

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения  
(наименование института полностью)

Кафедра «Оборудование и технологии машиностроительного производства»  
(наименование)

15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных  
производств»  
(код и наименование направления подготовки)

Организация машиностроительных производств  
(направленность (профиль))

## **ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА (МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ)**

на тему Исследование надежности защиты водителя и пассажиров автомобиля  
путем управления конструкторско-технологическими параметрами в ходе  
испытаний

Студент

Д.Е. Махрова

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный  
руководитель

к.т.н., доцент, Д.Г. Левашкин

(ученая степень, звание, И.О. Фамилия)

Тольятти 2021

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1 Исследование технологических процессов испытания автомобилей на безопасность.....	5
1.1 Анализ влияния физиологии человека на технологии испытания автомобилей на безопасность.....	5
1.2 Анализ влияния формы тела и веса водителей на технологии испытания автомобилей на безопасность.....	13
1.3 Анализ влияния виртуализации параметров человека на технологии испытания автомобилей на безопасность.....	15
1.4 Влияние ожирения на удержание водителя и пассажиров в салоне автомобиля при испытании автомобиля на безопасность.....	18
Глава 2 Исследование физической сущности процессов, протекающих при испытании автомобилей на безопасность.....	32
2.1 Исследования преобразования энергии при испытании автомобилей на безопасность.....	32
2.2 Изучение адаптивных структур ТС для лобовых столкновений.....	33
2.3 Конструкция системы поглощения энергии удара при столкновении .....	46
2.4 Биомеханика испытания автомобилей .....	51
Глава 3 Конструкторско-технологическое обеспечение технологических процессов испытания автомобилей на безопасность.....	60
3.1 Аппаратное обеспечение технологий испытания автомобилей на безопасность.....	60
3.2 Конструкторско-технологическое обеспечение испытаний автомобилей на безопасность.....	66
Заключение.....	72
Список используемых источников.....	73

## Введение

На заре зарождения автопроизводства никто не задумывался о безопасности этого вида транспорта: люди просто были ошеломлены самим фактом существования скоростного самоходного транспорта. И даже если несколько человек погибали в ДТП, никто особо не придавал этому значение. Первый зафиксированный случай гибели пешехода в Нью-Йорке датируется 1899 г. К 1930 г. это число возросло до 15 человек на 100 миллионов пройденных миль. Именно тогда автопроизводители начинают задумываться о проверке безопасности автомобилей.

Тогда основным критерием надежности была прочность кузова, но на деле все оказалось совсем не так. Чем толще применялась сталь, тем тяжелее становился автомобиль и, следовательно, удар был сильнее. Только спустя продолжительное время инженеры поняли, что если корпус автомобиля не выполнен из сминающихся материалов, то вся энергия от столкновения передается непосредственно в салон. В этом случае сильное столкновение практически всегда приводило к летальным исходам в результате удара грудной клеткой об руль или переломом шейных позвонков при откидывании головы назад. Для того чтобы изучить поведение человеческого тела при столкновении, компания General Motors проводит первый, официально зарегистрированный краш-тест в истории.

На первых порах краш-тесты делались на улице, автомобили сбрасывали с обрыва, ударяли об стены, а за рулем часто находились живые люди. В 1930 г. знания в области биомеханики человека еще не были на достаточном уровне, поэтому применяемые в первое время пластиковые манекены были признаны неэффективными для сбора данных. Поэтому в краш-тестах стали использовать человеческие трупы. На водительское и пассажирское сидение автомобилей GM и других производителей сажали трупы людей белой расы, умерших ненасильственной смертью. Подобный радикальный шаг сразу же принес свои плоды. Согласно статистике один

труп мог спасти около 8 тысяч человеческих жизней. Тела умерших людей были удобны в плане дальнейшего обследования на всевозможные рваные раны, переломы костей и так далее.

В начале 2000-х годов у автопроизводителей получили широкое распространение испытания, проводимые на основе компьютерного моделирования, которые намного дешевле, но все же не такие точные, чем классические краш-тесты. Недавно автоконцерн Daimler совместно с немецким Институтом динамики быстропротекающих процессов общества Фраунгофера разработал технологию, с помощью которой можно получать рентгеновские снимки автомобиля во время проведения краш-теста. Рентгеновские снимки движущегося на большой скорости автомобиля позволили провести подробный анализ всех деформирующихся деталей, который невозможно получить, используя высокоскоростную съемку столкновения. Поэтому, тема магистерской диссертации является актуальной.

Тогда, цель магистерской диссертации может быть сформулирована следующим образом: совершенствование технологических процессов испытания автомобилей на безопасность путем повышение качества процессов испытаний.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ перспективных технологических процессов испытания автомобилей на безопасность;
- провести анализ физической сущности процессов, протекающих при испытании автомобилей на безопасность;
- разработать систему управления и аппаратные средства для совершенствования технологических процессов испытания автомобилей на безопасность.

## **Глава 1 Исследование технологических процессов испытания автомобилей на безопасность.**

### **1.1 Анализ влияния физиологии человека на технологии испытания автомобилей на безопасность.**

Огромное количество исследований свидетельствуют о том, что женщины, по сравнению с мужчинами, более склонны к получению смертельных или серьезных повреждений в автокатастрофах, но это не касается тех случаев, когда они сидят за рулем Volvo, по словам одного из инженеров компании.

Лотта Якобссон, профессор и ведущий специалист в Центре безопасности Volvo, сообщила [driving.co.uk](http://driving.co.uk), что степень полученных женщинами травм в ДТП зависит главным образом от автомобилей, которыми они управляют. «Если вы проектируете автомобиль должным образом, то они (женщины) не будут подвержены большому риску», - подчеркивает она. «Мы проверяем большую часть областей тела и видим, что они идентичны, будь то мужчина или женщина».

Заявления Volvo противоречат проведенному Центром прикладной биомеханики Университета Виргинии исследованию в 2011 году, гласящему, что женщины, использующие ремни безопасности на 47% больше подвержены получению серьезных травм, чем использующие ремни мужчины. Это различие касалось, в основном, травм нижних конечностей.

Согласно данному исследованию, женщины также на 71% больше подвержены получению травм средней тяжести даже с учетом таких индивидуальных факторов, как рост, вес, использование ремней безопасности и сила удара.

Независимое исследование, проведенное американским Национальным управлением безопасностью движения на трассах в 2013 году, также

показало, что женщины на 17% больше подвержены риску получения смертельных травм в ДТП.

Слабость связок, плотность мышц и размер и форма костей являются фундаментальными биометрическими различиями, которые могут внести свою лепту в повышенный риск получения женщинами травм. Однако многие полагают, что женщины менее защищены, чем мужчины, так как большая часть тестовых испытаний автомобилей проводится с использованием стандартизированных 50% манекенов-мужчин и техники под названием «геометрическое масштабирование» для прогнозирования поведения людей различных размеров в ДТП.

В своей книге «Женщины-невидимки: разоблачение предубеждений в мире, созданном для мужчин» Каролин Крайэдо Перез ссылается на некоторые исследования, где указаны нормальные женские позы-сидя, отличные от тех, что были ранее определены как общепринятые. Было обнаружено, что женщины, в среднем, тяготеют к тому, чтобы располагаться ближе к рулевому колесу для компенсации более низкого роста, что подвергает их большему риску получения травм внутренних органов в лобовых столкновениях.

Компания Volvo заявляет, что занимается сбором данных об авариях с участием мужчин и женщин по всему миру, включая собственные автомобили, начиная с 1970 года.

Эти данные оказали помощь в совершенствовании своих собственных автомобилей. Концерн подчеркивает, что его сиденья лучше подходят людям разных размеров, чем любые другие – в этом случае плоские спинки играют важную роль – но такие технические инновации, как Система защиты от бокового удара (SIPS), представленная в 1991, и система защиты от хлыстовой травмы (WHIPS), которая была впервые внедрена на Volvo S80 в 1998 и стала использоваться в базовой комплектации во всех автомобилях Volvo для водителя и пассажира переднего ряда к 2000, также играют роль.

«Я бы сказала, что SIPS была создана чисто на базе результатов мировых данных, и лишь пару манекенов приняли здесь участие (в то время)», - сообщила Якобссон.

По ее словам, она была просто восхищена системой WHIPS, которая в случае удара сзади движет сиденье переднего ряда назад, а затем наклоняет его спинку. Она говорит, что таким образом гасится энергия удара, это, «как поймать мяч», так что водитель и пассажиры не летят вперед с огромной силой.

По словам Якобссон, компания Volvo была одной из первых, кто стал проводить испытания с манекенами-женщинами. Для использования в своих тестах с 1995 года концерн купил манекен-женщину небольшого размера, представляющий всего 5% населения. Манекен-женщина среднего размера для боковых ударов был представлен в конце 1990-х. Манекен, представляющий беременную женщину, под названием МАМА-2В, созданный исследователями Университета мичиганского медицинского центра совместно с General Motors и Национальным управлением безопасностью движения на трассах, стал применяться Volvo с начала 2000-х.

Согласно Якобссон (фотография ниже), манекены-женщины подвергаются испытаниям на всех сиденьях (водительском, пассажирском, сиденьях заднего ряда), и они не представляют собой уменьшенные копии женщин: их антропометрические характеристики основаны на данных о женщинах.

В дополнение к сбору данных со всего мира и лабораторным испытаниям, которые Volvo проводит в своих собственных помещениях в родном городе Гётеборге, Швеции, компания работает также над виртуальными человеческими моделями в компьютерных программах, имитирующих краш-тесты, начиная с середины 90-х и разработала цифровой манекен-женщину среднего размера в 2001 году.

«В то время как физические манекены являются стандартизированными моделями автопромышленности, этот цифровой манекен-женщина есть «что-то свое, внутренне», - подчеркивает Якобссон. «Пока мы не делились этой наработкой с другими, просто потому что она нигде кроме наших компьютеров не работает на данный момент».

Якобссон отмечает, что будущее все-таки лежит за виртуальными моделями, так как компьютерные не сделаны из стали и резины, а являются точными человеческими копиями вплоть до мышц, органов и костей со своими индивидуальными формами ребер и черепа с мозгами внутри. Симуляции можно будет проводить снова и снова друг за другом, не ожидая перезапуска или восстановления оборудования.

«Это математика», - говорит она. «Сначала автомобиль моделируется должным образом, потом проводится виртуальный краш-тест. А затем идет человеческая модель, если таковая имеется, в роли скелета с плотью и кровью».

Эти виртуальные манекены можно легко увеличивать в размере, по словам Якобссон, создавая точную индивидуальную копию человека.

«Нам необходимо понимать индивидуальные различия», - говорит она. «Мы можем создать модель, похожую на вас, а затем посмотреть, как она поведет себя при испытаниях. Мы работаем над этим – пока мы еще этого не достигли. Но все впереди».

На саммите Международного Транспортного Форума в начале 2019 года в Лейпциге, Германии группа специалистов исследовала ряд проблем, связанных с передвижением и транспортировкой женщин, включая аварийный риск по половой принадлежности, опасность на дороге, относительно неизвестная публике.

Новый отчет из журнала «Consumer Reports» пишет о том, что, как он сам говорит, эксперты по безопасности и исследователи знали давным-давно: что риск смерти или получения повреждений во время аварии на дороге с женщинами намного выше и что реакция организма женщины отличается от



мужского, а еще что большая часть манекенов, используемых для проведения краш-тестов в Соединенных Штатах, представляет собой модель среднестатистического мужчины.

Такое неравенство «определило курс последующих четырех десятилетий для проектировщиков безопасных автомобилей со смертельным исходом».

А вот такие вот факты «Погрешность краш-тестов: как тесты, ориентированные на мужчин, подвергают женщин риску», опубликованные в среду, говорят о том, что для сохранения жизней контролирующим органам необходимо устранить проблему, которая может привести к непропорциональному убийству половины населения или причинить ей вред».

Отчет подробно рассказывает, что, не смотря на то, что большая часть людей, погибших или получивших травмы в несчастных случаях на дорогах в Соединенных Штатах, мужчины, женщины все-таки в большей степени подвержены риску смерти или получению повреждений. Мужчины, например, проезжают больше километров, чем женщины, и чаще ведут себя рискованно на дороге, гоня на большой скорости, управляя автомобилем в состоянии алкогольного опьянения, не пристегиваются, о чем свидетельствует федеральная база данных. Однако, водители-женщины и пассажиры-женщины переднего ряда, надевающие ремни безопасности, на примерно 17% больше подвержены риску смерти в авариях на дороге, чем мужчины того же возраста.

Более того, исследование 2019 года, сделанное университетом Виргинии, показало, что вероятность получить серьезные повреждения при фронтальном столкновении на 73% больше среди пассажиров женского пола, чем мужского.

«Такие тревожные цифры говорят о наличии серьезной проблемы безопасности, проблемы, которая не является секретом ни для контролирующих органов, ни для автопроизводителей», - сообщает отчет,

подчеркивая, что настоящий женский манекен – это всего лишь уменьшенная версия мужского, который представляет каких-то 5 процентов женщин по стандарту середины 1970-х годов – так что такой манекен может быть использован и в роли 12 или 13-летнего ребенка». И никакие манекены не учитывают разницы в организмах женщины и мужчины, и как они ведут себя при аварии. Согласно упомянутому отчету, большинство манекенов на сегодняшний день это 77,5-килограммовые, 1,5×0,22- метровые куклы, впервые стандартизированные в 1970-х. Среднестатистический американец сегодня на около 11,8 кг тяжелее.

В отчете обсуждается то, насколько достижения в области безопасности соотносятся с установленными нормами, как результаты испытаний на безопасность влияют на конструкцию современного автомобиля. И если такие испытания не принимают во внимание пассажиров женского пола, то, очевидно, что никакие изменения для их лучшей защиты не будут сделаны. «До тех пор пока федеральные стандарты о безопасности моторных транспортных средств не затребуют динамичных краш-тестов с манекеном-женщиной среднего размера во всех имеющихся позициях, включая сиденье водителя, индустрия манекенов и автопроизводители вперед не продвинутся», - говорит Эмили Томас, инженер по автомобильной безопасности в испытательном центре «Consumer Reports».

Дэвид Фридман, вице-президент по защите прав потребителей в «Consumer Reports» и бывший администратор Национального управления безопасностью движения на трассах, сказал в статье, что проблемой на сегодняшний день является то, что большинство автопроизводителей создают для того чтобы проводить испытания и не выходят за пределы этого, руководствуясь глобальным подходом к безопасному конструированию. «Следующему поколению краш-тестов необходимы репрезентативные манекены и некая беспорядочность в рассадке разных манекенов по разным местам во время проведения испытаний. Тогда автопроизводителям пришлось бы наконец-то в равной степени защитить каждого».

Тем временем многие защитники безопасности и организации уже осведомлены о предстоящих задачах и пытаются их решать, насколько позволяет им время, средства и технологический прогресс. Страховой Институт Дорожной Безопасности, некоммерческая организация, спонсируемая страховой индустрией, например, разрабатывает новую программу испытаний.

«Настоящие манекены для краш-тестов, будь то манекен-женщина или мужчина, используются для измерения воздействий во время автомобильных столкновений, но они не могут воспроизвести всю тонкоcostную структуру и связки человеческого организма, что является одной из отличительных черт в том, насколько мужчины и женщины подвержены повреждениям», - Расс Рейдер, представитель Страхового Института, сообщает Forbes. «Замена манекена-мужчины во фронтальных испытаниях на манекен-женщину не отразила бы эти черты, потому что это то, что современные манекены замерить не могут. Мы сейчас работаем с экспериментальным манекеном, который, вероятно, решит эту задачу в будущем.

Джозеф Янг, так же представитель института, сообщил Forbes, что с момента запуска в середине 1990-х фронтальных краш-тестов с небольшим перекрытием, упомянутое учреждение отметило «невероятные улучшения» в том, как хорошо транспортные средства стали защищать людей. «Одна из главных причин заключается в том, что современные ТС оказывают значительное сопротивление структурным деформациям вблизи пассажира, не смотря на его рост или пол, что приносит ему пользу». «Когда мы запустили свою программу по проведению боковых краш-тестов в 2003 году, Институт инженеров принял решение об использовании манекена, который представлял собой небольшую женщину. Это было сделано в связи с тем, что женщины, имея небольшое телосложение, как правило, более уязвимы в подобных авариях. В результате мы далеко продвинулись в защите головы пассажира в похожих несчастных случаях благодаря боковым подушкам безопасности, защищающим даже самых маленьких участников движения».

