

СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НАТЯЖИТЕЛЕЙ РЕМНЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЯ

А.В. Гонсалес Астуа

andresastua@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Система пассивной безопасности автомобиля — это совокупность конструктивных и эксплуатационных свойств автомобиля, а также устройств и механизмов, предназначенных для защиты пассажиров от травм при аварии либо для снижения опасности их травмирования. Важнейшими компонентами системы внутренней пассивной безопасности современных автомобилей являются инерционные ремни безопасности с натяжителями, обеспечивающие ограничение перемещений людей внутри автомобиля и снижение действующих на них инерционных нагрузок, возникающих в процессе удара при дорожно-транспортных происшествиях. Приведены результаты экспериментальных исследований процессов функционирования натяжителей ремней безопасности автомобиля. На основе современного инструментария экспериментальной физики быстропротекающих процессов разработана и реализована методика определения кинематических параметров динамики функционирования исполнительных устройств систем внутренней пассивной безопасности автомобилей с использованием высокоскоростной видеосъемки. Выполнена инструментальная декомпозиция пиротехнических газогенераторов натяжителей ремней безопасности автомобиля, определены структурные компоновки всех узлов и деталей, их функциональное назначение и конструктивные особенности. С применением методов реверс-инжиниринга разработаны 3D-модели типовых натяжителей с пиротехническими газогенераторами. Проведенные исследования и полученные результаты являются важной и необходимой составляющей создания научно-технической и экспериментальной базы для разработки и производства высокотехнологичных систем внутренней пассивной безопасности автомобиля в России

Ключевые слова

Пассивная безопасность, натяжитель ремня безопасности, газогенератор, высокоскоростная съемка, инструментальная декомпозиция

Поступила 01.11.2023

Принята 01.12.2023

© Автор(ы), 2024

Введение. Важными компонентами системы внутренней пассивной безопасности современных автомобилей [1–6] являются инерционные ремни безопасности (РБ), модули подушек безопасности (ПБ) и натяжители ремней безопасности (НРБ).

Ремни безопасности с натяжителями в совокупности с ПБ необходимы для снижения скорости перемещения водителя и пассажира до нуля практически без какого-либо ущерба для их здоровья. Удерживающие системы (РБ и НРБ) должны обеспечивать синхронное замедление водителя и пассажиров с автомобилем, а ограничители усилия на РБ и ПБ — перераспределение энергии удара при ДТП в процессе взаимодействия людей, находящихся в салоне автомобиля, с указанными элементами системы внутренней пассивной безопасности [7–10].

Многие годы РБ, производство и установка которых на автомобили начались в 1957 г., оставались единственным средством внутренней пассивной безопасности автомобиля, а многие страны, в том числе и Россия, приняли законы об обязательности РБ, так как статистика показала, что их использование спасло тысячи людей, которые могли бы погибнуть при ДТП. В 1980 г. впервые на сиденье переднего пассажира вместе с ПБ водителя появился НРБ, который автоматически втягивал свободную часть РБ при столкновении, обеспечивая тем самым плотное прилегание этого ремня к телу.

Типы РБ классифицируют по числу точек крепления ремня к кузову и каркасу салона автомобиля: поясные (двухточечные), трех-, четырех-, пяти- и шеститочечные. Большинство современных серийных автомобилей оборудовано трехточечными РБ. Они имеют V-образную конфигурацию, благодаря чему удается добиться оптимального распределения диссипации механической энергии инерционного движения при столкновении. Инерционные трехточечные РБ практически всегда имеют правильное натяжение. Тем не менее многолетний практический опыт использования РБ выявил ряд важных причин, проявляющихся при ДТП, которые обусловили появление пиротехнических механизмов для предварительного натяжения РБ, а именно НРБ.

Рассмотрим процесс функционирования РБ при наиболее травматичном ДТП — лобовом столкновении. Длительность несимметричного лобового столкновения автомобиля (с 40%-ным перекрытием водительской стороны) на скорости 56 км/ч с неподвижным препятствием не превышает 120...150 мс. По истечении этого времени автомобиль, отражаясь от препятствия, движется в обратном направлении с заносом в противоположную от препятствия сторону. Исследования показали, что на 15-й мс

от момента касания бампером препятствия водитель/пассажир еще перемещается в пространстве вместе с сиденьем автомобиля, а уже на 60-й мс, несмотря на пристегнутые РБ, ударяется головой о руль (водитель) или о переднюю панель (пассажир на переднем сиденье). Это связано с тем, что в натяжении РБ всегда имеется люфт, определяемый пятью причинами.

1. Постоянное наличие поддерживаемого складками одежды зазора между РБ и телом человека.

2. При замедлении инерционные РБ, установленные на большинстве современных автомобилей, активируются с небольшой задержкой механического характера.

3. Даже после блокировки катушки РБ инерционным механизмом ремень выходит из катушки из-за «катушечного эффекта» (уплотнение витков катушки при большой силе натяжения).

4. Под действием высоких нагрузок материал РБ вытягивается (деформация растяжения).

5. Тело человека подвержено демпфированию в процессе взаимодействия с РБ при ДТП. Именно поэтому сначала останавливается автомобиль и только потом, повиснув на РБ, останавливается тело человека (перегрузки замедления при столкновении достигают величины 100g, т. е. нагрузка на организм человека в 100 раз превышает его собственный вес).

Для компенсации первых трех причин люфта в натяжении РБ предусмотрены пиротехнические НРБ разного типа. Время начала их срабатывания составляет 1...2 мс от начала столкновения. К 10...12 мс РБ полностью натянуты и заблокированы, а человек прижат к сиденью. Наличие НРБ существенно снижает нагрузку на людей в салоне автомобиля.

