

**Хусаинов А. Ш.
Кузьмин Ю. А.**

ПАССИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

Учебное пособие

**Ульяновск
2011**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Ульяновский государственный технический университет
Кафедра «Автомобили»

Хусаинов А. Ш.
Кузьмин Ю. А.

ПАССИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ

**учебное пособие для студентов направлений
190100.62 «Наземные транспортно-технологические комплексы» по профилю – Автомобиле- и тракторостроение и
190109.65 «Наземные транспортно-технологические средства» по специализации «Автомобили и тракторы»**

Ульяновск 2011

УДК 629.113 (075.8)
ББК 39.33-01я73
Х-98

Рецензенты

генеральный директор ООО «УНИТЕК» д.т.н., Елифанов В.В.

Зав. кафедрой «Проектирование и сервис автомобилей» УлГУ,
д-р техн. наук Антонов И.С.

Утверждено редакционно-издательским советом университета в качестве
учебного пособия

Хусаинов, А. Ш.

Х-98 Пассивная безопасность автомобиля. Учебное пособие для студентов направлений 190100.62 «Наземные транспортно-технологические комплексы» по профилю – Автомобиле- и тракторостроение и 190109.65 «Наземные транспортно-технологические средства» по специализации «Автомобили и тракторы» / А. Ш. Хусаинов, Ю. А. Кузьмин – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 92 с.

ISBN

В первой главе пособия рассмотрены основные принципы обеспечения безопасности современных автомобилей. Свойства автомобиля, влияющие на активную безопасность, изложены лишь для ознакомления, а более полно будут рассмотрены в отдельном пособии.

Во второй главе дан обзор требований к пассивной безопасности легковых и грузовых автомобилей и автобусов, рассмотрены основные принципы испытательных процедур.

В третьей главе рассмотрены конструкции компонентов современных легковых автомобилей, обеспечивающих их пассивную безопасность.

Пособие предназначено для студентов всех форм обучения и его следует рассматривать как продолжение пособия «Эксплуатационные свойства автомобиля» и может быть интересным и студентам не автомобильных специальностей машиностроительного направления.

УДК 629.113 (075.8)
ББК 39.33-01я73

ISBN

© Оформление УлГТУ, 2011

© Хусаинов А. Ш., Кузьмин Ю. А., 2011

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. Безопасность автомобилей	7
1.1. Активная безопасность автомобиля	7
1.1.1. Шины и колеса	7
1.1.2. Тормозное управление.....	10
1.1.3. Рулевое управление.....	13
1.1.4. Кинематика подвески.....	16
1.1.5. Система курсовой стабилизации	18
1.2. Пассивная безопасность автомобиля	21
1.3. Послеаварийная безопасность автомобиля	24
1.4. Контрольные вопросы	25
2. Требования к пассивной безопасности автомобилей	27
2.1. Оценка пассивной безопасности автомобилей с помощью манекенов	27
2.1.1. Общие принципы	27
2.1.2. Манекен <i>HYBRID III</i>	29
2.1.3. Манекен <i>EUROSID-1</i>	32
2.2. Сертификационные испытания легковых автомобилей.....	34
2.2.1. Виды испытаний легковых автомобилей и их компонентов	34
2.2.2. Испытание по Правилу ЕЭК ООН № 94.....	35
2.2.3. Испытание по Правилу ЕЭК ООН № 12.....	38
2.2.4. Испытание по Правилу ЕЭК ООН № 95.....	42
2.3. Сертификационные испытания грузовых автомобилей.....	44
2.3.1. Виды испытаний грузовых автомобилей и их компонентов	44
2.3.2. Испытание по правилу ЕЭК ООН № 29	45
2.4. Сертификационные испытания автобусов.....	47
2.4.1. Классификация автобусов	47
2.4.2. Виды испытаний автобусов и их компонентов.....	47
2.4.3. Испытания автобусов по правилу ЕЭК ООН № 66	48
2.5. Контрольные вопросы	51
3. Обеспечение пассивной безопасности легковых автомобилей.....	53
3.1. Системы пассивной безопасности.....	53
3.2. Удерживающие системы	53
3.2.1. Ремни безопасности	53
3.2.2. Тайминг процесса столкновения и подушки безопасности.....	59
3.2.3. Детские удерживающие системы	65
3.2.4. Системы удержания головы.....	67
3.3. Безопасность органов управления.....	70
3.3.1. Рулевая колонка.....	70

