0,020

Таблица 2. Механические и физические свойства сталей

Механические и физические свойства	**Виды материалов**			
	Сталь 1	**Сталь 5**	**Сталь 10**	**Сталь 45**
Параметры R, δ (мм)	20 мм, 1 мм			
Предел выносливости Р, (МПа)	180-600	187-620	19-650	230-780
Модуль упругости Р,(МПа)	200-600	200-630	230-660	270-800
Предел выносливости при испытании на изгиб с симметричным циклом нагружения, Р (МПа)	400-800	420-850	450-1000	500-1300
Коррозионная стойкость (скорость коррозии мм/год)	0,0106	0,0192	0,0216	0,0295

*Таблица 3. Результаты экспериментального исследования расхода жидкости через отверстия мембран*ы

Число отверстия (шт.)	**Диаметр мембраны (D, мм)**	**Диаметр отверстий (d, мм)**	**Толщина мембраны (δ, мм)**	**Расход рабочей жидкости** $Q,(л/мин)$
7	20	1,546	1.0	9.81
			1.5	9.88
			2.0	9.94
19	20	0.938	1.0	9.83
			1.5	9.90
			2.0	9.96
37	20	0.672	1.0	9.82
			1.5	9.92
			2.0	9.96
61	20	0.522	1.0	9.80
			1.5	9.91
			2.0	9.95
91	20	0.428	1.0	9.67
			1.5	9.72
			2.0	9.76
127	20	0.364	1.0	9.59
			1.5	9.63
			2.0	9.66
169	20	0.3151	1.0	9.24
			1.5	9.38
			2.0	9.42

Таблица 4. Результаты экспериментального исследования давления во время гидроудара в зависимости от параметров мембраны

Число отверстия (шт.)	Диаметр мембраны (D, мм)	Диаметр отверстий (d, мм)	Толщина мембраны (δ, мм)	Давление во время гидроудара, МПа
7	20	1,546	1.0	1,3541
			1.5	1,3562
			2.0	1,3576
19	20	0.938	1.0	1,3370
			1.5	1,3386
			2.0	1,3609
37	20	0.672	1.0	1,3221
			1.5	1,3237
			2.0	1,3559
61	20	0.522	1.0	1,3185
			1.5	1,3202
			2.0	1,3211
91	20	0.428	1.0	1,3218
			1.5	1,3239
			2.0	1,3258
127	20	0.364	1.0	1,3268
			1.5	1,3279
			2.0	1,3298
169	20	0.3151	1.0	1,3308
			1.5	1,3316
			2.0	1,3323

Таблица 5. Результаты экспериментального исследование перепада давления в зависимости от параметров мембраны

Число отверстия (шт.)	Диаметр мембраны (D, мм)	Диаметр отверстий (d, мм)	Толщина мембраны (δ, мм)	Перепад давления в внутри отверстий, кПа
7	20	1,546	1.0	3065,625
			1.5	3087,500
			2.0	3106,250
19	20	0.938	1.0	3071,83
			1.5	3093,75
			2.0	3112,47
37	20	0.672	1.0	3068,73
			1.5	3099,96
			2.0	3112,47
61	20	0.522	1.0	3062,47
			1.5	3096,85
			2.0	3109,36
91	20	0.428	1.0	3022,87
			1.5	3037,50
			2.0	3049,96
127	20	0.364	1.0	2996,86
			1.5	3009,37
			2.0	3018,47
169	20	0.3151	1.0	2887,47
			1.5	2931,21
			2.0	2943,75

Компромиссом между комфортом и безопасностью (управляемостью) автомобиля может являться конструкция амортизатора с возможностью регулирования его сопротивления.

Регулирование может осуществляться автоматически в зависимости от нагрузки на ось автомобиля, от скорости его движения, от дорожных условий, от температуры окружающего воздуха и самого амортизатора или от всех условий вместе. В таком случае автомобиль оснащают соответствующими датчиками и блоком управления, подающим команды на исполнительные устройства.

Разработана мехатронная система управления сопротивлением гидравлического амортизатора, которая приводит к повышению комфортабельности управления и содействует безопасности вождения автомобилем

Разработана конструкция перепускного клапана гидравлического амортизатора с изменяемой характеристикой сопротивления;

Оптимизированы гидравлические характеристики мембранного узла управляемого гидравлического амортизатора при различном перекрытии перепускных отверстий перепускного клапана.

Ожидаемый годовой экономический эффект от внедрения мехатронной системы управления подвеской легкового автомобиля и повышения комфортности амортизаторов.

Список литературы / References

1. *Гарифуллин А.А.* «Разработка мехатронной системы управления подвеской легкового автомобиля», магистерская диссертация по специальности 5А 521101 «Автомобили». Т.: ТАДИ, 2012.
2. *Юсупбеков Х., Хакимов А.М.* Магистерская диссертация «Исследование истечения жидкости через отверстия мембраны перепускного клапана регулируемого амортизатора». Т.:ТАДИ. 2013.
3. *Юсупбеков Х., Хакимов А.М.* Дипломная работа «Датчики ускорения для системы автоматического управления работой гидравлического амортизатора». Т.:ТАДИ, 2012.
4. *Лебедев О.В., Каниев Ж.* Гидрораспределитель с мембранным клапаном. Журнал «Узбекистан кишлок хужалиги». Ташкент, 2007. № 12. С. 30.
5. *Лебедев О.В. и др.* Мехатронные системы машин. Ташкент. АН РУз, 2010. 2,5 п.л.
6. *Сысоева С.* Актуальные технологии и применения датчиков автомобильных систем активной безопасности. ж.-л. «Компоненты и технологии». № 2-3, 2007.
7. *Иноятходжаев Ж.Ш.* Обоснование параметров амортизатора мембранного типа автомобиля с помощью имитационного моделирования., автореф. дис. на соискание ученой степени к.т.н. Т., 2009. С. 22.
8. Патент РУз. № 1АР 03855. Способ контроля технического состояния амортизаторов наземных транспортных систем / Иноятходжаев Ж.Ш. и др. // Расмий ахборотнома, 2009. № 1.
9. *Осепчугов В.В., Фрумкин А.К.* «Автомобиль конструкций, элементы расчёта». М. Машиностроение, 1989.
10. *Иноятходжаев Ж.Ш., Лебедев О.В.* Характеристики подвесок автомобилей с системой автономного адаптивного управления ТошДТУ хабарлари. Т., 2006. № 2. С. 59-62.
11. Патент на полезную модель Ru 91317V1. КЛ. B60G1/04, 2006.
12. *Хакимов А.М., Гарифуллин А.А.* Конструкция регулируемого амортизатора подвески автомобиля. «Вестник ТАДИ», Ташкент. № 2, 2010.
13. *Богачев Ю.П.* Мехатроника - достижения и проблемы. Приводная техника. № 4, 1998.
14. *Подураев Ю.В.* Основы мехатроники. М: Изд-во МГТУ СТАНКИН, 1999.
15. *Попов Е.П., Верещагин А.Ф., Зенкевич С.Л.* Манипуляционные роботы. Динамика и алгоритмы. М.: Наука, 1978.