Существуют три основных типа пиротехнических НРБ.

1. Катушечные, наматывающие РБ на катушку.
2. Замочные, подтягивающие вниз и назад замок РБ или его поясную ленту со стороны порога автомобиля.
3. Комбинированные.

С использованием НРБ заранее предотвращается перемещение водителя/пассажира вперед (относительно движения автомобиля). Натяжитель РБ позволяет сматывать часть РБ со скоростью порядка 10 мм/мс. Если сила, действующая на РБ, больше, чем сила натяжения РБ, то РБ больше не натягивается.

В зависимости от конструкции и принципа действия различают следующие основные механизмы НРБ: тросовый, шариковый, роторный, реечный, ленточный (используется крайне редко). Все они имеют исполнительный механизм, приводимый в действие продуктами горения пиротехни-

ческого состава на основе азотосодержащих композиций [11–14]. В зависимости от комплектации автомобиля НРБ могут устанавливаться или только на передние сиденья, или также и на задние.

Для проведения структурно-функционального анализа НРБ в настоящей работе использованы широко распространенные конструкции: тросовая и реечная. Тросовая конструкция относится к замочным натяжителям тросового типа, которые имеют малый ход поршня (70...100 мм), следовательно, и натягиваемого РБ. Поскольку при этом натягивается замок ремня, натягиваются сразу обе ветви РБ (поясная и грудная), что повышает эффективность системы. Тросовые НРБ, которыми обычно оснащаются сиденья водителя и переднего пассажира, конструктивно и технологически являются простыми и вполне надежными системами. Реечную конструкцию НРБ начали применять в последнее время вместо шариковых и роторных натяжителей. Отметим, что такая конструкция не позволяет выбрать люфт более 150...200 мм по длине ремня, поэтому ее чаще применяют в комбинированных системах, когда одновременно натягиваются и поясная, и грудная ленты РБ. Функционально (по структуре исполнительного механизма) реечный НРБ подобен тросовому, так как натяжение РБ в обоих случаях обеспечивается простым устройством, продукты горения пиротехнического состава которого перемещают поршень, расположенный внутри цилиндрической трубки и приводящий в движение либо трос, либо рейку. При этом трос связан непосредственно с замком РБ, а рейка вращает находящееся на оси катушки с РБ зубчатое колесо. Конструктивно реечный НРБ несколько сложнее тросового, так как содержит дополнительную кинематическую пару.

Для регистрации процесса функционирования НРБ и последующего анализа полученных оптических регистраций в натуральных экспериментах использован высокоинформативный инструментарий физики быстропротекающих процессов [15, 16] и специализированный стенд [17], основу которого составляет цифровая видеокамера Phantom V1210 [18, 19], позволяющая регистрировать быстропротекающие процессы в течение нескольких секунд со скоростью до 500 000...1 000 000 кадр/с.

Тросовый НРБ автомобиля. Для экспериментального исследования процесса функционирования тросового НРБ выбрана типовая серийная модель, используемая в автомобилях Ford Focus (рис. 1), функциональными элементами которой являются: замок РБ, трос, поворотная обойма, соединяющая посредством троса блок замка РБ и поршневую группу, приводимую в движение продуктами горения пиротехнического состава, расположенного в камере сгорания (КС) газогенератора (ГГ).

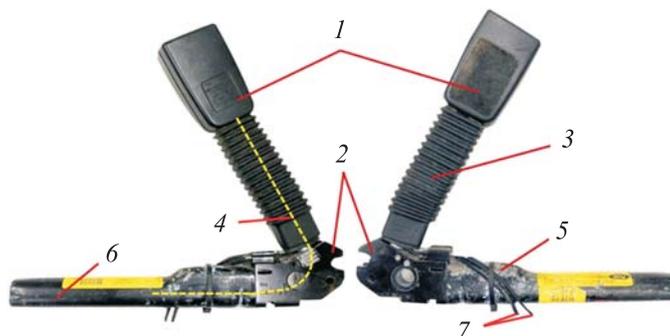


Рис. 1. Тросовый НРБ:

- 1 — замок РБ; 2 — поворотная обойма; 3 — гофрированный чехол;
 4 — трос; 5 — КС с пиротехническим составом; 6 — цилиндр с поршнем;
 7 — провода к воспламенительному устройству (ВУ)

Тросовый НРБ закреплен на рабочем столе экспериментального стенда с помощью вертикального щита (рис. 2) в положении, аналогичном позиционированию данного НРБ в кабине автомобиля. Для видеофиксации процесса функционирования тросового НРБ по краям гофрированной оболочки троса закреплены две реперные метки (РМ) на возможно максимальном расстоянии друг от друга (100 мм), т. е. на нижнем срезе замка РБ и на верхнем срезе поворотной обоймы. Параметры высокоскоростной съемки установлены в соответствии с предположительным временем процесса (до 10 мс): скорость съемки 10 000 кадр/с; период между кадрами (скважность) 100 мкс; экспозиция 10 мкс; разрешающая способность 1280×720 .

Высокоскоростная видеосъемка (см. рис. 2) зафиксировала перемещение замка РБ в течение малого времени t_p вниз к поворотной обойме, т. е. при наличии в замке закрепленного РБ последний будет втянут (укорочен) по длине примерно на $\Delta l_p \approx 75$ мм. На кинограмме также отчетливо фиксируется момент появления на срезе цилиндра головки троса, связанного с замком РБ.