3.3.2. Педальный узел	71
3.4. Ударопоглощающие свойства кузова	73
3.4.1. Зоны программируемой деформации.....	73
3.4.2. Энергопоглотители (крашбоксы)	77
3.5. Материалы несущих систем.....	83
3.6. Контрольные вопросы	85
Предметный указатель.....	87
Справочник терминов.....	89
Библиографический список.....	91

Введение

Анализ статистики дорожно-транспортных происшествий (ДТП) показывает, что в Российской Федерации автомобилей значительно меньше, чем в Германии, но количество погибших на дорогах в 6 раз больше.

Сравнительная статистика ДТП (2010 г.)

Страна	Население, млн. чел.	Количество автомобилей на 1000 чел.	Протяженность дорог, тыс. км	ДТП, тыс.	Погибших
РФ	145	156	747	199,5	26567
Германия	82	506	644	320	4160

Успехи Германии в обеспечении безопасности объясняются культурой вождения и все возрастающим уровнем систем активной и пассивной безопасности автомобилей. Эти системы стали широко внедряться во все комплектации автомобилей с конца 90^х годов. За 10 лет в Германии количество автомобилей увеличилось в 1,5 раза, количество ДТП осталось на прежнем уровне (заслуга систем активной безопасности), а количество погибших уменьшилось в 2 раза (заслуга систем пассивной безопасности).

Печальная для РФ статистика объясняется низкой дисциплиной участников движения, старостью автопарка и слабой просвещенностью населения о средствах активной и пассивной безопасности в автомобилях. При выборе автомобиля у российского покупателя часто на первом месте стоит мощность двигателя, наличие климатической установки, качество «музыки», красивые диски, а не активная и пассивная безопасность. Во многих странах система курсовой стабилизации (в Евросоюзе с 1.11.2011) является обязательной для всех легковых автомобилей во всех комплектациях, в США – для всех автомобилей менее 10000 фунтов (чуть более 4500 кг). А в РФ до сих пор не является обязательной даже антиблокировочная система тормозов. Именно поэтому проблема разработки средств обеспечения пассивной безопасности автомобилей у нас в стране чрезвычайно актуальна.

Информация, изложенная в пособии, дает представление обо всех направлениях обеспечения активной, пассивной, послеаварийной и пожарной безопасности автомобилей.

Пособие подготовлено в соответствии с рабочими программами дисциплин «Проектирование автомобилей» и «Испытание автомобилей», но может быть полезно и при изучении дисциплин «Конструкция автомобилей и тракторов», «Теория автомобиля», «Конструирование и расчет автомобилей».

В результате освоения пособия «Пассивная безопасность автомобиля» студенты должны

иметь представление:

– о свойствах современных автомобилей, определяющих их безопасность;

знать:

– общие принципы оценки пассивной безопасности автомобиля;

– роль и значение различных компонентов в обеспечении пассивной безопасности автомобиля;

– общие принципы работы компонентов, обеспечивающих пассивную безопасность автомобиля;

уметь:

– анализировать силовую структуру несущей системы автомобиля;

– выбирать параметры автомобиля, оценивать его пассивную безопасность;

получить навыки:

– для самостоятельного решения задач в области проектирования параметров автомобиля, использования технических регламентов [2], нормативных документов ЕЭК ООН, справочной литературы и других информационных источников при выборе и расчёте основных параметров пассивной безопасности автомобиля для выполнения расчетов параметров автомобиля в курсовом и дипломном проектировании.

1. Безопасность автомобилей

1.1. Активная безопасность автомобиля

Активная безопасность предполагает совокупность таких свойств автомобиля, которые не допускают его аварийное столкновение с подвижным или неподвижным препятствием, а также опрокидывание транспортного средства. Тенденции в развитии электронных систем обеспечения активной безопасности позволяют Еврокомиссии ставить амбициозные задачи: к 2020 году резко, почти до нуля, сократить вероятность гибели людей в ДТП, а к 2030 году столь же резко сократить саму вероятность ДТП*.