Он также сообщил, что пока институт не использует манекена-женщину небольшого телосложения в своих фронтальных краш-тестах, он активно занимается исследованиями фронтальных столкновений, включающих манекена-пассажира женского типа, занимаясь при этом разработкой новой программы испытаний, нацеленной на защиту всех сидящих в автомобиле.

И Рейдер, и Янг замечают, что институт уделяет особое внимание конструкции автомобиля; если конструкция транспортного средства выдерживает нагрузки и не деформируется, все, сидящие в нем, останутся невредимыми.

Дэвид Ворд, президент и исполнительный директор Организации По Оценке Новых Автомобилей (Global NCAP), передал Forbes, что он приветствует такие важные для Программы исследования. «Это определенно задача Программ изучить и проработать эти погрешности по половому признаку».

Global NCAP – это основанное в Лондоне некоммерческое предприятие, которое является головной организацией для всех Программ по оценке новых автомобилей и информирует потребителей об уровне безопасности автомобилей, продаваемых на том или ином рынке. «Интересно то, что упомянутая проблема не всегда рассматривается через призму половой принадлежности», - сообщил Ворд. В Азии, например, «жалуются на чисто европейские более крупные размеры манекенов», продолжил он. Помимо этого проблема заключается в колоссальных затратах на их разработку, а также в установке правил, для того чтобы побудить предприятия использовать манекены разных размеров.

В отчете рассказывается история создания манекена и начала его использования, обсуждаются физические различия между мужчинами и женщинами и потенциальные различия в результатах краш-тестов, попытки воспроизвести краш-тесты с использованием манекенов различных телосложений и разработки в компьютерном моделировании для имитации

человеческих тел различной формы, размеров, пола, задействованных в испытаниях.

«Разработка манекена может занять более 20 лет», - отметил Беки Мюллер, старший инженер-исследователь в Страховом Институте. «Создание самого манекена не обязательно занимает так много времени, но на умение связать результаты полученных с помощью него замеров и реально возможные повреждения, а также сбор данных уходят годы».

## **1.2 Анализ влияния формы тела и веса водителей на технологии испытания автомобилей на безопасность.**

Если вам когда-либо посчастливилось отделаться легкими ушибами в несчастном случае на дороге, тогда, возможно, вы захотите поблагодарить за это манекена Hybrid III.

Этот розовато-коричневый гуманоид с характерными черно-желтыми заплатками на висках есть самый обычный манекен для проведения краш-тестов с целью соблюдения стандарты безопасности для новых автомобилей. Но, возможно, скоро этого укоренившегося защитника здоровья и безопасности попросят уйти на пенсию отчасти из-за наших пищевых пристрастий.

Выпущенный в 1976 году Hybrid III был спроектирован по подобию среднестатистического американского мужчины: 1,8 м роста и 77 кг веса. С того момента этот среднестатистический мужчина набрал более 11 кг и стал на 2,5 см ниже.

«На сегодняшний день между людьми и манекенами существуют колоссальные различия», - говорит Скотт Гейзик, ученый Центра Уейк-Форест по биомеханике повреждений в Виргинии.

Разумеется, среднестатистический не означает представляющий все население. А стандартные модели манекенов, используемые в краш-тестах, с

каждым разом становятся все меньше и меньше похожими на современных водителей.

В Китае, например, имели место быть волнения, связанные с продажей автомобилей. И если говорить о тестировании транспортных средств, важным будет отметить существенные различия между взрослыми китайцем и американцем среднего роста. «Это не говорит о том, что краш-тесты бессмысленны», - подчеркивает доктор Майкл ван Ретинген, генеральный секретарь Европейской программы оценки новых автомобилей Euro NCAP. Он говорит, что манекены способствуют и будут способствовать безопасности автомобиля.

Например, был диверсифицирован манекен Hybrid III. Сейчас он используется в трех вариантах – более высокий мужчина, женщина небольшого роста и оригинальный манекен плюс двое детей. И так как он задействуется только при имитации фронтальных столкновений, парочка двоюродных братьев и сестер была разработана для других типов краш-тестов, а именно для боковых испытаний и ударов сзади. Даже имея это, Hybrid III и его новые члены не способны воспроизвести все возможные ДТП.

И есть еще одна более крупная проблема – они вообще не похожи на людей. Антропоморфные тестирующие устройства (ATDs) сделаны из стали и резины, что означает, что они достаточно прочные, чтобы выдержать проводимые с ними испытания. Более того, у них нет костей или таких жизненно-важных органов, как печень, сердце и мозг. Вместо этого у них есть сенсоры, фиксирующие такие вещи, как движение и сжатие в определенных местах во время аварии. Но в действительности такие тестирующие устройства не могут точно спрогнозировать, что произойдет с костями и органами живого человека при столкновении, не говоря уже о различиях в плотности костей молодого и пожилого людей.

Такие факты заставили исследователей разработать новый, отличный подход к проведению краш-тестов, которые могут имитировать все

многообразии человеческих форм и размеров. Международная организация по моделированию человеческого тела (GHVMS), группа автопроизводителей и поставщиков, включая Chrysler и General Motors, ведет один из таких проектов. Его идея – создать виртуальных людей: компьютерные модели, намного более схожие с человеком или более близкие в «биологическом плане» к нему, чем антропоморфные тестирующие устройства. «Мы хотим проводить испытания, используя человеческие модели, страдающие ожирением или имеющие избыточный вес, как живые люди, но мы не можем сделать это с АТД», - говорит Гейзик, член упомянутой организации.

### **1.3 Анализ влияния виртуализации параметров человека на технологии испытания автомобилей на безопасность.**

Создание виртуальных людей, чем занимаются ученые Международной организации по моделированию человеческого тела, это сверхсложный процесс. Для того чтобы разработать модель, эти самые ученые для начала делают компьютерную томографию (КТ) человека в лежачем и сидячем положениях; так создается 3D представление человеческого скелета. Затем с использованием вертикальной машины для обследования следует магнитно-резонансная томография (МРТ) человека в сидячем положении с добавлением мышечной массы, внутренних органов и мозга.

«Как только мы будем иметь кости и мягкие ткани, мы сможем создать точную копию человека», - сообщает Джо Ститзел, один из лидеров команды GHVMS, работающей в Уэйк Форест. «У нас есть, своего рода, материя. Затем мы добавляем механику и жесткость всем имеющимся компонентам, чтобы создать похожую на живого человека модель: мы играем во Франкенштейна».

Вот ученые GNBCS завершили модель 50% мужчины и, не смотря на всю сложность операции, она весит всего лишь 1 Мб, достаточно, для того чтобы поместиться на вышедшую из моды дискетку. На данный момент специалисты работают над созданием более сложной модели, которую можно легко увеличить или уменьшить в размере, отрегулировать, дабы смочь воспроизвести людей разных размеров, телосложений и возрастов.

Такую человеческую модель можно загрузить в компьютерную модель автомобиля, что сейчас в процессе проработки (и так как ТС создаются на базе компьютерных моделей, это не составит труда). Затем модель может быть подвергнута всевозможным испытаниям.

«Как правило, обычная авария – даже с использованием манекена – занимает одну десятую секунды или половину того промежутка времени, за который вы успеваете один раз моргнуть», - сообщает доктор Ститзел. Но виртуальная имитация, проводимая на мощном 64-битном компьютере, может занять до десяти часов. Это связано с тем, что вместо того чтобы просто считывать информацию с сенсоров в нескольких точках сосредоточения масс, компьютер показывает миллионы возможных вариантов и создает детализированные модели того, что может произойти с частями тела.

«Все, что вы можете сказать об испытаниях с манекеном, это то, что он получает удар в голову и есть определенные силы, ускорение и движение головы во времени», - поясняет интересующийся повреждениями мозга Гай Нушольц, управляющий в отделе экспериментальной и вычислительной механики компании Chrysler. «Имея компьютерную модель, мы можем попытаться продублировать основы физики мозга и посмотреть, что с ним происходит».

«Не смотря на то, что такие модели могут привести к важным открытиям, они все же имеют свои недостатки, что является проблемой, как для автопроизводителей, так и для законодателей», - говорит доктор ван Ретинген из Euro NCAP.



«Чем больше деталей вы добавляете той или иной модели, тем больше она становится непохожей на другие», - продолжает он. «И, само собой, когда вы создаете автомобиль, вы разрабатываете его не для одного человека, вы разрабатываете его для всего населения».

Так что автопроизводителям придется проводить множество тестов с разными виртуальными моделями, принимая во внимание средний результат для выбора окончательной конструкции.

Он также подчеркивает, что виртуальные модели могут иметь проблемы с контролем качества, что является неприемлемым для законодательных органов. «Если вы используете другой сервер или другой компьютер, есть риск получить результат отличный от предыдущего, то, что не пригодно для сертификации новых автомобилей», - сообщает он.

В заключение доктора ван Рейтинген и Гейзик говорят, что новые автомобили продолжают удовлетворять законодательным требованиям по безопасности, принимая участие в карш-тестах с ATDs еще долгие годы. «С физическим тестом не поспоришь», - подчеркивает Гейзик.

Но, как он полагает, есть то, где виртуальные модели могут помочь сделать испытания на безопасность с использованием антропоморфных тестирующих устройств более точными: имея огромное число всевозможных аварий в компьютерной модели, можно вычислить небольшое количество потенциальных сценариев, являющихся наиболее тяжелыми, сложными для каркаса автомобиля и для его пассажиров. Как только эти сценарии будут определены, их можно будет использовать для физических испытаний.

И интересно то, что та же технология, используемая для имитации краш-тестов с виртуальными людьми, используется автопроизводителями для имитации испытаний с виртуальными манекенами.

«Наша цель – дать гарантию того, что конструкция автомобиля для начала сможет пройти нормативные испытания, и не брать на себя риск дорогостоящего провала», - поясняет Донал Макналли, общий руководитель Группы по Изучению Биоинжиниринга в университете Ноттингема в

Великобритании. «Вы могли бы использовать программное обеспечение с моделями краш-тест манекенов для точной настройки времени срабатывания подушки безопасности после столкновения», - говорит он. «Так вы можете найти оптимальное время для гарантии прохождения нормативных требований».

В конце концов, такие разработки должны сделать автомобили намного безопаснее. Более того, это увеличивает возможность создания нескольких версий одного и того же транспортного средства для разных рынков. Такая идея обойдется дорого, но позволит продавать автомобили как на японском рынке для безопасности пожилых людей, так и на китайском рынке для населения, в среднем, ниже по росту, чем американцы.

Данная разработка может оказаться применимой и для других сфер нашей жизни, например, для создания героев на телевидении или компьютерных экранах. «Мы прибываем в восторге, думая о возможности использования наших человеческих моделей компаниями по созданию компьютерных игр», - объясняет доктор Гейзик. «У них уже есть свои собственные модели, но их движения не настолько реалистичны, и они не настолько точны изнутри».

Это может быть хорошей новостью для геймеров, но не такой хорошей для самих виртуальных людей. После участия в нескольких краш-тестах они будут выброшены в мир драконов, монстров или плотоядных зомби. Так что, возможно, мысль о спокойной старости манекена Hybrid III не так уж и плоха.

#### **1.4 Влияние ожирения на удержание водителя и пассажиров в салоне автомобиля при испытании автомобиля на безопасность.**

Ожирение – одна из крупнейших эпидемий нашего поколения. За период с 1980 по 2000 количество американцев, страдающих ожирением, увеличилось с 14,4% до 30,5% (Флигал и др. 2002). В 2005-2006 годах около

72 миллионов американцев, что составляет треть взрослого населения США, страдали ожирением (Огден и др. 2007). Эта тенденция может усугубиться в ближайшие годы тенденцией к росту ожирения среди молодых людей. За периоды с 1988 по 1994 и с 2003 по 2004 резко возросло количество страдающих абдоминальным ожирением среди взрослого населения Соединенных Штатов возраста 20-29 лет (Ли и др. 2007). На сегодняшний день число страдающих абдоминальным ожирением на 100% больше среди мужчин и на 82% больше среди женщин возраста 20-29 лет.

Ожирение, как правило, определяется индексом массы тела (ИМТ). ИМТ есть отношение массы тела человека (в килограммах) к его росту (в метрах) в квадрате. Согласно Американской ассоциации по борьбе с ожирением, человек с избыточной массой тела – это человек, чей ИМТ находится в пределах между 25 и 30 кг/м<sup>2</sup>. Человек, страдающий ожирением имеет ИМТ выше 30 кг/м<sup>2</sup>.

Ожирение часто ассоциируется с высокой коморбидностью и осложнениями, вызванными тупой травмой (Буланже и др. 1992). При обследовании пациентов, поступивших в травматологические центры I уровня, Чобан (1991), Невилл и др. (2004) отметили повышенную смертность среди пациентов с ожирением (по сравнению с теми, кто не страдал ожирением), не смотря на схожие тяжести травм. Чобан и др. (1991) наблюдали увеличение осложнений (преимущественно легочных) у страдающих ожирением, а также увеличение продолжительности пребывания в группе с ожирением. Невилл (2004), Буланже и др. (1992) отметили также, что большая часть пациентов, страдающих ожирением и поступивших в травматологические центры I уровня с тупыми травмами, использовали удерживающие системы в местах этих травм в ДТП.

Ожирение может повлиять на риск летального исхода в автомобильных столкновениях из-за наблюдаемого увеличения посттравматических осложнений и заболеваний. Исследуя базы данных Национальной системы выборки ДТП и Системы данных о безопасности транспортных средств в

ДТП (1993-2004), Виано (2008), Мок и др. (2002) обнаружили повышенный риск летального исхода среди людей, страдающих ожирением (с ИМТ больше 30 кг/м<sup>2</sup>) по сравнению с теми, кто ожирением не страдал. Тенденции травматизма при ожирении, однако, менее последовательны. При анализе совместимости вместе с данными Национальной системы выборки ДТП и Системы данных о безопасности транспортных средств в ДТП (1993-2004) Виано и др. (2008) отметили, что водители и пассажиры, страдающие ожирением, на примерно 57% больше подвержены риску получения травмы AIS3+ в автокатастрофах, чем те, кто ожирением не страдает. Мок и др. (2002) обнаружили незначительную тенденцию в увеличении показателя шкалы тяжести травмы (ШТТ) с повышением ИМТ, когда указанный анализ подразумевал контроль потенциально смешивающихся факторов, таких, как возраст, пол и использование УС.

Ожирение также может повлиять на распределение зон поражения тела в ДТП. При исследовании пациентов с тупыми травмами, поступивших в травматологические центры I уровня, Буланже (1992), Невилл и др. (2004) обратили внимание, что те, кто страдал ожирением, были больше подвержены повреждениям нижних конечностей, чем те, кто ожирением не страдал. Буланже и др. (1992) также отметили, что у пациентов с ожирением чаще наблюдаются переломы ребер, чем у пациентов без ожирения. При анализе данных Национальной системы выборки ДТП и Системы данных о безопасности транспортных средств в ДТП Мок и др. (2002) обнаружили, что повышенный ИМТ влияет на распространение травмы груди AIS 3+. Якобссон и др. (2005), исследуя собранную в Швеции базу данных Volvo о ДТП, отметили увеличение количества травм грудной клетки и нижних конечностей AIS 2+ среди страдающих ожирением водителей и пассажиров, но не обнаружили подобные тенденции в базах данных Национальной системы выборки ДТП и Системы данных о безопасности транспортных средств в ДТП (1998-2002).

Не смотря на огромное количество людей в нашем обществе, страдающих ожирением, и его посттравматические отклики, лишь небольшое внимание уделяется данной проблеме в рамках автомобильной безопасности. Настоящие американские Федеральные стандарты о безопасности моторных транспортных средств и Европейская программа оценки новых автомобилей при проведении краш-тестов полагаются на манекена массой примерно 76,2 кг и ростом примерно 173 см. Это соответствует ИМТ, равному приблизительно 25,5 кг/м<sup>2</sup> (Мэки и др. 1994). Более того, вычислить (геометрически) поведение манекена-мужчины 50-го перцентиля для получения механического отклика водителя и пассажиров с ожирением при столкновении не представляется возможным. Распределение массы у человека, страдающего ожирением, отличается от того, кто ожирением не страдает (Фрис и др. 2004). Физические отношения между водителем и пассажирами автомобиля, УС и элементами интерьера также меняются, если эти водители и пассажиры страдают ожирением. Например, изучая расположение водителя и расстояние между ним и элементами интерьера, Бове и др. (2006) обнаружили, что минимальная дистанция между рулевым колесом и водителем ТС уменьшается с увеличением ИМТ. Эти изменения во взаимоотношениях между водителем и пассажирами и элементами салона автомобиля оказывают влияние на контакты, силы и моменты времени в ДТП, что нельзя вычислить с помощью геометрического масштабирования поведений манекена.