По характерным фрагментам высокоскоростной видеосъемки с помощью специализированного программного обеспечения [18, 19] выявлено, что процесс натяжения (движение троса и, соответственно, замка РБ) занимает весьма малое время $t_p \approx 4,16$ мс, а полное время натяжения с учетом времени задержки воспламенения пиротехнического заряда составляет $t_{p(\max)} = t_p + 1,04 = 5,2$ мс.

Максимальная скорость натяжения РБ, фиксируемая на фрагментах видеосъемки по перемещению верхней РМ, составила $v_{pB} \approx 28$ м/с,

что соответствует началу процесса перемещения поршня и связанного с ним троса под действием на головку поршня максимально возможного давления продуктов горения пиротехнического состава. Далее, после полного сгорания состава и по мере перемещения поршня в цилиндре, сопровождающегося увеличением объема в запоршневом пространстве, происходит спад давления и соответствующее уменьшение скорости натяжения в финальной стадии процесса до $v_{РБ} \approx 20$ м/с.

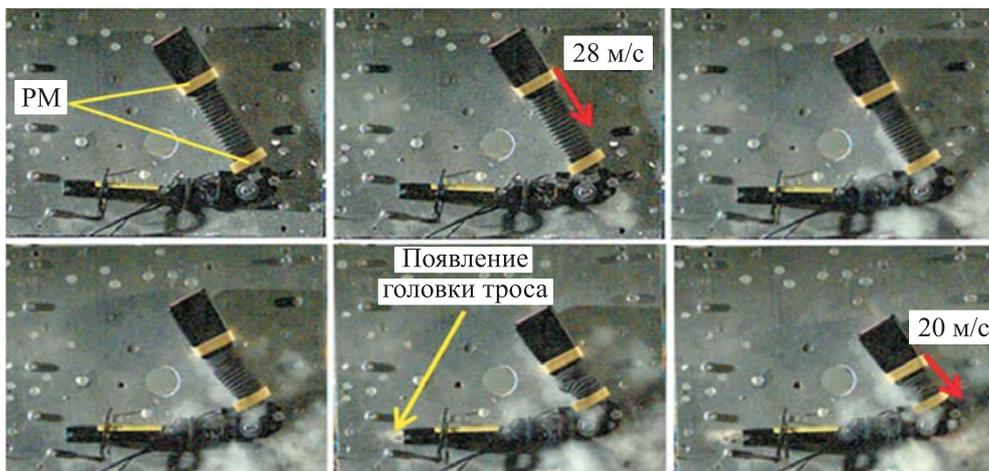


Рис. 2. Тросовый НРБ и характерные фрагменты высокоскоростной видеосъемки процесса его функционирования

В результате инструментальной декомпозиции тросового НРБ была детализирована структура его исполнительного механизма (рис. 3). На внешней цилиндрической поверхности поршня визуализируются продольные прорезы, в которых находятся стальные шарики диаметром 0,5 мм, практически исключая трение скольжения при перемещении поршня внутри цилиндрической части корпуса, а также его возможные перекося и заклинивание. Использование принципа шарикоподшипника в конструкции головки поршня необходимо для компенсации указанных негативных явлений, возникающих вследствие того, что положение пластиковой головки поршня внутри корпуса не имеет достаточной осевой устойчивости, так как шток поршня — это полая мягкая полиэтиленовая трубка, т. е. пара поршень–шток может быть подвержена заметным поперечным колебаниям относительно осевой линии.

Исполнительный механизм содержит контейнер с ГГ и трубкой, через которую проходит трос, а также поршень со штоком, обеспечивающий при движении под действием давления $P_{П}$ продуктов горения пиротехни-

ческого заряда натяжение троса и, соответственно, перемещение замка РБ, который в свою очередь натягивает грудную и поясную ветви РБ. Конструкция ГГ включает в себя пластиковую КС с пиротехническим составом и ВУ, состоящее из капсуля-воспламенителя (КВ) и пластмассовой втулки. На торцевой поверхности КС визуализируются отверстия для выхода продуктов горения пиротехнического состава, создающих давление в полости корпуса поршневого исполнительного механизма.