Ввиду различий в распределении массы тела, толщины кожи и т.д., влияние ожирения на биомеханику водителя и пассажиров ТС в автокатастрофе недостаточно изучено. Хотя многие исследования включали изучение биомеханики водителей и пассажиров ТС с использованием суррогатов людей после смерти (Каллирис 1982, Форман и др. 2006), ни в одном из них не принимали участие суррогаты с целью изучения биомеханики водителей и пассажиров с ожирением в ДТП. Ожирение может изменить взаимодействие человека с УС автомобиля ввиду повышенной

глубины подкожных тканей между УС и костными структурами плеча и таза. Ожирение также может повлиять и на кинематику водителя и пассажиров транспортного средства из-за отличного от обычного взаимодействия с удерживающими системами автомобиля и распределения массы и веса. Данная работа имеет цель сравнить кинематику суррогатов умерших взрослых людей, страдающих и не страдающих ожирением, их взаимодействие с УС и полученные ими травмы в салазковых испытаниях на фронтальный удар.

Пять суррогатов приняли участие во фронтальных салазковых испытаниях с номинальным изменением скорости ( $\Delta V$ ) в 48 км/ч. Скорость изменения ускорения салазок (Рисунок 1) имела, своего рода, трапециевидную форму с номинальным значением ускорения опоры в 20g и продолжительностью движения 80 мс.

Первым этапом в изучении взаимодействия людей, страдающих ожирением, и УС было помещение суррогатов в среду, которая изолировала бы субъекты испытаний с ремнями безопасности и сиденьями от других факторов (например, контакта с подушкой безопасности или с коленным буфером). Таким образом, было решено использовать салазки с точками крепления сиденья и ремня безопасности, но без коленного буфера или подушки. Это было достигнуто с помощью салазок, представляющих сиденье заднего ряда седана 2004 года среднего размера, с устранением сиденья переднего ряда. Сиденье заднего ряда имело поддон из листового металла (усиленный для предотвращения деформаций), установленный над задней колесной нишей (не имеющее особой структуры, сделанной специально во избежание эффекта подныривания). Этот поддон был покрыт подушкой сиденья из пеноматериала.

УС состояла из предварительно натянутого, прогрессивного с ограничителем усилия натяжения трехточечного ремня безопасности. Характеристики данной УС были описаны Форманом и др. (2008).

Двое из имеющихся субъектов испытаний имели избыточную массу (ИМТ > 30). Трое ожирением не страдали (Таблица 1) и были выбраны с целью установить рост и антропометрические характеристики взрослого мужчины 50-го перцентиля (приблизительный рост 175 см и вес 75 кг). Все субъекты испытаний были проверены на ВИЧ и гепатиты А, В и С. Они также проходили скрининг на наличие патологий с помощью КТ. Объекты испытаний не были покрыты эмалью и до момента тестирования находились в замороженном состоянии. Непосредственно перед испытаниями легочные системы испытуемых находились под давлением (с сжатым воздухом), доведенным до номинального человеческого уровня путем трахеотомии (приблизительно 10 кПа, замеренных снаружи). Сердечно-сосудистая система субъектов испытаний также находилась под давлением (с 6% плазмозамещающим раствором Hetastarch) в примерно 10 кПа (замеренных снаружи). Полученные травмы были выявлены после вскрытия. Все процедуры проведенных с суррогатами испытаний и обработка их результатов были подтверждены институциональной контрольной комиссией Университета Вирджинии.

Испытуемые были помещены на заднее сиденье, насколько это возможно, в соответствии с расположением пассажира ТС, согласно Риду и др. (2005). В то время как для суррогатов среднего размера это не составило труда, позы страдающих ожирением были продиктованы, в основном, их поверхностными тканями и тем, как они располагались на сиденьях. Что касается последних, все усилия были сосредоточены на том, чтобы придать им максимально вертикальное сидячее положение, при этом таз должен был проворачиваться относительно вертикальной оси и быть максимально прижатым к спинке сиденья.

Ускорения испытуемых регистрировались с помощью трехосных акселерометров, установленных в нескольких местах тела. Помимо этого, ускорение среднего отдела позвоночника фиксировалось акселерометром, установленным номинально на восьмом грудном позвонке. Все данные были

собраны на частоте в 10 кГц и отфильтрованы в соответствии со спецификациями SAE J211.

Общая кинематика суррогатов была зафиксирована с помощью высокоскоростного видеозаписывающего устройства (1000 кадров в секунду). Траектории выбранных анатомических целей были затем оцифрованы в системе координат. Отслеживаемые точки включали голову, плечо (в качестве латеральной точки акромиона), бедро (большой вертел) и колено (центр вращения). Эти точки были снаружи отмечены фотомишенями, прикрепленными к коже (через одежду) хирургическими скобами.

Для измерения деформации грудных клеток суррогатов, вызванной нагрузкой от ремней безопасности, использовались нагрудные ленты. Эти ленты состоят из ряда тензодатчиков, прикрепленных к тонкой гибкой стальной полоске, покрытой защитным слоем резины. Сами тензодатчики чувствительны к изгибу полоски. Оборачивая нагрудную ленту вокруг объекта (например, тела испытуемого), можно путем интегрирования сигналов от каждого из тензодатчиков на полоске рассчитать внешний контур окружностей этого испытуемого (в любой момент времени).

Используемые нами нагрудные ленты (модель 4592, корпорация Роберт А. Дентон) имели 59 тензодатчиков (Форман и др. 2006). Одна нагрудная лента оборачивалась вокруг тела испытуемого, проходя примерно через самую боковую точку 4-го ребра («верхняя» нагрудная лента). В большей части испытаний вторая нагрудная лента была обернута вокруг тела испытуемого, проходя через самую боковую точку 8-го ребра («нижняя» грудная лента). Что касается самого крупного субъекта испытаний (тест 1335), длина нагрудной ленты не позволила бы обхватить его грудную клетку. Поэтому специально для данного суррогата обе нагрудные ленты были использованы для верхней части грудной клетки (одна спереди, другая сзади), а данные с датчиков этих лент в последующем были объединены для расчета единого замкнутого контура верхней части грудной клетки. Анализ



данных, полученных от нагрудных лент, проводился в соответствии с методологией, описанной Микалсоном и др. (2008). Сжатие грудной клетки (определяемое как перемещение передней части грудной клетки в направлении к задней ее части) рассчитывалось путем нахождения разницы в длине хорды, соединяющей переднюю и заднюю грудные ленты. Сжатие грудной клетки рассчитывалось в средней сагиттальной плоскости (т.е. в средней части грудины), однако, максимальная степень ее сжатия имела место быть где-то сбоку от средней сагиттальной плоскости. Так что для ее расчета во внимание были взяты разные длины хорд, дабы найти максимальное значение сжатия. Это значение выражается в мм и процентах от начальной глубины грудной клетки.

Одной из проблем, связанных с удержанием испытуемых с избыточным весом ремнем безопасности с ограничителем усилия натяжения, является количество ремня, которое позволяет вытянуть натяжитель. Для исследования этой проблемы длина вытягиваемого ремня была измерена с помощью высокоскоростного фотоприемника. На сам ремень была нанесена шкала с шагом в 1,5 см. Фотоприемник фиксировал движение ремня каждый раз, как он проходила контрольную точку.

УС, используемая в испытаниях, включала натяжитель ремня с прогрессивным ограничителем усилия натяжения торсионного типа. Такое устройство ограничивает движения ремня путем насаживания элемента на шпindel натяжителя, когда крутящий момент на шпинделе превышает определенный порог. Теоретически, ограничение усилия натяжения должно быть равно ограничению крутящего момента в натяжителе, деленному на радиус длины внешнего слоя ремня, обернутого вокруг шпинделя («плечо момента»). Радиус этого плеча момента связан с тем, сколько раз ремень обернут вокруг шпинделя, и, соответственно, с количеством ремня, вытянутого натяжителем. В результате, его количество в натяжителе может повлиять на ограничение усилия на верхнем плечевом ремне во время испытаний. Для исследования этого вопроса было измерено количество

ремня, обмотанного вокруг натяжителя, когда испытуемые находились в своих исходных позициях с УС. Дополнительное количество ремня, намотанного на натяжитель преднатяжителем, было затем зафиксировано с помощью высокоскоростного фотоприемника.

Датчики натяжения ремня для записи сил в ремнях безопасности были установлены в трех местах: в ремне между плечом и втягивающим устройством (верхний плечевой ремень), во внутренней части плечевого ремня между субъектом и язычком ремня для пряжки (нижний плечевой ремень) и снаружи поясного ремня между субъектом и пряжкой.

Результаты испытаний со страдающими ожирением суррогатами показали значительно большую нагрузку, порождаемую верхним и нижним плечевым ремнем, а также большую нагрузку, порождаемую поясным ремнем, чем испытания с суррогатами, не имеющими ожирения. Тучные испытуемые имели среднее ( $\pm$  стандартное отклонение) значение нагрузки от верхнего плечевого ремня в  $6,6 \pm 0,2$  kN, а не страдающие ожирением  $4,4 \pm 0,1$  kN. Помимо этого, тучные испытуемые имели значительно меньшее количество ремня в натяжителе до проведения испытания. После предварительного натяжения средняя длина ремня вокруг шпинделя натяжителя у страдающих ожирением испытуемых составляла  $47 \pm 9$  см по сравнению с  $81 \pm 9$  см у не страдающих им. Более того общее среднее значение длины ремня, данного натяжителем (после предварительного натяжения), примерно на 4,8 см превосходило длину у не тучных суррогатов.

Пациенты с ожирением продемонстрировали значительно меньшие результирующие пиковые ускорения в средней части позвоночника и 3-х миллисекундные ударные пиковые ускорения по сравнению с не тучными испытуемыми. Страдающие ожирением имели в среднем результирующее ударное ускорение в средней части позвоночника в  $25 \pm 1.8$  g за 3 мс по сравнению с  $35 \pm 4.3$  g у не страдающих ожирением.

Испытуемые с ожирением демонстрировали тенденцию к увеличению максимального уровня сжатия верхней части грудной клетки ( $120 \pm 21$  мм по

сравнению с  $68 \pm 29$  мм), которое приближалось к порогу значимости ( $p=0,06$ ). Также у тучных суррогатов наблюдалась тенденция к увеличению максимальной нормализованной степени сжатия грудной клетки ( $44 \pm 10\%$  от начальной глубины клетки по сравнению с  $29 \pm 9\%$ ). Нижняя нагрудная лента у одного из не страдающих ожирением испытуемых оказалась неисправной, поэтому данные по ней доступны только в отношении одного тучного суррогата и двух не тучных. Не смотря на то, что статистическая значимость не была исследована, страдающий ожирением испытуемый продемонстрировал большую максимальную компрессию нижней части грудной клетки (58 мм, что составило 24% от начальной глубины клетки), чем другие два, не страдающие ожирением (в среднем  $29 \pm 11$  мм, что составило  $12 \pm 4\%$ ).

Испытуемые с ожирением демонстрировали значительно большее продольное движение таза (в среднем  $49.1 \pm 6.4$  см) и головы ( $74 \pm 9.3$  см) по сравнению с не страдающими ожирением испытуемыми ( $18 \pm 4.3$  см и  $58 \pm 4.3$  см, соответственно). Как показано на фотографиях/схемах 5,6 и 7, тучные суррогаты имели намного меньшее продольное вращение туловища. Из-за ограничений в движениях таза туловища не страдающих ожирением суррогатов вращались продольно в зависимости от выхода ремня из натяжителя. В противоположность не тучным испытуемым траектории страдающих ожирением представляли собой преимущественно прямолинейное движение. И когда их тазы двигались вперед, туловища вращались в обратном направлении. Этого движения вперед было предостаточно, для того чтобы испытуемые с ожирением слетали с сиденья, а в конечном счете оказывались на полу.

Современные удерживающие системы автомобиля учитывают естественно прочные структуры человеческого тела при прогнозировании безопасного замедления движений водителя и пассажиров в момент столкновения. Поясной ремень имеет цель удерживать относительно прочную структуру передних верхних подвздошных костей таза (ASIS);

плечевой ремень – ключицы и верхней части ребер. У не страдающих ожирением испытуемых поясной ремень оказывал нагрузку, преимущественно, на таз (ускользание его в брюшную полость отмечено было только в тесте 1386). Ограниченное движение таза плюс выход плечевого ремня из натяжителя привели к продольному движению туловища. Это продольное вращение туловища имеет тенденцию в положительном плане концентрировать нагрузку плечевого ремня на ключице и верхней части ребер. Траектории не страдающих ожирением испытуемых на фотографиях 5 и 6 иллюстрируют кинематическую последовательность, получаемую контролем движений водителя и пассажиров с помощью удерживающих систем. В удержании таза заметную роль играют устранение провисания ремня преднатяжителем и сама прочная структура подвздошных костей, а туловище и голова могут вращаться продольно прогнозируемым образом, так как ограничитель усилия натяжения поглощает часть энергии.

Напротив, получается, что удерживающие системы не могли взаимодействовать с целевыми костными структурами суррогатов с ожирением. Последние демонстрировали значительное продольное движение таза, что может свидетельствовать об ограниченном контакте таза с поясным ремнем. Это значительное движение вперед таза привело также к вращению назад верхних частей туловища испытуемых с ожирением, что, вероятно, вылилось в повышенную нагрузку ремня на нижнюю часть грудной клетки и живот. Ограниченный контроль движений страдающих ожирением испытуемых отмечен относительно прямыми траекториями на рисунке 7, а также неспособностью систем удерживать субъекты в сидячем положении на подушках сидений. Вместо контролируемых удержания таза и продольного вращения туловища, как это было с суррогатами, не страдающими ожирением, те, что страдали ожирением, просто двигались вперед до тех пор, пока не останавливались.

Испытуемые с ожирением, помимо вышесказанного, демонстрировали значительно большее движение колен вперед, чем без ожирения. Хотя это

продольное движение колен (и, следовательно, таза), вероятно, было бы сокращено наличием коленного буфера или впереди стоящим сиденьем, как бы там ни было, это свидетельствует о некоторых проблемах, с которыми сталкиваются люди с ожирением. Увеличенная масса субъекта, повышенное продольное движение колен и предположительно недостаточное удержание таза поясным ремнем – все это приводит к увеличению сил, воздействующих на нижние конечности, как результат взаимодействия с сиденьем переднего ряда или коленным буфером. Это соответствует ряду исследований, где рассматривалась связь между ожирением и повышенным риском получения травм нижних конечностей в автокатастрофах (например, Якобссон и др. 2005).

Исследование, представленное здесь, является первым шагом в изучении основополагающего влияния ожирения на кинематику водителя и пассажиров, взаимодействие с удерживающими системами и травмы в ДТП. Однако стоит обратить внимание на следующее. Во-первых, используемые в тестах типичные удерживающие структуры (например, подушки безопасности, коленные буферы или спинка переднего сиденья для пассажира заднего ряда) могут повлиять на кинематику водителя и пассажиров, взаимодействие с удерживающими системами и полученные травмы. Как было указано выше, наличие коленного буфера или спинки переднего сиденья, вероятно, сокращает продольное движение таза страдающего ожирением водителя или пассажира, но может привести к травмам ног. Подобно этому наличие подушки безопасности может уменьшить продольное движение головы и изгибание шеи, помогая тем самым избежать травм шеи, схожих с теми, что были исследованы в тестах 1386 и 1389 (например, Форман и др. 2006а). Подушка безопасности может также изменить кинематику верхней части туловища и распределение удерживающих сил на грудной клетке. Таким образом, будущие работы должны исследовать влияние ожирения на кинематику водителя и пассажиров и полученные травмы в более широком аспекте, принимая во

внимание все возможные удерживающие компоненты, используемые в современных автомобилях.

Во-вторых, представленные здесь испытания были направлены на конкретные удерживающие системы и один сценарий столкновения. Кинематика и полученные испытуемыми травмы, вероятно, зависят от особых характеристик сидений и удерживающих систем. Например, неизвестно, будет ли наблюдаться схожая кинематика водителя и пассажиров при использовании ковшеобразных сидений во избежание подныривания. Более того неизвестно, как ожирение повлияет на кинематику и полученные травмы при других сценариях столкновений (таких, как боковой удар или переворачивание) и при других скоростях. Так что, не смотря на то, что данная работа позволяет взглянуть на некоторые биомеханические проблемы, связанные с удержанием водителя и пассажиров, страдающих ожирением, дополнительные исследования для изучения его влияния на другие удерживающие системы и в других условиях просто необходимы.