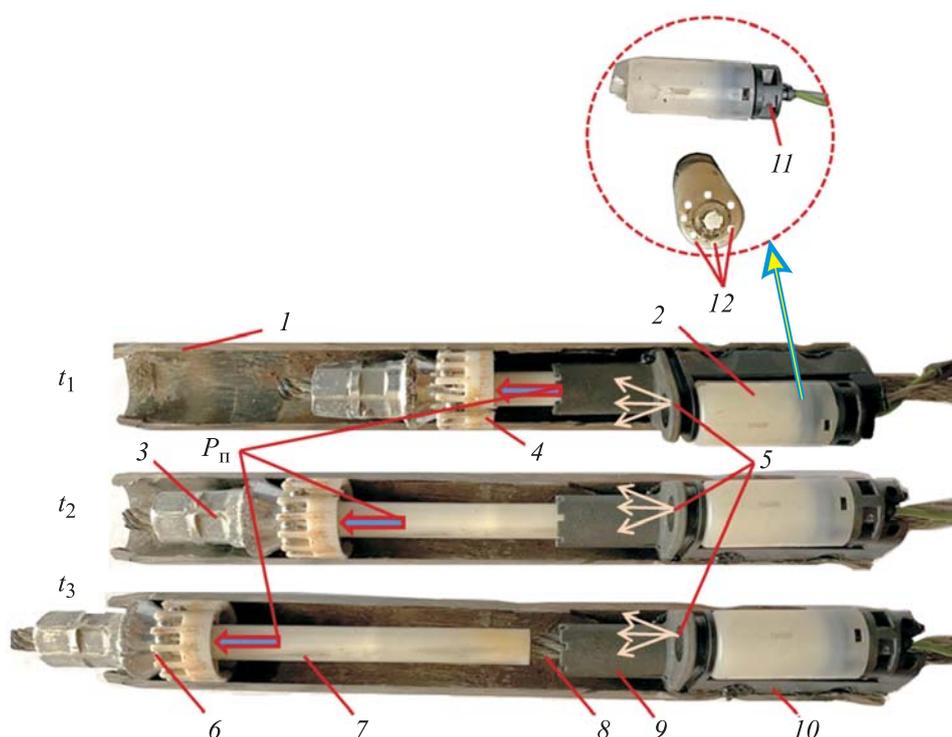


Рис. 3. Структура исполнительного поршневого механизма:

1 — корпус поршневого механизма; 2 — ГГ; 3 — головка троса; 4 — поршень;
5 — продукты горения; 6 — шарики; 7 — шток (полюй); 8 — трос; 9 — трубка троса;
10 — контейнер ГГ; 11 — ВУ; 12 — отверстия для истечения продуктов горения

Контейнер ГГ и корпус поршневого механизма в соответствии с результатами анализа, выполненного по [20], изготовлены из марганцовистой конструкционной низколегированной стали типа 10Г2, которая применяется при производстве элементов сварных конструкций, полученных путем холодной или горячей деформации.

Проведенный реверс-инжиниринг позволил построить масштабированную пространственную модель ГГ с поршневым механизмом натяжения (рис. 4).

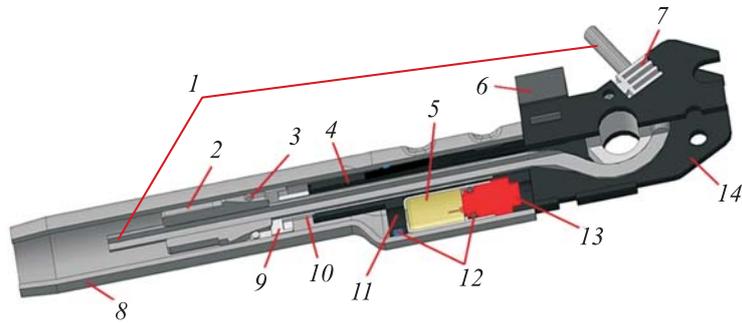


Рис. 4. Трехмерная модель ГГ с поршневым механизмом тросового НРБ:

- 1 — трос; 2 — головка троса; 3 — шарики; 4 — трубка троса;
 5 — КС с пиротехническим составом; 6 — зажим; 7 — замок (ласточкин хвост);
 8 — корпус ГГ и поршневого механизма; 9 — поршень; 10 — шток;
 11 — контейнер ГГ; 12 — прокладки; 13 — ВУ; 14 — поворотная обойма

Реечный НРБ автомобиля. Для проведения экспериментального охлаждения реечного НРБ выбрана типовая серийная модель, используемая в автомобилях Opel Corsa (рис. 5) и конструктивно включающая в себя следующие узлы и элементы: РБ и механизм его блокировки; катушка и блок спиральной пружины для автоматического сматывания ремня; ГГ с коннектором для подачи напряжения на КВ пиротехнического заряда и примыкающий к ГГ механизм натяжения; скобы для крепления НРБ к каркасу кабины автомобиля.

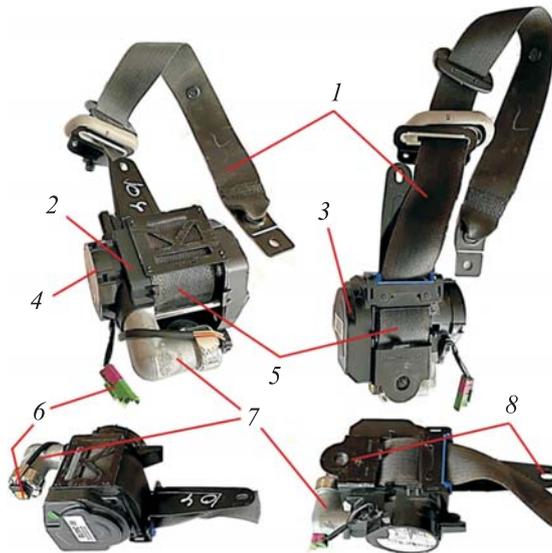


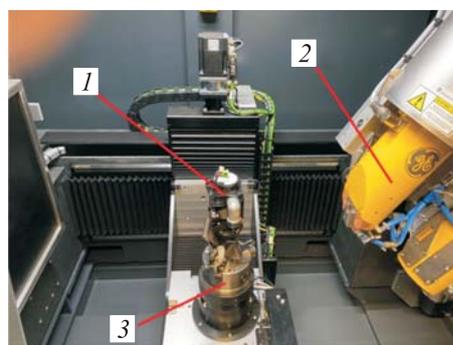
Рис. 5. Реечный НРБ:

- 1 — РБ; 2 — механизм натяжения; 3 — механизм блокировки РБ; 4 — блок спиральной пружины; 5 — катушка; 6 — коннектор; 7 — ГГ; 8 — крепежные скобы

Как было отмечено, реечный НРБ имеет более сложную конструкцию по сравнению с тросовым, поэтому для его подготовки к информативным экспериментальным исследованиям предварительно установлен структурный состав данного НРБ. Для этого использован метод рентгеновской томографии с применением промышленного томографа Phoenix V|tome|x M300 (рис. 6), представляющего собой рентгеновскую микрофокусную систему со следующими характеристиками: максимальное напряжение 300 кВ; максимальная мощность 500 Вт; различимость деталей ≤ 1 мкм; максимальные размеры (диаметр \times высота) образца 290×600 мм; максимальная масса образца не более 50 кг; манипулятор имеет 5 степеней свободы (x, y, z, r, t).

Рис. 6. Установка реечного НРБ в камере томографа:

1 — реечный НРБ; 2 — рентгеновская трубка; 3 — рабочая платформа



Последовательность двух характерных плоских горизонтальных сечений (относительно установки изделия на рабочем столе томографа) реечного НРБ при перемещении плоскости сечения сверху вниз приведена на рис. 7, где отчетливо визуализируются детали блока автоматической смотки ремня (спиральная пружина), приводного механизма натяжения РБ (цилиндр, поршень, рейка и шестерня).

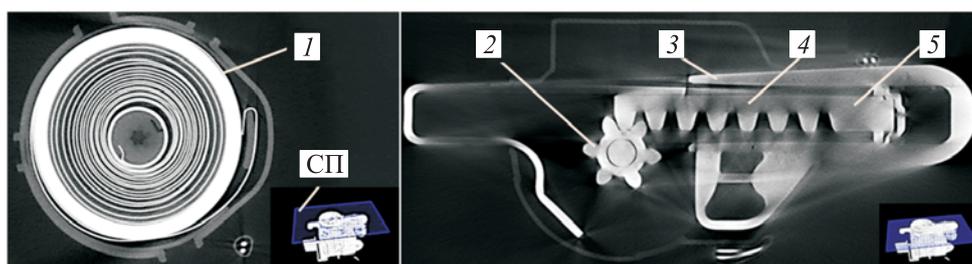


Рис. 7. Спиральная пружина и приводной механизм натяжения РБ:

СП — секущая плоскость; 1 — спиральная пружина; 2 — шестерня; 3 — цилиндр; 4 — поршень; 5 — рейка

Три характерных сечения конструкции реечного НРБ вертикальной торцевой плоскостью при ее перемещении справа налево и одно вертикальное сечение ГГ фронтальной плоскостью приведены на рис. 8.

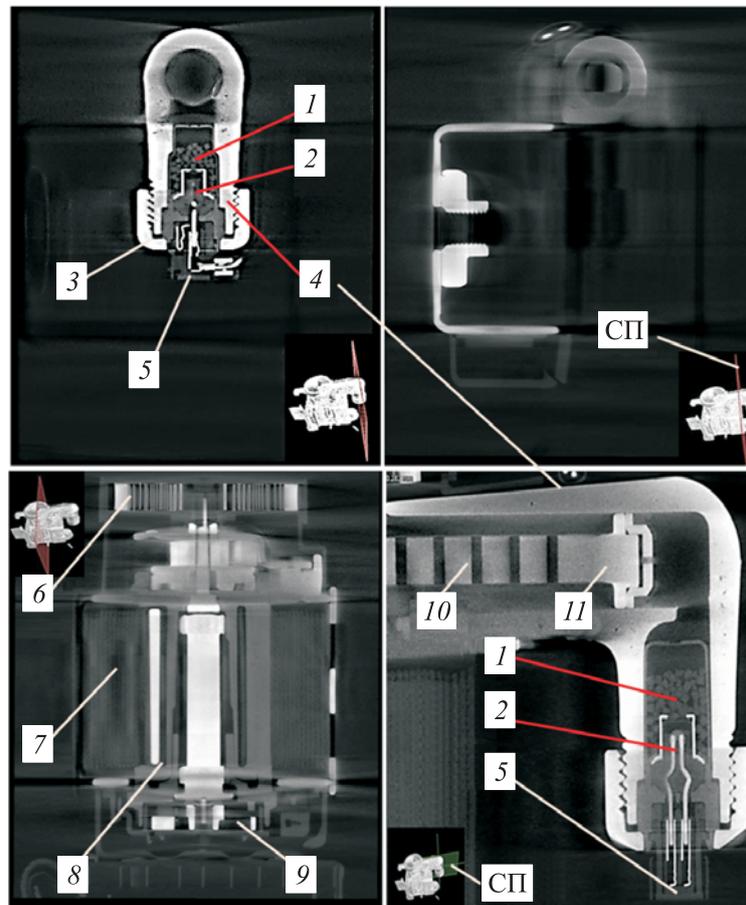


Рис. 8. Характерные сечения конструкции реечного НРБ вертикальными плоскостями:

1 — пиротехнический состав; 2 — КВ; 3 — крышка ГГ; 4 — ГГ; 5 — коннектор;
6 — спиральная пружина; 7 — РБ; 8 — катушка; 9 — механизм блокировки катушки;
10 — рейка; 11 — поршень

По томограмме с высокой точностью можно установить полную структуру ГГ и приводного механизма реечного НРБ, а также определить линейные размеры в любых фиксируемых направлениях между двумя любыми маркерами.