## **Выводы по главе 1**

По результатам анализа, литературных источников, рассмотренных в главе 1, можно сделать следующие выводы:

1. Физиология человека оказывает влияние на тяжесть последствий столкновения, поэтому необходимо учитывать данный фактор при проектировании технологий испытания автомобилей на безопасность.
2. Форма тела и вес водителей оказывает влияние на тяжесть последствий столкновения, поэтому необходимо учитывать данный фактор при проектировании технологий испытания автомобилей на безопасность.
3. Виртуализации параметров человека при проектировании технологии испытания автомобилей на безопасность не может в полной мере обеспечить реалистичность происходящих процессов, поэтому данный метод может быть использован только в качестве метода экспресс проверки или в качестве метода предварительного моделирования.
4. Ожирение существенно влияет на удержание водителя и пассажиров в салоне автомобиля при испытании автомобиля на безопасность, поэтому необходимо учитывать данный фактор при проектировании технологий испытания автомобилей на безопасность.

## **Глава 2 Исследование физической сущности процессов, протекающих при испытании автомобилей на безопасность.**

### **2.1 Исследования преобразования энергии при испытании автомобилей на безопасность.**

Если автомобиль, двигающийся со скоростью 100 км/ч, врывается в бетонную стену, вся его кинетическая энергия в этот момент должна быть преобразована в другие формы энергии. Что это за формы, и может ли кто-нибудь описать процесс мгновенного рассеивания всей этой энергии при столкновении со стеной.

Передняя часть транспортного средства спроектирована таким образом, что ее потенциальные при столкновении деформации можно спрогнозировать. Большое количество кинетической энергии при деформации металла превращается в тепло. Однако структура автомобиля всегда обладает некоторой упругостью, поэтому здесь имеет место быть отдача.

В пик столкновения, когда скорость автомобиля фактически равна нулю (и соответственно, его кинетическая энергия тоже), он начинает действовать как сжимающаяся пружина, накапливая потенциальную энергию. На этапе отдачи, автомобиль снова набирает небольшое количество кинетической энергии, двигаясь на этот раз в обратном направлении. Так что, в целом, процесс состоит из кинетической энергии, превращающейся в тепло и сжатую потенциальную энергию, которые в последующем трансформируются снова в тепло, небольшое количество кинетической энергии и оставшихся в живых пассажиров.

Часть энергии также рассеивается с выделением фрикционной теплоты при волочении заблокированных колес и деформированного днища автомобиля. Конечно, все гораздо сложнее при лобовом столкновении двух автомобилей, но это уже другая история.



Кинетическую энергию можно рассчитать, умножив  $\frac{1}{2}$  массы объекта на его скорость в квадрате. Мой минивэн весит около 2 тонн. Двигаясь со скоростью 100 км/ч, он имеет примерно 770000 джоулей кинетической энергии. Если бы такое транспортное средство влетело в бетонную стену, оно бы деформировалось, передавая при этом часть своей кинетической энергии молекулам бетона. В зависимости от массы и опорной части стены при таком раскладе она могла бы подвинуться. Это, само собой, привело бы к потере адгезии молекулами бетона и образованию трещин и пыли. Оставшаяся энергия рассеялась бы в виде тепла и звука.

В описываемом ударе присутствуют три столкновения. Во-первых, автомобиль врезается в бетонную стену, затем тела находящихся в этом транспортном средстве ударяются о ремни и подушки безопасности, и наконец, их сердца соприкасаются с грудными клетками. Целью, как конструкторов автомобилей, так и проектировщиков дорог, является обеспечение достаточного поглощения энергии для того, чтобы пик столкновения был предельно мягким без разрыва аорты сердца и внутреннего кровотечения.

Современный безрамный автомобиль деформируется при ударе, поглощая много энергии. Более старые модели с рамной конструкцией кузова не так хороши в поглощении энергии. В современном автомобиле пассажир, пристегнутый ремнем безопасности, возможно, выдержит столкновение со стеной на скорости до 70 км/ч. И современные дороги имеют боковые ограждения как раз для того, чтобы предотвратить фронтальные столкновения с неподвижными объектами.

## **2.2 Изучение адаптивных структур ТС для лобовых столкновений**

Для того чтобы проектировать достаточно безопасные транспортные средства, необходимо учитывать полный спектр всевозможных вариантов столкновений. Поэтому автопроизводителями и некоторыми

исследовательскими институтами (Джустен 1993, Сейферт, NASS – Система национальной автомобильной выборки и FARS – Система отчета анализов случаев со смертельным исходом) была предложена обширная база данных параметров столкновений в автокатастрофах. К главным параметрам столкновений относятся скорость, тип препятствия, зона удара и его направление. При анализе фронтальных столкновений из баз данных можно выделить следующие моменты:

- Мы можем говорить о лобовых столкновениях, когда угол между направлением удара и продольной осью ТС варьируется между  $-30^\circ$  и  $+30^\circ$ ;
- Более 90% лобовых столкновений происходят на скоростях ниже 90 км/ч .
- Фронтальные столкновения случаются, преимущественно, с частичным перекрытием (перекрытие передней части ТС препятствием) в диапазоне от 30% до 100%;
- Количество всевозможных препятствий, с которыми сталкиваются ТС, не поддается счету; однако, они разбиты на три основные типа: жесткий барьер, деформируемый барьер и столб.

Оптимальное поведение при фронтальном ударе подразумевает рассеивание всей кинетической энергии передними структурами автомобиля. Чем больше деформируемая передняя часть автомобиля, тем больше вероятность достижения самого низкого уровня замедления пассажирской кабины. Какая бы ни была скорость, оптимальной считается ситуация, когда длина доступной деформации не включает деформацию пассажирского салона. Это говорит о том, что структура будущего автомобиля должна иметь особую жесткость, определяемую отношением энергии столкновения на определенной скорости и длиной доступной деформации. Чем больше скорость, тем больше уровень кинетической энергии, которая должна быть полностью рассеяна передними структурами. Отсюда и имеющая место быть деформация салона и отсутствие гарантии в сохранении необходимого для выживания пространства. Низким скоростям не нужна вся передняя

структура ТС, оказывающая чрезмерное воздействие на водителя и пассажиров. В случае с деформируемым барьером, сам барьер также поглощает часть энергии и увеличивает общую длину деформации. Так что для получения схожего уровня поглощения энергии структурами ТС скорость соударения автомобиля и деформируемого барьера должна быть выше, как в случае с столкновением о жесткую стену.

Жесткость препятствия оказывает огромное влияние на поведение автомобиля при столкновении. Прочными элементами передней структуры ТС, служащими для поглощения большого количества энергии при ударе, являются два лонжерона и двигатель. Например, обычный продольно деформируемый лонжерон может поглотить примерно 25% от общей энергии удара. Поведение передней структуры кузова автомобиля во многом зависит от типа препятствия:

- В случае с жестким барьером-препятствием типа стены здания, тяжелого ТС в первой части столкновения происходит деформация лонжеронов, во второй - двигатель в сборе движется назад, по направлению к салону, деформируя сначала перегородку отсека, а затем порог и крышу. Возникает интрузия.

- В случае с деформируемым барьером-препятствием типа другого легкового автомобиля нагрузка, как правило, не такая большая – сначала происходит деформация менее прочных элементов передней структуры, где наиболее прочные элементы (лонжероны) не деформируются в начале столкновения. Следовательно, передние структуры поглощают меньшее количество энергии, что может привести к возникновению интрузии и деформации салона. Не смотря на более быстрое замедление в данном случае, получаемое количество энергии остается таким же. Динамическая прочность структуры, то есть, ее сопротивление к быстрой трансформации кинетической энергии в энергию деформации уменьшается, что приводит к большему количеству потенциальных деформаций передней структуры, включая пассажирский салон.

Степень перекрытия передней части автомобиля препятствием определяет зону удара и то, как распределяется энергия. В случае с фронтальным ударом с полным перекрытием о жесткий плоский барьер оба лонжерона и двигатель поглощают наибольшее количество энергии. В первой части столкновения нагрузку получают лонжероны, а во второй части – двигатель в сборе. В случае с фронтальным ударом о тот же тип барьера, но с частичным перекрытием, составляющим менее 70%, вся передняя структура не будет задействована в поглощении энергии. Близлежащие структуры с меньшей прочностью по сравнению с лонжеронами есть: усилитель бампера, передняя маска, полу-крылья, крылья, капоты, передний бампер, балки и т.п. Исследования (Рэглэнд 1991) показали, что в столкновениях автомобиля с другим автомобилем степень поглощения энергии очень высока в первой части удара.

Объяснение таково, что прочность передней структуры распределена неравномерно и в момент удара с перекрытием менее 50% только один лонжерон поглощает энергию, в то время как другой с блоком двигателя остаются не задействованными. Удар о жесткий столб может быть рассмотрен как лобовое столкновение с жесткой стеной с малым перекрытием, где задействован только один лонжерон или двигатель. Изменение направления удара в случае с столкновением о плоский жесткий барьер (от  $0^\circ$  до  $30^\circ$ ) приводит к так называемому задеванию, когда автомобиль скользит по барьеру и меняет направление, продолжая свой путь.

Одним из условий при проектировке и создании автомобиля для достижения безопасности его водителя и пассажиров в лобовых столкновениях является отсутствие деформации пассажирской клетки и интрузии, вызываемой внешними объектами. Для этого необходимо, чтобы передняя часть кузова поглощала достаточно энергии. Поэтому зона деформации должна быть использована предельно эффективно, чтобы гарантировать желаемое замедление пассажирской клетки.

В лобовом столкновении с препятствием с полным перекрытием два передних лонжерона как трубчатые металлические структуры поглощают наибольшее количество энергии путем поступательной деформации. Нагрузка на переднюю часть ТС и степень поглощения энергии прочными структурами современных автомобилей показаны на Рисунке 3. Главная проблема таких структур в том, что в реальных столкновениях два передних лонжерона сминаются зачастую неравномерно, поэтому нагрузка на них не чисто осевая. Большая часть фронтальных столкновений происходит с частичным перекрытием, где задействован только один несущий нагрузку лонжерон или нагрузка направлена не по оси. Учитывая данные обстоятельства, предельно часто лонжероны сгибаются еще перед поглощением энергии через осевую деформацию.

Поэтому передняя структура современных автомобилей, имеющая цель поглощать нагрузку путем деформации, сталкивается с двумя главными проблемами:

- Один лонжерон должен уметь поглощать то же количество энергии, что и два лонжерона вместе;
- Одинаковое количество энергии должно быть поглощено как при лобовом столкновении в осевом направлении, так при лобовом столкновении под углом.

Эти проблемы не могут быть решены лишь увеличением прочности лонжеронов, так, чтобы каждый из них в отдельности смог бы поглотить всю энергию в столкновениях со смещением. Потому что, напротив, в столкновениях с полным перекрытием тот же лонжерон должен быть намного мягче, с меньшей прочностью, чтобы совместно с другим лонжероном поглотить то же количество энергии. Таким образом, высокопрочный лонжерон необходим во фронтальных столкновениях с нагрузкой под углом, так как он имеет более высокую сопротивляемость изгибу, что помогает преобразовать эту косонаправленную нагрузку в осевую. Тот же лонжерон, но более мягкий, необходим во фронтальных

столкновениях по оси, чтобы предотвратить возникновение слишком сильных сил замедления.

Для того чтобы поглотить всю кинетическую энергию, пропорциональную квадрату скорости, деформируемые структуры должны иметь особую прочность. Эта прочность выражена усредненной силой, умноженной на длину деформации, как результат поглощенной энергии. Для достижения умеренной степени травмирования водителя и пассажиров общее замедление должно быть предельно низким с использованием предельно большей зоны деформации без затрагивания пассажирской клетки.

Совершенная безопасность ТС требует тотального пересмотра конструктивных концептов, которые принимают во внимание тот факт, что огромное число столкновений происходит с частичным перекрытием и под не осевой нагрузкой. Реальные краш-тесты с частичным перекрытием показали, что традиционные продольные структуры не способны поглощать всю энергию передней частью автомобиля, не затрагивая пассажирской кабины. Очевидно, что в случае с полным перекрытием нет места интрузии в салон автомобиля, в то время как тот же автомобиль в испытаниях со смещенным ударом претерпевает деформации салона. Причина тому такова, что структура лонжеронов специально спроектирована для удовлетворения менее жестких требований обязательного испытания с полным перекрытием, в котором оба лонжерона претерпевают осевую нагрузку.

Повышенная защита от всевозможных вариантов столкновений может быть достигнута структурами, сочетающими лонжероны с улучшенной геометрией и имеющие более высокое сопротивление изгибу без повышенной осевой жесткости и прочную связь между их двумя передними концами.

Для того чтобы поглотить схожее количество энергии как при ударе со смещением, так с полным перекрытием, лонжерон, не сминающийся продольно силой удара, должен забрать часть нагрузки путем косо направленной деформации при ударе со смещением. Конструктивное

решение с распределением нагрузки между двумя лонжеронами в столкновениях со смещением кратко изложено в следующей секции нашей работы. В попытке разработать адаптивные системы с тросом и тягой был проведен ряд симуляций с полным перекрытием и 40% перекрытием под углом, а также симуляции с столкновением под 30% углами. Результаты таких симуляций продемонстрировали схожие показатели амплитуд замедления, что подтверждает наличие соединительных структур в передней части ТС, регистрирующих скорость изменения замедления, которая фактически зависит от перекрытия и направления удара. В таком случае нашей задачей будет определить оптимальную скорость замедления при столкновениях на различных скоростях и с минимальным риском получения водителем и пассажирами повреждений.

Вопрос создания адаптивной структуры, которая может изменять свою жесткость в момент удара, гарантируя при этом оптимальное поглощение энергии в различных сценариях столкновений, требует управления интенсивностью замедления, так как было доказано, что скорость замедления значительно влияет на риск получения травм находящимися в салоне людьми. Поэтому во время столкновения с полным перекрытием структура автомобиля должна порождать оптимальную скорость замедления пассажирской клетки, позволяя кинетической энергии быть полностью поглощенной.

Тяжесть ДТП зависит от относительной скорости столкновения и должна быть не зависима от других параметров автомобиля. Поглощаемая энергия должна зависеть от общей массы автомобиля и относительной скорости в момент столкновения, которая, в свою очередь, зависит от скорости соударения обоих автомобилей и их разницы в массах.

Из предыдущего исследования (8) известно, что традиционная кривая замедления с возрастающим уровнем замедления в начале с относительно мягкой структурой и в конце ДТП с довольно прочной, далека от оптимальной. Что касается столкновения на низкой скорости, идеальным

будет неменяющаяся скорость замедления, а в случае столкновения на высокой – высокая-низкая-высокая скорость изменения замедления. Активный контроль отклика структуры кузова необходим, для того чтобы минимизировать нагрузку удерживающими системами в столкновениях на низких скоростях и создать высокие-низкие-высокие скорости изменения замедления в столкновениях на высоких скоростях.

Исследователи (Уитман, Мотозава и Камей) изучили возможность уменьшения тяжести повреждений у водителя и пассажиров ТС без увеличения деформации кузова путем активного контроля замедления ТС в момент столкновения. Влияние изменения замедления на полученные участниками ДТП травмы было рассмотрено путем изменения кривой замедления определенного автомобиля и ее оптимизации с использованием метода анализа чувствительности, примененный по отношению к манекенам в симуляциях. Уитман представил метод для расчета общего индекса тяжести, основанный на критериях биомеханических повреждений. Интегрированная цифровая модель манекена и интерьер автомобиля были описаны с учетом соответствующих параметров удерживающих систем и самым низким общим индексом тяжести. В заключении стоит отметить, что скорость изменения замедления можно описать тремя фазами с гарантией минимального риска получения травм участниками ДТП:

Первоначальная фаза столкновения. Удар улавливается датчиками ремня и подушки безопасности. Для оптимального раскрытия подушки в момент столкновения прочность передней структуры автомобиля должна быть выше, для того чтобы породить скорость замедления выше порогового значения раскрытия подушки. Водитель и пассажиры еще не вступили в контакт с удерживающими системами, скорость замедления пассажирской клетки может быть очень высока без риска получения повреждений. Длина деформации кузова уменьшена в данной фазе.

Фаза раскрытия подушки. Движение водителя/пассажира ТС по отношению к автомобилю удерживается с помощью ремня и подушки



безопасности. Так как в реальных автокатастрофах водитель и пассажиры получают травмы, вызванные ударом об интерьер автомобиля (панель приборов, лобовое стекло или рулевое колесо) или относительно высокой скоростью удара о раскрытую подушку безопасности, желательно, чтобы на данном этапе относительная скорость водителя/пассажира/ТС была низкой и скорость пассажирской кабины – тоже низкой.

Фаза контакта водителя/пассажиров с компонентами ТС. На данном этапе происходит контакт между водителем/пассажирами ТС и подушкой безопасности и другими элементами автомобиля. Скорость замедления может быть высокой без какого-либо риска получения травм, так как водитель/пассажиры не претерпевают высокие нагрузки, ударяясь об элементы интерьера салона.

Оптимальная скорость замедления цифровой используемой Уитманом модели кабины ТС, движущегося на скорости 56 км/ч, при фронтальном ударе с полным перекрытием о жёсткий барьер показана на Рисунке 3а. Рисунок 3б иллюстрирует реальную нормальную скорость замедления в схожих обстоятельствах столкновения. В своем исследовании Уитман заключил, что общий индекс тяжести на 35% ниже при оптимальной скорости столкновения, чем при действительной.

Адаптивная передняя структура, предложенная в данной работе, включает следующие три концепта:

- А. Контроль столкновения
- Б. Распределение нагрузки между лонжеронами
- С. Полное преобразование удара в задевание препятствия

Реализация «высоких-низких-высоких» скоростей изменения замедления в ДТП имеет одну крупную проблему, заключающуюся в том, что структура ТС всегда начинает сгибаться или гнуться в ее слабых местах. Это означает, что даже если передняя структура кузова будет прочнее, а более слабые по прочности детали будут находиться ближе к перегородке отсека двигателя, то эти слабые детали всегда будут сгибаться первыми.

Таким образом, скорость изменения замедления с изначально максимальным значением может быть создана только путем инерционных эффектов или путем активного контроля жесткости энергопоглощающих элементов во время деформации. Мотазава и Камей создали структурный концепт, который способен генерировать высокую-низкую-высокую скорость изменения замедления. Основополагающей моделью (см. Рисунок) является полый элемент, выполняющий роль лонжерона. Он состоит из передней снимаемой по оси зоны и центральной сгибающейся зоны. Снимаемая по оси зона принимает всю нагрузку от удара, вызывая обычную деформацию изгиба, в то время как снимаемая зона имеет слегка изогнутую форму, для того чтобы стабилизировать направление деформации изгиба. Профиль сделан таким образом, что нагрузка на снимаемую по оси зону будет слегка меньше, чем максимальная нагрузка на сгибающуюся зону.

В первой фазе столкновения, вскоре после удара, снимаемая по оси зона начинает деформироваться из-за концентрации нагрузки (А). Осевая нагрузка остается постоянной до полной деформации этой зоны. Когда нагрузка достигнет сгибающейся зоны, начнется вторая фаза с быстрой деформацией структуры (Б). После того, как будет завершена деформация изгиба, начнется третья фаза (С) с повышением степени нагрузки на лонжероны, определяющей их деформацию.

В последующем были выделены следующие параметры, в значительной степени влияющие на скорость замедления пассажирской клетки и потенциально на риск получения травм при лобовом столкновении: зона и направление удара, скорость при столкновении и тип препятствия.

Кинетическая энергия автомобиля, движущегося с определенной скоростью, при столкновении одинакова в отношении одного и того же типа фронтального удара (с полным или частичным перекрытиями), и количество энергии, которое должно быть поглощено ТС/препятствием остается тем же. Так что важно, чтобы распределение нагрузки между энергопоглощающими

элементами передней части кузова ТС (лонжеронами) было предельно равным.

Концепт адаптивной передней структуры подразумевает передачу нагрузки от одного сминающегося лонжерона к другому, ненагруженному, для лучшего поглощения энергии и оптимизации замедления пассажирской кабины. Примером такой адаптивной системы, передающей нагрузку, является система, использующая два гидравлических цилиндра, прикрепленных к двум лонжеронам. Осевая деформация нагруженного лонжерона в данной системе приводит к движению поршня в стоящем рядом с этим лонжероном цилиндре и передаче гидравлической жидкости из этого цилиндра другому цилиндру, заставляя его поршень тоже двигаться (см. Рисунок). Реализация такого концепта повлечет увеличение массы ТС и его стоимости, а также потребует значительное пространство для его размещения.

ДТП с фронтальным столкновением двух автомобилей с малым перекрытием на высоких скоростях подвергает человека большому риску получения повреждений, во-первых, из-за относительно высокой скорости в момент соударения, а, во-вторых, из-за «подвешенного положения» ТС в момент контакта. Это явление имеет место быть даже в ДТП с малым перекрытием сбоку, которое вызывает внезапную смену передачи и вторжение в безопасную пассажирскую клетку.

Часть ТС, расположенная перед пассажирской клеткой, экстерьер удерживающих структур, определенных лонжеронами, – менее прочная, чем центральная часть структуры. Поэтому ДТП с автомобилем, имеющим малую способность поглощать энергию, может привести к деформации пассажирской клетки. Так что рассматриваемый нами концепт предполагал анализ преобразования фронтального удара с малым перекрытием в задевание препятствия, что приводит к значительному снижению замедления обоих автомобилей и потенциально к повышению безопасности пассажиров.

В момент «задевания» (быстрого легкого соударения) участвующие в ДТП автомобили никогда не достигнут одинаковых скоростей. Импульс силы  $S$  – это временный интеграл скорости воздействующей силы между соударяющимися ТС. Учитывая незначительное влияние внешних сил (сопротивление воздуху, сопротивление движению и т.д.), можно заметить, что импульс силы напрямую зависит от изменения скорости.

Столкновение с задеванием имеет два отличительных параметра:

- Угол контакта ( $\varphi$ ) между двумя продольными осями соударяющихся автомобилей. Этот угол определяется направлением вектора скорости к поверхности контакта.
- Значение сопротивления задеванию ( $\mu$ ), которое получается отношением касательной составляющей к нормальной составляющей импульса силы.

Честно говоря, уровень сопротивления задеванию – предельно значимый фактор для восстановления автомобиля после ДТП и, теоретически, он может варьироваться от 0 до бесконечности. Таблица 2 дает результаты сравнительного анализа столкновений с полным перекрытием и задеванием с учетом проведенных Уинклером (7) исследований фронтальных столкновений с 20% перекрытием с участием двух автомобилей по 2500 кг и 1000 кг, соответственно, каждый со скоростью 100 км/ч в момент столкновения,  $\mu=0,5$  и  $\varphi=160^\circ$ .

Факт того, что риск получения травм водителем и пассажирами в ДТП с задеванием намного меньше, чем в столкновениях с полным перекрытием, очевиден и пропорционален изменению скорости,  $\Delta v$ .

Зона деформации соединена с лонжеронами с помощью съемных соединителей, что облегчает ремонт автомобиля после ДТП.

Форма переднего лонжерона была разработана на базе фундаментальной модели, позволяющей контролировать частоту ДТП. В начале удара происходит деформация концевой части лонжерона, когда уровень замедления достигает высокой отметки, затем начинается

деформация изгибающейся зоны, скорость замедления снижается. После того как произошла осевая деформация лонжеронов, нагрузку начинает принимать на себя двигатель.

Гидравлические поршни, установленные впереди лонжеронов, отвечают за передачу нагрузки от нагруженного лонжерона к другому, менее нагруженному, с помощью гидравлической жидкости для лучшего поглощения энергии и оптимизации замедления пассажирской клетки. Место установки гидравлических поршней решает вопрос с необходимым пространством для реализации данного концепта.

Третья идея в новой адаптивной структуре реализована с помощью находящегося впереди колес отводящего устройства. Его цель – защищать зону перед колесами, которая сама по себе менее прочная, чем центральная часть кузова, с меньшей мощностью поглощения энергии, и которая представляет огромный риск деформации пассажирской клетки. Другая не менее важная роль этого устройства – преобразование фронтального столкновения с частичным перекрытием в столкновение со скольжением, что, в свою очередь, уменьшает риск получения травм водителем и пассажирами.

Разработка адаптивных передних структур, обеспечивающих оптимальную скорость замедления пассажирской клетки и гарантирующих столкновение с полным перекрытием в столкновение с задеванием, представляется возможным.

Вариантом такой структуры является предложенная здесь концепция, включающая три отличительные технически реализуемые составляющие. Ее огромным преимуществом является деформируемая съемная зона. Возможно, реализация такой структуры приведет к значительному увеличению стоимости автомобиля. Одним из недостатков структуры является уменьшенная зона деформации, что частично компенсируется гидравлической системой, обеспечивающей лучшее энергопоглощение.

Предложенная здесь структура определенно требует технической адаптации и оценки ее эффективности в сравнении с существующими передними структурами.

### **2.3 Конструкция системы поглощения энергии удара при столкновении**

Современные легковые автомобили обладают новейшими технологиями для уменьшения последствий аварии. Однако такие технологии не способны сократить количество смертей на дорогах. Вот доступная всем статистика:

а. Около 1,3 миллиона человек погибают каждый год в авариях на дорогах, в среднем 3287 смертей в день;

б. Помимо этого 20-50 миллионов получают травмы или становятся нетрудоспособными;

в. Аварии на дорогах стоят на 9-м месте в списке лидирующих причин смерти и насчитывают 2,2% от общего списка всех смертей.

Поэтому имеется необходимость в системе, способной эффективно поглощать энергию удара, передающуюся автомобилю в момент столкновения. За короткое время транспортное средство приобретает огромное количество энергии, из-за чего урон становится серьезным. Плюс пострадавшие.

Электроактивные жидкости – это жидкости, чьи характеристики, такие как вязкость и предел текучести, варьируются при изменении тока, электрического или магнитного полей. В зависимости от электрического или магнитного полей такие жидкости называются электрореологическими (ER) или магнитореологическими (MR). Последние используются во многих сферах жизни благодаря своим превосходным свойствам, таким, как низкая вязкость и высокий предел текучести. С момента обнаружения их Якобом Рабиновым в 1940-х годах в американском Национальном бюро стандартов

магнитореологические жидкости стали широко применяться для снижения сейсмического воздействия, в сфере строительства, для педалей и сцепления. В начале 2000 года была проделана огромная работа для внедрения магнитореологических амортизаторов в подвески автомобилей. Помимо этого ее целью являлась разработка математической модели MR демпферов для лучшего понимания зависимостей типа сила-перемещение, сила-скорость, напряжение сдвига-магнитное поле и других амортизационных характеристик. Значительная часть работы была также посвящена реологическим свойствам магнитореологических жидкостей. Некоторые разработчики также предложили умный бампер, который меняет свою жесткость перед возможным столкновением, используя гидравлическую систему и, таким образом, снижая воздействие. Были те, кто рассматривал применение магнитореологических демпферов в бамперах автомобилей для смягчения последствий фронтального удара. Они предложили внедрить MR демпфера в бамперы для поглощения энергии удара во время столкновения. Конечно, существует огромное количество возможностей для разработки системы, которая в будущем сможет уменьшить передаваемое воздействие.

В случае столкновения происходит резкое изменение количества движения, результатом чего является передача огромных сил транспортному средству. Настоящая работа повествует о новейшей четырехфазной системе поглощения удара, срабатывающей до того, как воздействие охватит кабину автомобиля при фронтальном столкновении, и уменьшающей риск смерти в ДТП. Предложенная система состоит из бампера, магнитореологического демпфера и поршня с цилиндром, на конце которого прикреплена срезная пластина. В узле поршень-цилиндр есть специальное отверстие для прохождения воздуха. Максимальная часть энергии удара поглощается MR демпферами.

В большей части аварий с фронтальным столкновением бампер сначала вступает в контакт с внешним телом. Поэтому первая фаза в данной системе – бампер. Другие ее элементы соединены с бампером с помощью штифта,

имеющего одну степень свободы. Рисунок 1 показывает САD модель в сборе, созданную с помощью системы параметрического проектирования Autodesk Inventor®. Данная модель изображает описываемую установку, расположенную под двигателем в передней части транспортного средства. Передний конец системы – это и есть бампер, а другой ее конец соединен с шасси автомобиля с помощью клина. Жесткость самого бампера меньше по сравнению с MR демпферами, и он терпит крушение первым в момент столкновения. Жесткость увеличивается от 1 до 4 фазы. После магнитореологического демпфера воздействие передается на пружину, а затем на срезную пластину. Все фазы детально разобраны ниже.

Фаза 1 Бампер: В указанной конструкции бампером является обычный традиционный бампер. Так как указанный элемент есть фаза 1, он испытывает нагрузку первым. Бампер спроектирован таким образом, что под воздействием нагрузки он разрушается, поглощая при этом энергию удара. Жесткость бампера минимальна по сравнению с последующими фазами, так что доля поглощаемой им энергии столкновения тоже минимальна. Материалы, используемые для создания бампера, должны, по сути, предотвращать передачу воздействия от одного конца к другому. В связи с этим, вместо металлов используются полимеры, такие, как полиэтилен высокой плотности или акрилонитрил бутадиен стирол (АБС-пластик). Процесс производства включает различные методы формовки.

Фаза 2 MR демпферы: Как правило, MR жидкости представляют собой суспензии из поддающихся намагничиванию частиц размером 1-10 микрометра, подвешенных в несущей жидкости. В качестве таких частиц обычно используется карбонильное железо в соотношении 20-40% к объему и минеральное или синтетическое масла в качестве несущей жидкости. Магнитореологические жидкости используются в высоких температурных диапазонах, так что температура вспышки несущей жидкости должна быть не низкой. Помимо этого она является средой для таких частиц, где они могут передвигаться, и не поддается намагничиванию в природе. Не



подвергаясь воздействию магнитного поля, поддающиеся намагничиванию частицы двигаются рандомно в несущей жидкости [Рис. 2 (а)], и реакция MR жидкостей схожа с реакцией Ньютоновских [15]. Когда магнитное поле обволакивает MR жидкости, частицы подвергаются намагничиванию и формируют магнитные диполи в направлении поля [Fig. 2(b)]. Это ограничивает движение жидкости, что, в свою очередь, ведет к временному повышению вязкости. Через доли секунды жидкость начинает вести себя как полутвердое вещество. Магнитореологические жидкости меняют свои характеристики в течение очень короткого периода времени.

Так как указанные выше частицы после становятся тяжелее, со временем они оседают на дне цилиндра, что ведет к коагуляции MR жидкости, сокращая ее жизненный цикл.

Для того чтобы повысить плавучесть частиц в несущей жидкости, требуются стабилизирующие компоненты и присадки. Такие добавки улучшают плавучесть частиц и помогают преодолеть гравитационное притяжение, дабы избежать их оседания. Но это не дает полноценного решения проблемы, и присадки экономически невыгодны. Поэтому некоторые исследователи предложили поддерживать магнитное поле для балансировки гравитационного притяжения. Таким способом мы сможем уменьшить стоимость магнитореологической жидкости в разы, так как добавки сами по себе дороги.

MR демпферы могут работать в следующих режимах: сжатие, сдвиг и клапанный режим. В режиме сдвига/смещения тонкий слой магнитореологической жидкости помещается между двумя парамагнетиками. Указанный режим используется там, где необходима низкая демпфирующая сила, например, в тормозной системе и сцеплениях. При таком режиме оба парамагнетика двигаются в противоположных направлениях, приводя к смещению жидкости между ними. В клапанном режиме MR жидкость перемещается из одного резервуара в другой под воздействием силы и магнитного поля. Такой режим широко используется в различных сферах.

Предложенная здесь конструкция магнитореологического демпфера также подразумевает использование клапанного режима.

Вязкость магнитореологической жидкости зависит от интенсивности магнитного поля. Коэффициент вязкости MR жидкости под воздействием внешнего магнитного поля можно вычислить непрямым методом, где в качестве исходной жидкости используется глицерин.

Стадия 3 Пружина: В указанной конструкции используется разомкнутая винтовая пружина. Пружина располагается поверх поршня в системе поршень-цилиндр для избежания прогиба. Различные параметры пружины могут быть рассчитаны с помощью уравнения кручения под нагрузкой. Пружина также играет роль буфера между MR демпфером и срезной пластиной.