Результаты томографии позволили установить точную (с погрешностью не более 1 мкм) структуру реечного НРБ и реализовать экспериментальную схему его исследований. Для этого собрана модель автомобильного кресла, в котором размещен манекен с упругим баллоном в области грудной клетки и брюшины в целях отчетливой фиксации процесса натяжения РБ (рис. 9). На ремне на расстоянии 150 мм друг от друга

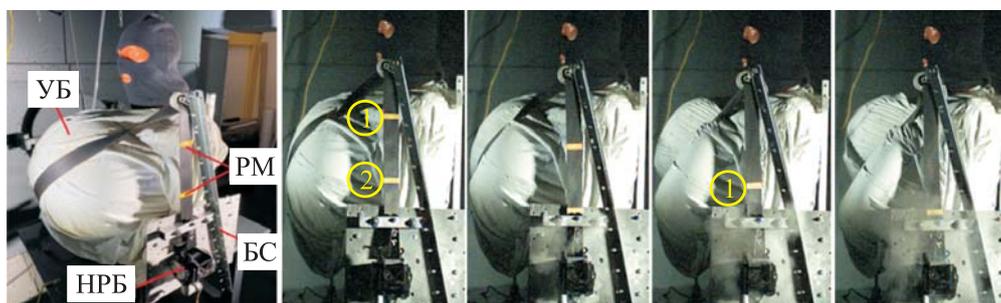


Рис. 9. Характерные фрагменты высокоскоростной видеосъемки процесса функционирования реечного НРБ:

УБ — упругий баллон; БС — боковая стенка

нанесены две РМ (верхняя ① и нижняя ②), которые позволяют визуализировать процесс натяжения РБ с помощью высокоскоростной видеосъемки.

Параметры высокоскоростной видеосъемки аналогичны предыдущим, установленным при испытаниях тросового НРБ. В результате анализа видеосъемки процесса функционирования реечного НРБ (см. рис. 9) выявлено, что верхняя РМ ① сместилась вниз на уровень входной щели натяжителя, т. е. на отрезок РБ длиной 150 мм, на которой нанесена нижняя РМ ②, РБ намотан на катушку, а катушка заблокирована в указанном положении. Таким образом, грудная лямка РБ в течение малого промежутка времени $t_p \approx 8$ мс переместилась вниз к корпусу натяжителя, что привело к существенной деформации манекена в области грудной клетки по линии контакта с грудной лямкой РБ и к заметному подтягиванию манекена к спинке кресла.

В соответствии с определенной в результате томографии подробной структурно-параметрической схемой НРБ проведены как его блоковая разборка, так и детальная декомпозиция пиротехнического ГГ с приводным механизмом натяжения РБ.

Результаты последнего этапа декомпозиции приведены на рис. 10 — рейка-поршень с прокладкой головки поршня извлекается из ГГ, после чего отворачивается крышка ГГ, из КС ГГ изымается корпус, в котором размещались сгоревший пиротехнический заряд и сработавшее ВУ, состоящее из полимерной втулки и КВ.

На основе рентгеновской томографии, последующей декомпозиции реечного НРБ и реверс-инжиниринга выполнена пространственная модель ГГ с реечно-шестереночным механизмом натяжения (рис. 11).

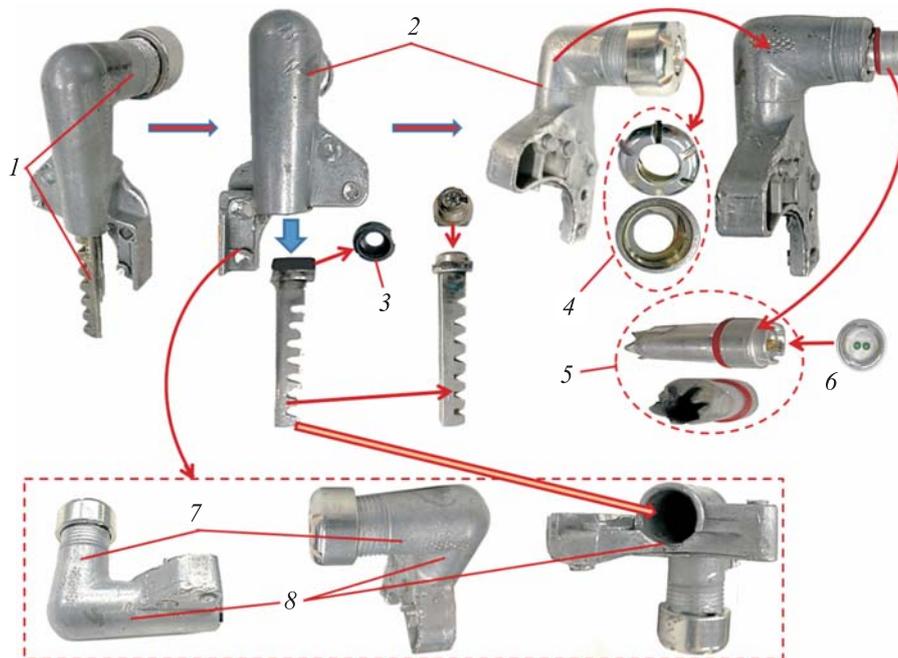


Рис. 10. Декомпозиция ГГ и механизма натяжения РБ:

1 — ГГ с рейкой; 2 — корпус ГГ; 3 — прокладка головки поршня; 4 — крышка ГГ;
5 — корпус пиротехнического состава; 6 — ВУ; 7 — КС; 8 — цилиндр