Стадия 4 Срезная пластина в сборе: Срезная пластина состоит из круглой пластины, прикрепленной к цилиндру с определенным интервалом с помощью рычажков, как показано на Рисунке 3. Располагается она внутри цилиндра. Когда воздействующая сила достаточно велика для того, чтобы достичь 4 стадии, магнитореологический демпфер передает это воздействие поршню через пружину. Поршень двигается и пробивает срезную пластину. Воздействующая сила двигает рычажки между пластиной и цилиндром, так поглощается энергия. Погашенное воздействие напрямую зависит от количества рычажков и модуля сдвига материала. Так, в данной модели быть использована мягкая сталь с модулем упругости около 80 ГПа. Рисунок 3 иллюстрирует срезную пластину в сборе.

Конструкция MR амортизатора очень проста. Она схожа с обычным амортизатором. Разница здесь в поршне; поршень магнитореологического демпфера состоит из медной проволоки, которая может подвергаться намагничиванию с помощью тока. На рисунке 4 представлена концептуальная конструкция MR амортизатора. Под внешним воздействием поршень двигается, и в то же время ток проходит через медную катушку, создавая магнитное поле вокруг MR жидкости. Кабель питания от

контроллера проходит через поршень, соединяя винты. Это помогает варьировать магнитное поле в зависимости от внешнего воздействия.

## **2.4 Биомеханика испытания автомобилей**

Глубокие исследования, с применением современных систем защиты, в нашей стране проводились А. И. Рябчинским в условиях массовых полигонных испытаний с применением следующих разработанных методов:

- имитации фронтальных столкновении различных автомобилей с наездом на неподвижное препятствие и встречным столкновением (46 экспериментов при скорости столкновения 25...65 км/час). Методика испытаний изложена в работе [14];

- имитации фронтальных столкновений с использованием имитатора столкновения, в том числе имитации соударения водителя с рулевым управлением автомобиля (65 экспериментов при скорости столкновения 25...55 км/час), условия и методика испытаний изложены в работе [15];

- имитации фронтальных столкновений с использованием импульсного торможения движущегося автомобиля (14 экспериментов при скорости движения автомобиля в начальный момент торможения 15...27 км/час); методика и условия испытаний изложены в работе [16];

- имитации боковых столкновений легковых автомобилей с использованием подвижного препятствия (13 экспериментов при скорости столкновения 26...35 км/час); методика испытаний изложена в работе [14];

- имитации наездов (ударов) сзади на легковой автомобиль с использованием подвижного препятствия (10 экспериментов при скорости столкновения 27...54 км/час); методика испытаний изложена в работе [14];

- имитации опрокидываний различных типов автомобилей на уклоне с помощью наклонной тележки и специальной эстакады (28 экспериментов); методика и условия испытаний приведены в работах [2, 17, 18].

Таблица 1 – Основные параметры процесса имитации бокового столкновения легкового автомобиля

Наименование параметра	Номер эксперимента											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Масса автомобиля, кг	820	820	1590	1500	1500	1590	1050	940	960	1190	1190	1200
Особенности конструкции боковины автомобиля	стандарт	стандарт	стандарт	в дверях установлены брусья безопасности	стандарт	стандарт	стандарт	стандарт	стандарт	в передних дверях установлены брусья безопасности	в дверях установлены брусья безопасности	в дверях установлены брусья безопасности
Масса подвижного препятствия, кг	1525	1525	1525	1310	1545	1580	1555	1840	1355	1525	1525	1800
Скорость подвижного препятствия в момент удара, км/ч (м/с)	32,0 (8,61)	30,0 (8,23)	31,7 (9,8)	28,5 (7,91)	28,5 (7,91)	28,9 (8,02)	31,2 (8,66)	26,0 (7,20)	26,9 (7,47)	27,3 (7,58)	37,9 (9,75)	35,0 (8,88)
Угол удара, град	90	45	90	90	90	90	90	90	90	90	90	90
Место удара – боковина	правая	левая	правая	левая	правая	правая	правая	левая	правая	левая	правая	правая
Энергия тележки в момент удара, кгс·ч	3330	4650	5910	4000	4230	4910	5840	4900	4400	4290	6310	8510
Деформация автомобиля, мм												
а) остаточная	159	137	106	119	146	89	185	176	178	130	193	88
б) максимальная	256	209	-	168	179	135	196	196	203	-	-	-
в) упругая	97	22	-	40	23	46	11	12	25	-	-	-
Максимальная величина отскока автомобиль в процессе удара, мм	3800	6420	-	-	-	-	3300	6280	6220	3200	3800	4020

Продолжение таблицы 1

Наименование параметра	Номер эксперимента											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Длительность процесса удара, с												
а) первая фаза столкновения автомобиля	0,07	0,06	0,09	0,06	0,06	0,08	0,05	0,06	0,06	0,045	-	0,04
б) вторая фаза столкновения автомобиля	0,09	0,16	-	0,06	0,10	-	0,11	0,12	-	0,06	-	0,05
в) первая фаза столкновения человека	0,03	0,01	-	0,03	0,025	0,02	0,01	0,01	0,01	-	-	-
Размещение манекена	сидение водителя	передние сидение пассажира	сидение водителя	сидение водителя	сидение водителя	передние сидение пассажира	сидение водителя	передние сидение пассажира	-	заднее сидение слева	заднее сидение справа	заднее сидение справа, передние сидение пассажира
Перегрузка автомобиля												
а) максимальная	40	22	44	17	13	17	20	30	30	14	-	52
б) средняя экспериментальная	13,6	6	17,5	9	6,5	4	7,6	10	12,5	5	-	9,5
в) средняя расчетная	14,5	16,6	-	17	15,1	9,1	19	13,4	10,2	-	-	-
Максимальная перегрузка манекена (голова)	18	13	12,5	26,8	8	24	11	10	-	19	-	-
												Переднее сидение 72
												Заднее сидение 120

Таблица 2 – Основные параметры имитации удара сзади для легкового автомобиля

Наименование параметра	Номер эксперимента						
	1	2	3	4	5	6	7
Масса автомобиля, кг	1245	1065	1300	810	1590	1550	960
Масса подвижного препятствия, кг	1800	1540	1540	1525	1525	1525	1650
Скорость подвижного препятствия в момент удара, км/ч	35,5	34,6	30,5	33,3	33,8	29,4	27,3
Энергия тележки в момент удара, кгс·ч	8700	7260	5550	6650	6710	5070	4740
Деформация автомобиля, мм							
а) остаточная	245	245	225	224	90	122	128
б) максимальная	330	304	313	327	-	158	-
Максимальная величина отскока автомобиль в процессе удара, мм	-	-	-	4230	5140	-	2930
Размещение манекена	На переднем сидении						
Длительность процесса удара, с							
а) первая фаза столкновения автомобиля	0,06	0,075	0,07	-	0,04	0,06	0,07
б) вторая фаза столкновения автомобиля	0,05	0,01	0,017	-	0,012	0,07	-
в) первая фаза столкновения человека	-	-	-	0,01	-	0,053	-
Перегрузка автомобиля							
а) максимальная	6	22	18	-	34	17,5	-
б) средняя экспериментальная	3,4	6,9	10,7	-	12,3	7	-
в) средняя расчетная	14,7	15,2	11,5	13,1	-	21,3	-
Максимальная перегрузка манекена							
а) голова (горизонтальная)	25	26	9,5	-	5	26	-

Продолжение таблицы 2

Наименование параметра	Номер эксперимента						
	1	2	3	4	5	6	7
б) голова (вертикальная)	20	17	7,8	-	-	8	-
в) грудь (горизонтальная)	-	13	-	-	-	7,5	-
г) грудь (вертикальная)	-	12	-	-	-	-	-
Особенности конструкции переднего сиденья	стандартное	стандартное	С подголовником	стандартное	стандартное	С подголовником	С подголовником
Максимальный угол наклона назад спинки переднего сиденья после удара, град	32	72	42	50	47	12,5	-
Максимальный угол наклона назад головы манекена после удара относительно тазовой линии туловища, град	-	-	-	-	11,7	-	-

Таблица 3 – Основные параметры имитации процессе опрокидывания автотранспортных средств

Наименование параметра	Номер эксперимента						
	1	2	3	4	5	6	7
Тип автомобиля	Грузовой	Грузовой	Автобус средней вместимости	Автобус средней вместимости	Микроавтобус	Автобус большой вместимости	Легковой
Особенности конструкции автомобиля	Серийный	С кабиной повышенной прочности	Серийный	Серийный	Серийный	Серийный	С дверьми повышенной прочности и опптными дверными замками
Место испытаний	Уклон 28°с длиной наклонной части 28 м и травяным покрытием				Уклон 33°с длиной наклонной части 30 м и травяным покрытием		Горизонтальная бетонированная площадка
Опрокидывание	На уклоне с применением внешнего начального момента						С помощью наклонной платформы (скорость 7,5 км/ч), наезжающей на тормозное устройство (путь торможения 0,9 м)



Продолжение таблицы 3

Наименование параметра	Номер эксперимента						
	1	2	3	4	5	6	7
Размещение и число манекенов	Манекен-макет на месте водителя	Антропометрический манекен на месте водителя	Антропометрический манекен на первом пассажирском месте	3 манекена на месте водителя и на третьем и четвертом пассажирских местах	Манекен-макет на заднем сидении	22 манекена-макета на месте водителя и в салоне	2 антропометрический манекена на передних и задних сидениях
Используемое специальное ЗУС	-	Диагонально-поясной РБ	-	-	-	15 манекенов закреплены поясными РБ	Диагонально-поясные РБ
Число оборотов при опрокидывании	2,75	3	2,25	2,5	3,25	3,25	2
Максимальные перегрузки кузова по осям:							
а) продольной	8,4	-	-	4	5,5	5	-
б) поперечной	11,2	18,2	14	6	6	6	-
в) вертикальной	9,2	15,3	-	4,5	7	7,5	-
Максимальная угловая скорость, град/с	260	225	144	186	158	106	-
Возможность эвакуации пассажиров после ДТП	Через оконные проемы	Через двери и оконные проемы	Через оконные проемы		Через заднюю дверь	Через вентиляционные люки и оконные проемы	Через дверные проемы

Продолжение таблицы 3

Наименование параметра	Номер эксперимента						
	1	2	3	4	5	6	7
Эжектирование манекенов	Не эжектирован			«Водитель» – через оконный проем двери; «пассажиры» переместились за пределы салона через разрушенные боковые стенки	Через проем открывшейся задней двери; травмирован автобусом	7 манекенов через оконные проемы 3 из них травмированы автобусом	Не происходило; отмечено перемещение рук за пределы салона вследствие открытия дверей

Разработанная система ЧАДС для обеспечения пассивной безопасности дорожного движения позволила:

- выделить и определить взаимосвязь и роль отдельных подсистем (их элементов) системы обеспечения пассивной безопасности дорожного движения;

- определить цели функционирования отдельных подсистем СПБ;

- построить иерархическую структуру СПБ;

- определить основные критерии для оценки эффективности функционирования отдельных подсистем (элементов) СПБ (в т.ч. автомобилей), использование которых позволяет определить предпочтительные, технико-экономически обоснованные мероприятия по повышению безопасности дорожного движения (в т.ч. направление НИР и ОКР) и тем самым с большим народнохозяйственным эффектом использовать выделяемые для этого средства.

## Выводы по главе 2

Проведя анализ, представленной в главе 2 информации, можно сделать следующие выводы:

1. В пик столкновения, когда скорость автомобиля фактически равна нулю (и соответственно, его кинетическая энергия тоже), он начинает действовать как сжимающаяся пружина, накапливая потенциальную энергию. На этапе отдачи, автомобиль снова набирает небольшое количество кинетической энергии, двигаясь на этот раз в обратном направлении.
2. Одним из недостатков адаптивной структуры является уменьшенная зона деформации, что частично компенсируется гидравлической системой, обеспечивающей лучшее энергопоглощение. Предложенная здесь структура определенно требует технической адаптации и оценки ее эффективности в сравнении с существующими структурами.
3. Электроактивные жидкости – это жидкости, чьи характеристики, такие как вязкость и предел текучести, варьируются при изменении тока, электрического или магнитного полей, могут быть использованы в качестве рабочей среды в демпфирующих устройствах.
4. При проектировании технологий испытания автомобилей на безопасность необходимо учитывать биомеханику.

## **Глава 3 Конструкторско-технологическое обеспечение технологических процессов испытания автомобилей на безопасность.**

### **3.1 Аппаратное обеспечение технологий испытания автомобилей на безопасность.**

Основными аппаратными средствами, применяемыми для испытания автомобилей на безопасность, являются: ускоряющие, разгонные и замедляющие катапульты, катапульты двойного действия, а также прецизионные маятниковые тараны. Рассмотрим данные аппаратные комплексы подробнее.

На рисунке 1 показан общий вид замедляющей катапульты. В состав замедляющей системы входят:

- тележка, на которой устанавливается образец;
- программируемая гидравлическая система торможения;
- гидро-насосная станция;
- система управления;
- место оператора;
- освещение.

Принцип действия:

Фаза 1: Приближение: Тележка разгоняется до требуемой скорости и, двигаясь свободно, достигает точки касания замедляющего устройства.

Фаза 2: Синхронизация: В момент касания тележки и LVDT-датчика положения, установленного на конце гидравлического цилиндра, запускается алгоритм синхронизации скорости и положения цилиндра. Сигнал пропорциональный скорости тележки поступает на дифференциальный вход ПИД-регулятора. На второй его вход поступает сигнал пропорциональный скорости гидравлического цилиндра. Скорость цилиндра быстро сравнивается со скоростью тележки, и их касание происходит практически

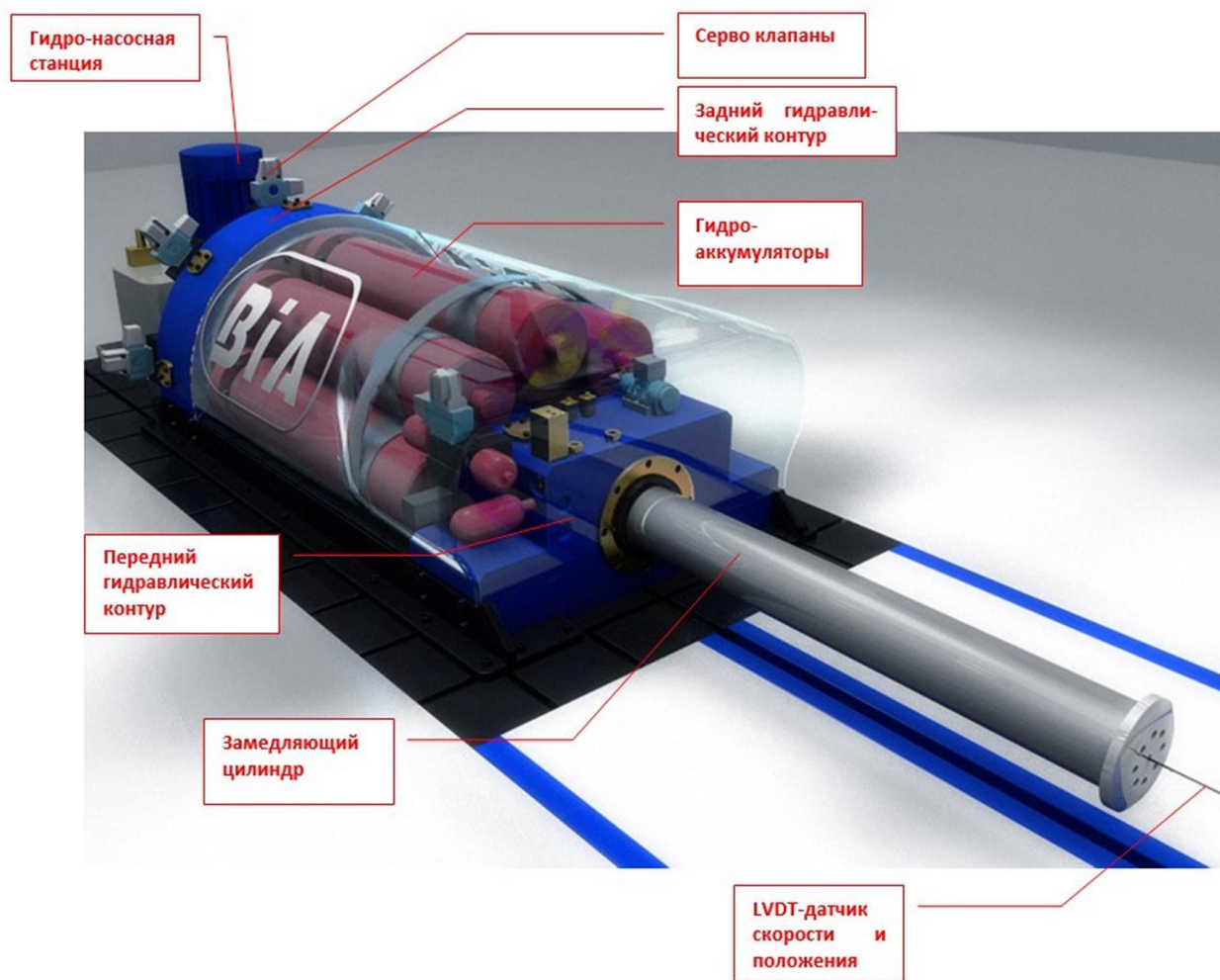


Рисунок 1 - Общий вид замедляющей катапульти

без удара, и при этом в заданной точке в лабораторной системе отсчета.

Фаза 3: Торможение: С момента контакта тележки и гидравлического цилиндра система управления запускает программу торможения в соответствии с требуемым профилем замедления.

Основная последовательность испытания остается неизменной. Однако, для каждого нового торможения пользователь может использовать профиль, записанный во время одного из предыдущих испытаний, или создать новый профиль торможения.

Редактор циклов позволяет создавать профили вручную или импортировать их из различных внешних форматов данных: CSV, Excel, RPC, общий вид интерфейса показан на рисунке 2.

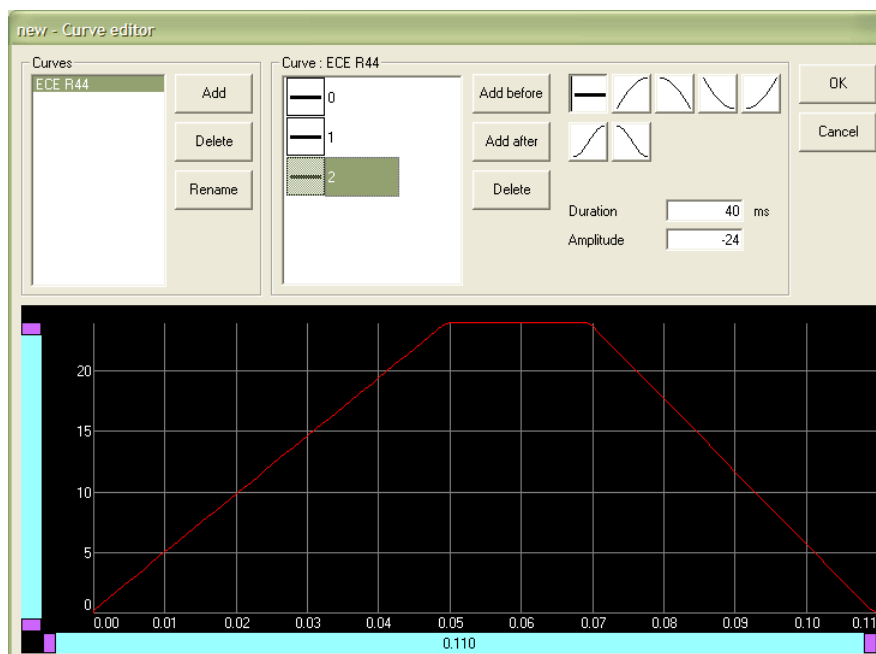


Рисунок 2 - Общий вид интерфейса

Основные технические характеристики замедляющей катапульты приведены ниже в таблице 4.

Таблица 4 - Основные технические характеристики замедляющей катапульты

Тормозное усилие, кН	300	1200	1800
Ход штока цилиндра, мм	1200	1800	1800

Следующим аппаратным средством, которое мы рассмотрим, является ускоряющая катапульта. Это высоконадежная новейшая система, разработанная с учетом существующих и будущих стандартов в испытаниях с разрушением и без разрушения объекта.

Инновационное цифровое управление серво-гидравлическим приводом в режиме реального времени обеспечивает высокую точность и повторяемость профилей ускорения.

Интерфейс ПО VIA позволяет быстро и легко выполнять испытания, которые прописаны в базе данных ПО и составлены с учетом действующих международных норм безопасности, а также конфигурировать новые

профили ускорения. На рисунке 3 показан общий вид ускоряющей катапульты.

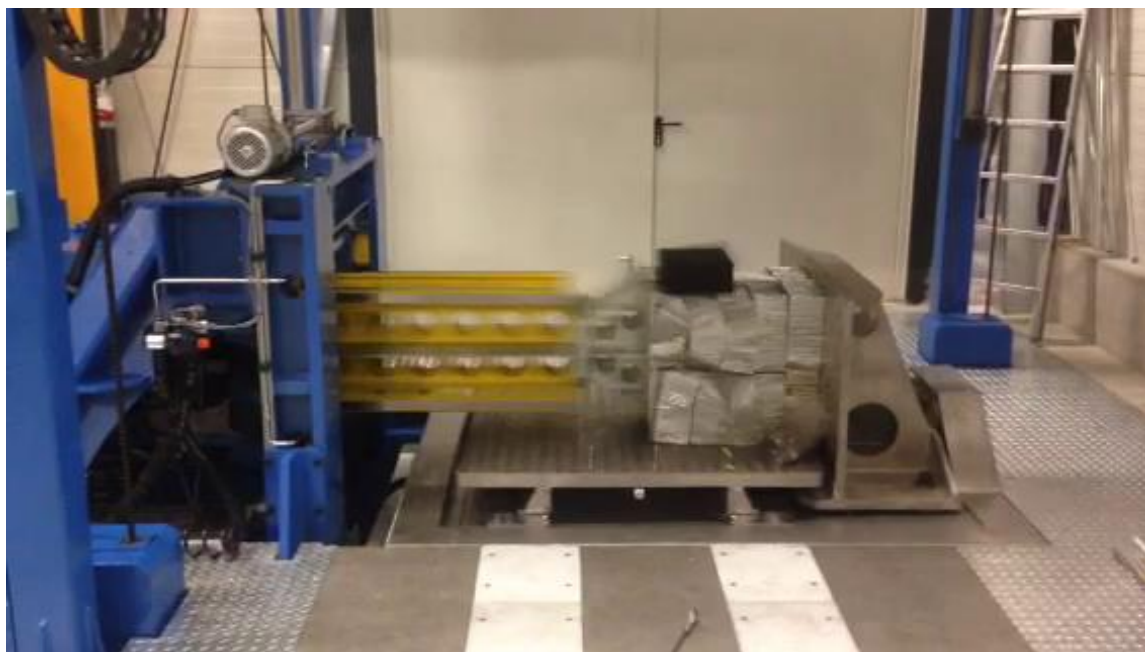


Рисунок 3 - Общий вид ускоряющей катапульты

Основные технические характеристики ускоряющей катапульты приведены ниже в таблице 5.

Таблица 5 - Основные технические характеристики замедляющей катапульты

Параметры катапульты	1 МН	4 МН
Номинальная сила, кН	1000	4000
Ход штока ускорителя (не более), мм	2000	2200
Максимальная скорость, км/ч	90	90
Пиковое ускорение, g	90	125
Интенсивность ускорения, g/мс	20	25
Максимальная полезная нагрузка, кг	2100	4000
Размеры тележки (ДхШ), мм	3110×1800	3500×2000

Следующим аппаратным средством, которое мы рассмотрим, является катапульта двойного действия, общий вид которой показан ниже на рисунке 4. Объект разгоняется и тормозится по программируемому профилю без разрушения.

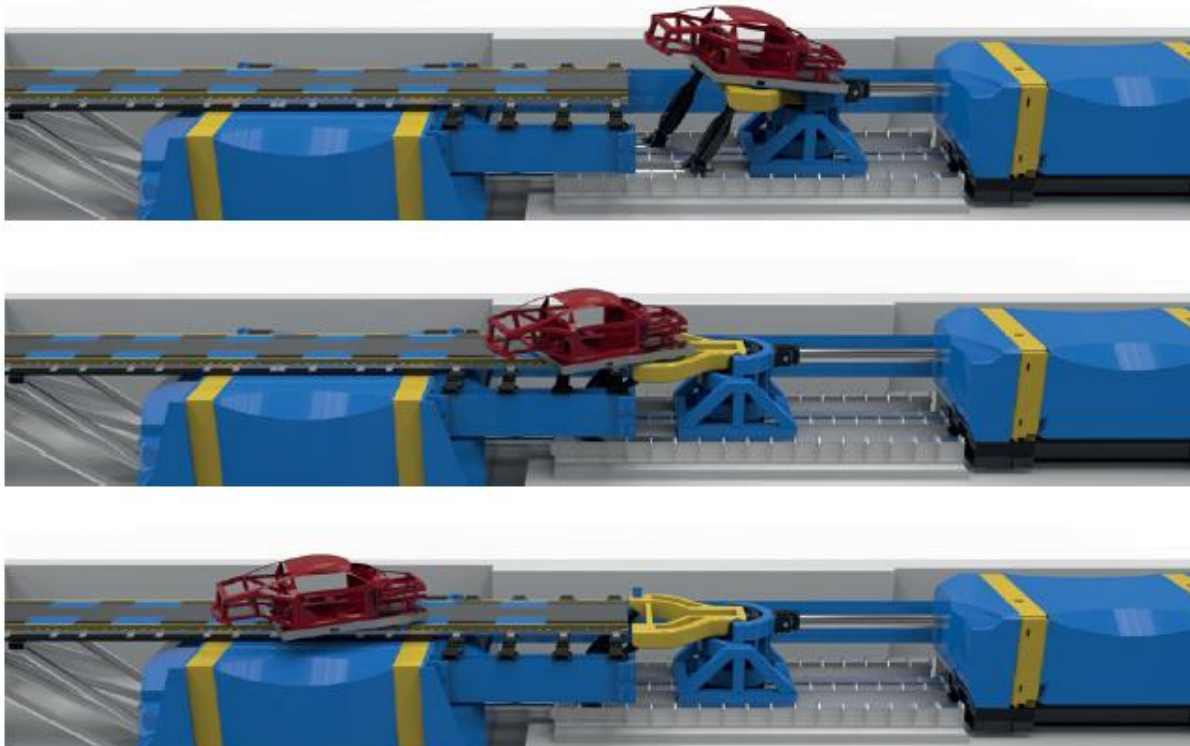


Рисунок 4 - Общий вид катапульты двойного действия

Основные технические характеристики катапульты двойного действия приведены ниже в таблице 6.

Таблица 6 - Основные технические характеристики катапульты двойного действия

Параметры движения	Величина параметра
Прямолинейное	-
Ход штока ускорителя (не более), мм	2000
Максимальная скорость, км/ч	90
Пиковое ускорение, g	90
Тангаж	-
Угол тангажа, градус	0-20
Угловое ускорение, градус/сек <sup>2</sup>	-
• с полной нагрузкой	28000
• без нагрузки	50000
Максимальная угловая скорость, градус/сек	300
Вертикальная скорость, м/с	8
Максимальное вертикальное ускорение, g	-
• с полной нагрузкой	50
• без нагрузки	70



## Продолжение таблицы 6

Параметры движения	Величина параметра
Рысканье:	-
Угол рысканья, градус	$\pm 15$
Угловое ускорение, градус/сек <sup>2</sup>	-
• с полной нагрузкой	9000
• без нагрузки	15000
Максимальная угловая скорость, градус/сек	500

Следующим аппаратным средством, которое мы рассмотрим, является прецизионный маятниковый таран. На рисунке 5 показан общий вид прецизионного маятникового тарана.



Рисунок 5 - Общий вид прецизионного маятникового тарана

Это устройство имитирует столкновение автомобиля с препятствием (спереди и сзади). Назначение испытания - проверка качества и эффективности бампера.

Конфигурация стенда:

- неподвижный автомобиль;

- колеса в положении для движения вперед;
- тормоза отпущены, нейтральная передача.

Особенностью конструкции маятника является переменная высота подвеса, при неизменном радиусе. В этом случае расчет эквивалентной массы не может привести к ошибке, поскольку производится лишь однажды при изготовлении. Основные технические характеристики катапульты двойного действия приведены ниже в таблице 7.

Таблица 7 - Основные технические характеристики прецизионного маятникового тарана

Рабочие характеристики	Диапазон
Скорость	0-20 км/ч
Положение маятника	$\pm 20^\circ$
Радиус	3500 мм, неизменяемый
Изменение высоты подвеса по вертикали	100-600 мм
Масса маятника	650-3500 кг

Для стабильной работы, приведенных выше систем, необходимо, чтобы рабочие режимы не выходили за пределы, указанные в таблицах 4-7.

### **3.2 Конструкторско-технологическое обеспечение испытаний автомобилей на безопасность.**

Важнейшим элементом оборудования для проведения испытаний автомобилей на безопасность, так называемых краш-тестов, является разгонная катапульта, показанная на рисунке 6. Данное устройство является сложным техническим объектом, обладающим значительной стоимостью. Для полноценного оборудования лаборатории для проведения такого рода испытаний необходимо несколько единиц данного устройства, что приводит к существенному увеличению стоимости оборудования лаборатории и себестоимости проводимых испытаний.

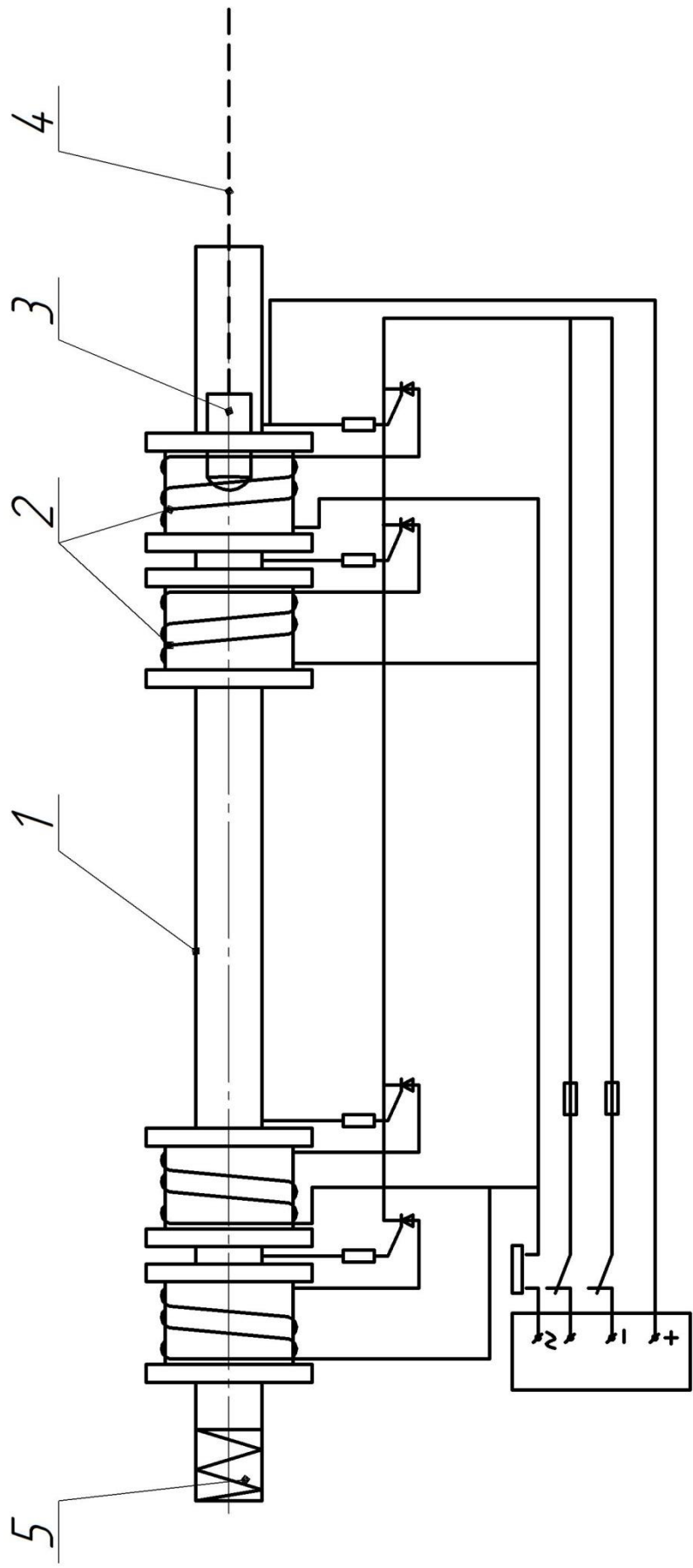


Рисунок 6 - Схема катапульты для разгона

Устройство данной катапульты, приведенное на рисунке 6, принципиально не очень сложно. Как правило, данная катапульта состоит из следующих основных элементов. Корпуса 1 в виде трубы, на наружной поверхности которого находятся электромагнитные разгонные блоки 2, которые разгоняют разгонное тело 3, которое находится внутри корпуса, до необходимой скорости. К разгонному телу 3 прикрепляют трос 4, который через систему блоков, соединён с захватом автомобиля. Также катапульта имеет демпфер 5 для плавной остановки разгонного тела 3.