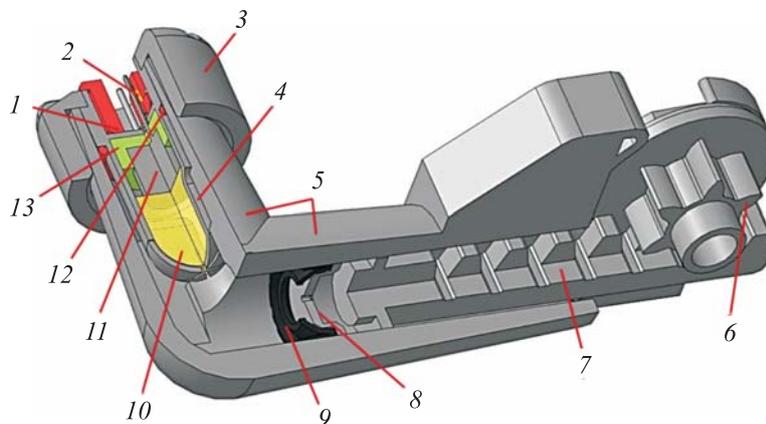


Рис. 11. Трехмерная модель ГГ и реечно-шестереночного механизма РБ:

1 — контактное гнездо; 2 — шунт; 3 — крышка ГГ; 4 — корпус ВУ;
5 — корпус ГГ и рейки-поршни; 6 — шестерня; 7 — рейка-поршень;
8 — головка поршня; 9 — прокладка головки поршня; 10 — пиротехнический состав;
11 — КВ; 12 — прокладка; 13 — изолятор КВ

Заключение. Проведен анализ пиротехнических НРБ различных типов, с использованием информативного экспериментального метода исследования динамики функционирования НРБ автомобиля установлены

кинематические параметры процессов их срабатывания. Инструментальная декомпозиция тросового и реечного НРБ в совокупности с рентгеновской томографией реечного натяжителя и последующим реверс-инжинирингом позволили установить детальную структуру их конструктивного воплощения, а также особенности процессов функционирования механизмов натяжителей.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Иванов В.Н., Лялин В.А. Пассивная безопасность автомобиля. М., Транспорт, 1979.
- [2] Иванов В.Н. Активная и пассивная безопасность автомобилей. М., Высшая школа, 1974.
- [3] Хусаинов А.Ш., Кузьмин Ю.А. Пассивная безопасность автомобиля. Ульяновск, УлТГУ, 2011.
- [4] Савич Е.Л., Капустин В.В. Системы безопасности автомобилей. М., Инфра-М, 2016.
- [5] Минченко А.В., Кузьмин Н.А., Протасов В.И. и др. Анализ систем пассивной безопасности. *Молодой ученый*, 2020, № 11, с. 44–47. EDN: AFJQYS
- [6] Рябчинский А.И. Пассивная безопасность автотранспортных средств. М., МАДИ, 2016.
- [7] Андреев П.Г. К вопросу использования ремня безопасности как средства пассивной защиты участников дорожного движения. *Управление деятельностью по обеспечению безопасности дорожного движения: состояние, проблемы, пути совершенствования*, 2021, № 1, с. 42–45. EDN: ЕНВТWS
- [8] Лазовский Р.В., Веселов Г.Г., Чурзин А.Н. Пассивная безопасность автомобиля (системы airbag, SRS). *Успехи современного естествознания*, 2011, № 7, с. 140–148.
- [9] Никульников Э.Н., Льюров М.В. Активная и пассивная безопасность. *Автомобильная промышленность*, 2004, № 7, с. 33–36.
- [10] Гонсалес Астуа А.В., Гончаров Р.Б., Петюков А.В. Физико-математическое моделирование процесса взаимодействия подушки безопасности легкового автомобиля с антропоморфным манекеном. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*, 2022, № 4 (103), с. 4–21.
DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2022-4-4-21>
- [11] Мельников В.Э. Современная пиротехника. М., Наука, 2014.
- [12] Шидловский А.А. Основы пиротехники. М., Машиностроение, 1973.
- [13] Алешин А.В., Широкова Г.Н. Пиротехнические составы для получения азота на основе азидов. *Химическая физика*, 1999, т. 18, № 2, с. 72–79.
- [14] Hirata N., Matsuda N., Kubota N. Combustion of NaN₃ based energetic pyrolants. *Propellants, Explos. Pyrotech.*, 2000, vol. 25, no. 5, pp. 217–219.
- [15] Андреев С.Г., Бойко М.М., Селиванов В.В. Экспериментальные методы физики взрыва и удара. М., ФИЗМАТЛИТ, 2013.

- [16] Орленко Л.П., ред. Физика взрыва. М., ФИЗМАТЛИТ, 2004.
- [17] Котиев Г.О., Петюков А.В., Гонсалес Астуа А.В. Экспериментально-теоретический метод исследования особенностей функционирования модулей подушек безопасности автомобиля. *Труды НАМИ*, 2021, № 2, с. 15–24.
DOI: <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2021-2-15-24>
- [18] Remote Control Unit — Help File. *Vision Research–METEK Material Analysis Division*, Wayne, New Jersey, 2013.
- [19] Phantom Video Player — Help File. *Vision Research–AMETEK Material Analysis Division*, Wayne, New Jersey, 2016.
- [20] Гонсалес Астуа А.В., Гончаров Р.Б., Малищук Т.С. Экспериментальный анализ элементного состава материалов для изготовления газогенераторов модулей подушек безопасности автомобиля. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2022, № 2 (143), с. 75–88.
DOI: <http://doi.org/10.18698/0236-3941-2022-2-75-88>

Гонсалес Астуа Андрес Виктор — аспирант кафедры «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Гонсалес Астуа А.В. Структурно-функциональный анализ натяжителей ремней безопасности автомобиля. *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение*, 2024, № 3 (150), с. 41–56. EDN: XSCHNN