С целью снижения себестоимости испытаний автомобилей на безопасность, предлагается применить специальную тросовую систему, которая позволяет завязать разгон автомобиля при испытаниях от одной катапульты. В ходе испытаний автомобилей на безопасность, необходимо, технически обеспечивать разгон автомобиля для фронтального и боковых ударов под различными углами. Для обеспечения данных движений от одного источника необходима последовательно работающая тросовая система, показанная на рисунке 7.

Данная тросовая система состоит из препятствий 1, направляющих 2 и 3, тросов 4, роликов 5,7,8, захвата автомобиля 6, распределителя тросов 9 и разгонной катапульты 10. Данная тросовая система работает следующим образом. Испытуемый автомобиль устанавливают на соответствующую направляющую 2 или 3, в зависимости от типа предполагаемого испытания и фиксируется захватом автомобиля 6. При этом данный захват 6 соединен тросом 4 с распределителем тросов 9, через систему шкивов и роликов 5,7,8. В исходном положении все тросы, в распределителе тросов, находятся в не натянутом состоянии. Оператор испытаний, берет конец нужного троса и соединяет его с разгонным телом катапульты 10. После этого оператор включает натяжитель троса, и выставляет на пульте управления катапульты 10 необходимые режимы испытаний. После этого система готова к работе. После запуска катапульты 10, разгонное тело катапульты, через присоединенный к нему трос 4, систему шкивов и роликов 5,7,8

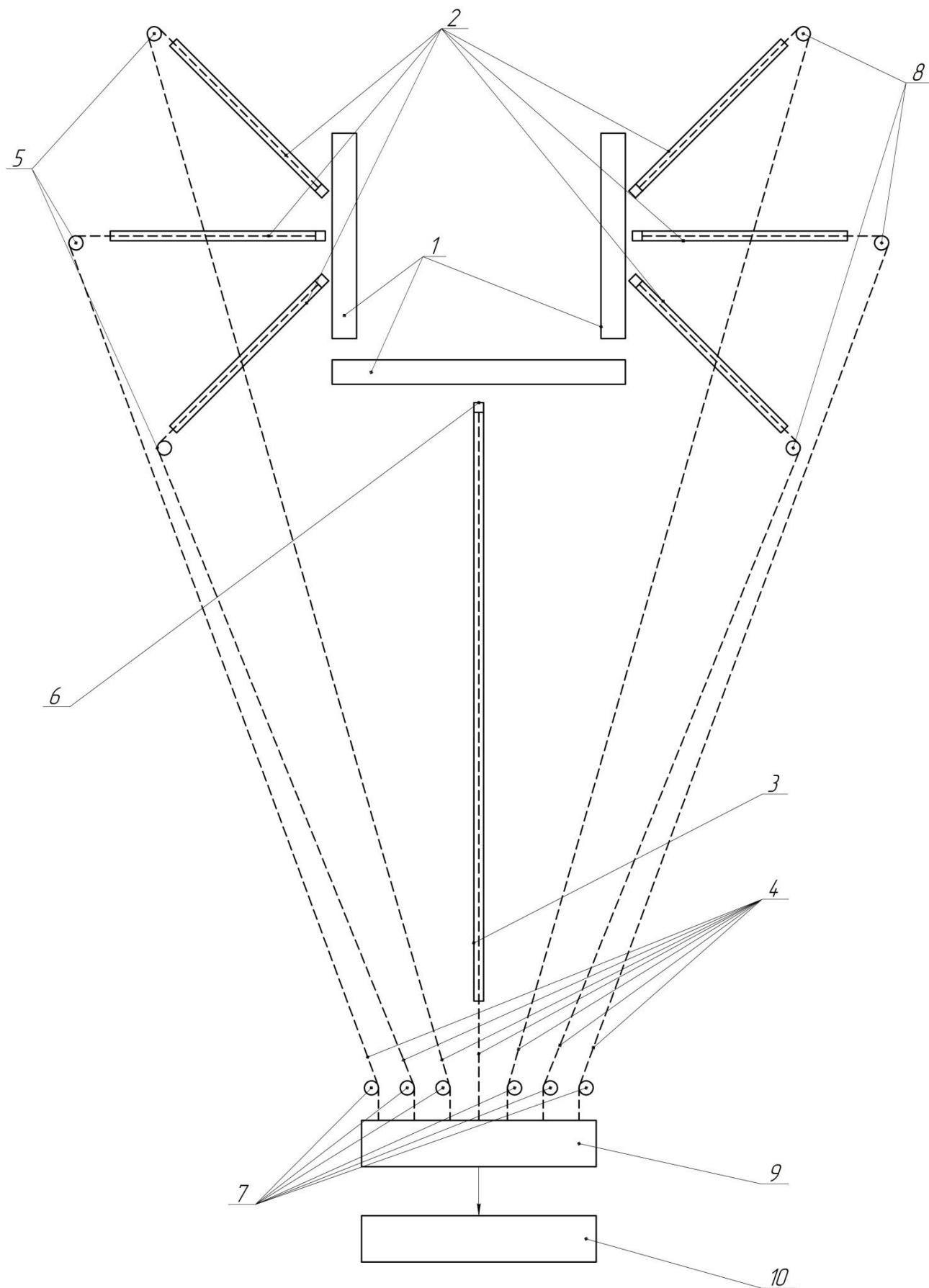


Рисунок 7 - Схема тросовой системы

сообщает необходимое движение захвату автомобиля 6, соединённому с автомобилем, который с заданными параметрами разгона, перемещается по направляющим 2 и 3, в зависимости от режима испытаний.

Автомобиль, достигнув заданные параметры разгона, согласно условиям испытаний ударяется в препятствие 1. Контрольно-измерительная аппаратура при этом фиксирует все необходимые параметры испытаний. После проведения испытаний, система приводится в исходное положение.

Как видно из сказанного выше, предлагаемая тросовая система, дает возможность обеспечивать различные условия испытания автомобиля на безопасность от одного источника движения, то есть от одной катапульты. Таким образом, себестоимость проведения испытания автомобиля на безопасность существенно снижается.

### **Выводы по главе 3**

Проведя анализ, представленной в главе 3 информации, можно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемая тросовая система, дает возможность обеспечивать различные условия испытания автомобиля на безопасность от одного источника движения, то есть от одной катапульты. Таким образом, себестоимость проведения испытания автомобиля на безопасность существенно снижается.
2. Предлагаемая тросовая система снижает время подготовки к испытаниям автомобиля на безопасность, повышая, таким образом, производительность процесса.
3. Электромагнитная катапульта, предлагаемая, в данной главе может, быть использована в качестве источника движения при проведении испытания автомобиля на безопасность.
4. Электромагнитная катапульта, предлагаемая в данной главе, позволяет повысить качество управления процессом проведения испытания автомобиля на безопасность.

## Заключение

Проведение испытаний автомобилей на безопасность является важнейшей задачей, позволяющей обеспечить сохранение жизни и здоровья людей, которые используют автомобили в повседневной жизни и деятельности. Технологии проведения испытаний автомобилей на безопасность и оценка критериев безопасности подробно рассмотрены в данной работе. Данные технологии требуют применение большого количества аппаратных средств, что делает данные технологии достаточно дорогими. Предложены прогрессивные технологии по совершенствованию процесса испытаний автомобилей на безопасность, позволяющие решить данную проблему. Проведен комплекс аналитических и литературных исследований, позволивших решить задачи работы и достигнуть поставленной цели.

Таким образом, в магистерской диссертации решены следующие задачи:

- проведен анализ перспективных технологических процессов испытания автомобилей на безопасность;
- проведен анализ физической сущности процессов, протекающих при испытании автомобилей на безопасность;
- разработана система управления и аппаратные средства для совершенствования технологических процессов испытания автомобилей на безопасность.

Тогда, цель магистерской диссертации, сформулированная следующим образом, в разделе «Введение», данной работы: совершенствование технологических процессов испытания автомобилей на безопасность путем повышение качества процессов испытаний, можно считать достигнутой.



## Список используемых источников

1. Адлер, Ю. П. Методология и практика планирования эксперимента в России : монография / Ю. П. Адлер, Ю. В. Грановский. - Москва : Изд. Дом МИСиС, 2016. - 182 с. - ISBN 978-5-87623-990-7.
2. Барахтанов Л.В., Серeda П.В., Тумасов А.В., Шашкина К.М. Комплексная методика оценки свойств активной безопасности легких коммерческих автомобилей по результатам имитационного моделирования и данных дорожных испытаний // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6.;
3. Оценка параметров устойчивости легких коммерческих автомобилей по результатам расчетных и экспериментальных исследований. Л.В. Барахтанов, д-р техн. наук, профессор кафедры «Автомобили и тракторы», Нижегородский государственный. <https://www.mmmm.by/ru/readers/112-arkhiv-nomerov1/1-2017-s/1068-1-2017-s-10>
4. Беляев В.П. Б447 Испытания автомобилей: учебное пособие. / В.П. Беляев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013 – 293 с.
5. Бернацкий, В. В. Исследование аэродинамики автомобиля : монография / В.В. Бернацкий, А.В. Острецов. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 256 с. — (Научная мысль). — DOI 10.12737/13329. - ISBN 978-5-16-016667-4.
6. Витковский С. Л. - Оценка тормозного пути автомобиля с антиблокировочной системой при дорожных испытаниях автомобиля. Современные технологии. Системный анализ. Моделирование - 2016г. №1(49).
7. С.А. Голь , В.С. Леушкин - Алгоритмическое и программное обеспечение планирования локальной траектории автономного робота на карте проходимости в реальном времени. Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета - 2015г. №4-2(54).

8. Демьянушко И.В., Миронова В.В. - Сертификационные испытания автомобильного колеса на удар. Грузовик: строительно-дорожные машины, автобус, троллейбус, трамвай (с приложением) - 2012г. №05
9. Зорин В.А., Ростамиан М., Лагерев И.А. - Оценка рисков легковых автомобилей с учётом условий эксплуатации. Научно-технический вестник Брянского государственного университета - 2020г. №1.
- 10.Иларионов В.А. Автотехническая экспертиза. -М.: Транспорт, 1989.-240с.
- 11.Испытания автомобилей и тракторов: практикум : учебное пособие / составитель А. М. Молодов. — пос. Караваяево : КГСХА, 2020. — 68 с.
- 12.Каюмов Б. А., Вохобов Р. А. - Внесение изменений в конструкцию автомобилей по результатам испытаний автомобилей. Бюллетень науки и практики - 2019г. №11.
- 13.Коршаков И.К. Автомобиль и пешеход: анализ механизма наезда. -М.: Транспорт, 1988.-144с
- 14.Курасов, В. С. Испытания автомобилей и тракторов : учебное пособие для вузов / В. С. Курасов, В. М. Погосян, В. В. Драгуленко. — Санкт-Петербург : Лань, 2020. — 84 с. — ISBN 978-5-8114-5223-1.
- 15.Методика оценки и расчета нормативов социально-экономического ущерба от ДТП (Р-03112199-0502-00). -М.: Трансконсалтинг, 2001.-43с.
- 16.Набоких, В. А. Датчики автомобильных электронных систем управления и диагностического оборудования : учебное пособие / В.А. Набоких. — Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. — 239 с. — (Среднее профессиональное образование). - ISBN 978-5-00091-596-7.
- 17.Правила ЕЭК ООН №11 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении замков и устройств крепления дверей».
- 18.Правила ЕЭК ООН №12 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты водителя от удара о систему рулевого управления».

19. Правила ЕЭК ООН №14 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении приспособления для крепления ремней безопасности на легковых автомобилях».
20. Правила ЕЭК ООН №16 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения ремней безопасности и удерживающих систем для взрослых пассажиров и водителей механических транспортных средств».
21. Правила ЕЭК ООН №17 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении прочности сидений и их крепления».
22. Правила ЕЭК ООН №21 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении их внутреннего оборудования»
23. Правила ЕЭК ООН №25 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения подголовников, вмонтированных или не вмонтированных в сиденья транспортных средств».
24. Правила ЕЭК ООН №26 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении их наружных выступов».
25. Правила ЕЭК ООН №32 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении поведения их конструкции в случае удара сзади».
26. Правила ЕЭК ООН №33 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении поведения их конструкции в случае лобового столкновения».
27. Правила ЕЭК ООН №34 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении предотвращения опасности возникновения пожара».

28. Правила ЕЭК ООН №42 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении установки на них передних и задних защитных устройств (бамперы т.п.).
29. Правила ЕЭК ООН №43 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения безопасных стекол и стекловых материалов».
30. Правила ЕЭК ООН №44 «Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения удерживающих устройств для детей, находящихся в автотранспортных средствах (детские удерживающие устройства)».
31. Правила ЕЭК ООН №94 Защита водителя и пассажиров в случае фронтального столкновения.
32. Правила ЕЭК ООН №95 Защита водителя и пассажиров в случае бокового столкновения.
33. Рябчинский А.И. Пассивная безопасность автомобиля.-М.: Машиностроение, 1983.-144с.
34. Рябчинский А.И. Механизм травмирования человека в автомобиле и биомеханика дорожно-транспортных происшествий. -Таллин: Валгус, 1979.-127с.
35. Рябчинский А.И., Иларионов В.А., Пчелин И.К., Кузнецов О.Г. Моделирование процесса наезда автомобиля на неподвижное препятствие. Сб. научных трудов НАМИ «Полигонные испытания, исследование и совершенствование автомобилей». -М.: 1987.-с.45-46.
36. Рябчинский А.И., Фотин Р.К., Стрельцова Т.Э. Основы сертификации автотранспортных средств/ Учебное пособие МАДИ. -М.,1994.-95с.
37. Рябчинский А.И. Международная регламентация безопасности конструкции транспортных средств/ Учебное пособие МАДИ. -М., 1989.-65с.

- 38.Рябчинский А.И., Кирнарский А.И. Экспериментальная оценка пассивной безопасности автомобилей при боковых столкновениях. Сб. науч. тр. МАДИ. -М.,-1990.- с.76-81.
- 39.Тышлер А.С., Кот М.К. - Проблемы технического регулирования пассивной безопасности транспортных средств. Актуальные проблемы правоведения - 2020г. №3
- 40.Халтурин, Д. В. Испытание автомобилей и тракторов : учебное пособие / Д. В. Халтурин, Н. И. Финченко, А. В. Давыдов. — Томск : ТГАСУ, 2017. — 172 с.
- 41.A study on safety evaluation indices of the full impact of car body. Ge Ru-hai, Liu Xing-rong. 2001. 22, №4.-с. 29-31.
- 42.Apparatus for protecting crew member of alitomobile when collision of side portion thereof occurs: Пат. 6206411 США, МПК7 В 60 R 21/22. Nissan Motor Co., Ltd, Sunabashiri Yukisada.
- 43.Fahrzeugsicherheit hot sich erheblich verbessert. AMZ: Auto, Mot., Zubehor, 2002.90. №5, с. 112-113,6.
- 44.Hack G. Испытание автомобилей на столкновения с неподвижным препятствием. Auto, Mot. and Sport.-199.-№ 14.-е. 36-42.
- 45.Korner J.: "A method for evaluating occupant protection by correlating accident data with laboratory". SAE Tech. Pap. Ser.-1989.-N 890747. с. 13-27.
- 46.Viano D.C.: "Evaluation of the Benefit of Energy Absorbing Material in Side Impact Protection" (Part 1, 11). Proc. 31 st Stapp Car Crash Conf., SAE Tech. Paper №872212-872213, 1987.
- 47.Vehicle collision damage reduction systems: Пат. 6463372 США, МПК7 В 60 R 22/48, D 60 R 22/46. Takata Corp., Yokota Keishi, Fuji Hiroaki, Aoki Hiroshi.
- 48.Verkehrusnfallforschung an der TUDresden. Automobiltechn Z.-1999.-104, №10.- с.745.

49. Weber Kathleen. Crash protection for child passengers. UMTRI Res. Rev. 2000. 31, №3, с.1-32.

50. Wessels G.F., Dalum J.T. Impact characterizing deployment control method for an automotive restraint system: Пат. 5964817 США, МПК6 B 60 R 21/00. №5964817.1