**STRUCTURAL AND FUNCTIONAL ANALYSIS
OF THE VEHICLE SEAT BELT TENSIONERS**

A.V. Gonsales Astua

andresastua@yandex.ru

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The vehicle passive safety system is a set of its design and operation properties, as well as devices and mechanisms designed to protect passengers from injuries in an accident, or to reduce the risk of any injury. The most important components of the modern vehicle internal passive safety system include inertial seat belts with the tensioners limiting the passengers' motion inside the vehicle and reducing the inertial loads acting on them, which occur during an impact in a road accident. The paper presents results of experimental studies of the vehicle seat belt tensioners operation processes. Based on modern tools of the experimental physics

Keywords

Passive safety, seat belt tensioner, gas generator, high-speed shooting, instrumental decomposition

of fast processes, a technique was developed and implemented to identify kinematic parameters in dynamics of the vehicle internal passive safety system actuators operation using the high-speed shooting. Pyrotechnic gas generators of the vehicle seat belt tensioners were instrumentally decomposed, structural layouts of all units and parts, their functional purpose and design features were identified. The reverse engineering methods were used to develop 3D models of the typical tensioners with pyrotechnic gas generators. The conducted research and the obtained results are important and required component in creating a scientific, technical and experimental base for design, development and production of the high-tech vehicle internal passive safety systems in the Russian Federation

Received 01.11.2023

Accepted 01.12.2023

© Author(s), 2024

REFERENCES

- [1] Ivanov V.N., Lyalin V.A. *Passivnaya bezopasnost avtomobilya* [Passive safety of a car]. Moscow, Transport Publ., 1979.
- [2] Ivanov V.N. *Aktivnaya i passivnaya bezopasnost avtomobiley* [Active and passive safety of a car]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1974.
- [3] Khusainov A.Sh., Kuzmin Yu.A. *Passivnaya bezopasnost avtomobilya* [Passive safety of a car]. Ulyanovsk, UITSU Publ., 2011.
- [4] Savich E.L., Kapustin V.V. *Sistemy bezopasnosti avtomobiley* [Car safety systems]. Moscow, Infra-M Publ., 2016.
- [5] Minchenko A.V., Kuzmin N.A., Protasov V.I., et al. Analysis of passive safety systems. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2020, no. 11, pp. 44–47 (in Russ.).
EDN: AFJQYS
- [6] Ryabchinskiy A.I. *Passivnaya bezopasnost avtotransportnykh sredstv* [Passive safety of motor vehicles]. Moscow, MADI Publ., 2016.
- [7] Andreev P.G. On the use of the seat belt as passive protection means for road users. *Upravlenie deyatel'nostyu po obespecheniyu bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya: sostoyanie, problemy, puti sovershenstvovaniya*, 2021, no. 1, pp. 42–45 (in Russ.).
EDN: EHBTWS
- [8] Lazovskiy R.V., Veselov G.G., Churzin A.N. Passive vehicle safety (airbag, SRS systems). *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2011, no. 7, pp. 140–148 (in Russ.).
- [9] Nikulnikov E.N., Lyyurov M.V. Active and passive safety. *Avtomobilnaya promyshlennost*, 2004, no. 7, pp. 33–36 (in Russ.).
- [10] Gonsales Astua A.V., Goncharov R.B., Petyukov A.V. Numerical simulation of interaction between a passenger car airbag and an anthropomorphic dummy model. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Natural Sciences*, 2022, no. 4 (103), pp. 4–21 (in Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18698/1812-3368-2022-4-4-21>

- [11] Melnikov V.E. *Sovremennaya pirotekhnika [Modern pyrotechnics]*. Moscow, Nauka Publ., 2014.
- [12] Shidlovskiy A.A. *Osnovy pirotekhniki [Fundamentals of pyrotechnics]*. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1973.
- [13] Aleshin A.V., Shirokova G.N. Pyrotechnic compositions for nitrogen production on the basis of azides. *Khimicheskaya fizika*, 1999, vol. 18, no. 2, pp. 72–79 (in Russ.).
- [14] Hirata N., Matsuda N., Kubota N. Combustion of NaN_3 based energetic pyrolants. *Propellants, Explos. Pyrotech.*, 2000, vol. 25, no. 5, pp. 217–219.
- [15] Andreev S.G., Boyko M.M., Selivanov V.V. *Eksperimentalnye metody fiziki vzryva i udara [Experimental methods of explosion and impact physics]*. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2013.
- [16] Orlenko L.P., ed. *Fizika vzryva [Explosion physics]*. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2004.
- [17] Kotiev G.O., Petyukov A.V., Gonsales Astua A.V. Experimental-theoretical method for studying the vehicle airbag modules functioning. *Trudy NAMI*, 2021, no. 2, pp. 15–24 (in Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51187/0135-3152-2021-2-15-24>
- [18] Remote Control Unit — Help File. *Vision Research–AMETEK Material Analysis Division*, Wayne, New Jersey, 2013.
- [19] Phantom Video Player — Help File. *Vision Research–AMETEK Material Analysis Division*, Wayne, New Jersey, 2016.
- [20] Gonsales Astua A.V., Goncharov R.B., Malishchuk T.S. Experimental analysis of elemental composition of materials used to manufacture gas generators for vehicle airbag modules. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2022, no. 2 (143), pp. 75–88 (in Russ.). DOI: <http://doi.org/10.18698/0236-3941-2022-2-75-88>

Gonsales Astua A.V. — Post-Graduate Student, Department of Wheeled Vehicles, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Baumanskaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

Please cite this article in English as:

Gonsales Astua A.V. Structural and functional analysis of the vehicle seat belt tensioners. *Herald of the Bauman Moscow State Technical University, Series Mechanical Engineering*, 2024, no. 3 (150), pp. 41–56 (in Russ.). EDN: XSCHNN