Активная безопасность автомобиля зависит от свойств шин, колес (дисков), тормозной системы, рулевого управления, подвески, электронных систем информирования водителя о дорожной ситуации и автоматических превентивных мер, предпринимаемых этими системами.

1.1.1. Шины и колеса

Служебное назначение шины – обеспечение надежного сцепления автомобиля с дорогой, хорошей управляемости, плавности хода и низкой шумности. Требования к шинам регламентированы Правилами ЕЭК ООН** : № 30 (для транспортных средств категорий M₁, O₁, O₂), 54 (M₂, M₃, N, O₃, O₄), 64 (запаска для M₁), 117 (шум и сцепление на мокрой дороге). Требования к колесам (дискам) регламентированы Правилom № 124 [2].

Сцепные свойства сильно зависят от температуры шины и окружающей среды. Шины полностью теряют эластичность и становятся хрупкими при температуре ниже –50...–60 °С. Деформация летних составов резины при температуре ниже –7...–10 °С приводит к появлению в структуре резины необратимых разрывов химических связей – начинается процесс разрушения. При температуре выше 120...140 °С шина «плышет как тесто» – теряет форму, корд вылезает наружу, резина разрушается. Оптимальной по условиям сцепления с дорогой и износу считается температура резины около +50...+60 °С. Летние шины становятся менее эффективными зимних составов уже при температуре ниже +7 °С. Внешний признак зимних шин – наличие множества тонких (шириной менее 0,5 мм) прорезей – ламелей (рис. 1.1). Ламели увеличивают подвижность блоков протектора, позволяя им, независимо друг от друга, деформироваться и принимать форму опорной поверхности, цепляться

* см. статью «Автопилотаж» // Авторевю. – 2011. – № 14

** Правила ЕЭК ООН – свод сертификационных требований к транспортным средствам, разрабатываемый Европейской Экономической Комиссией Организации Объединенных Наций (см. <http://www.unece.org/trans/main/wp29/wp29regs1-20.html>)



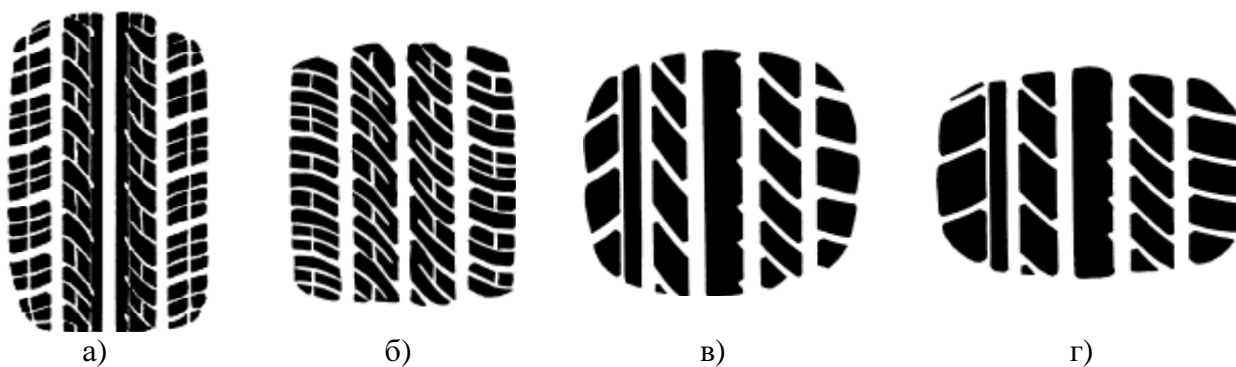
а) **Рис. 1.1. Рисунок протектора летних (а) и зимних (б) шин**

за микронеровности дороги, что улучшает сцепление.

Одно из главных предназначений протектора шины – *эвакуация* из пятна контакта воды, снега, песка и грязи. Это свойство характеризуется коэффициентом насыщенности протектора, который изменяется от 0,3 (протектор «елочка» у вездеходов и тракторов) до 1,0 (без прорезей – «слик» у гоночных автомобилей, например, класса «Формула 1»). Коэффициент насыщенности протектора есть отношение площади фактического контакта резины с дорогой к габаритной площади пятна контакта. Фактическая площадь пятна контакта резины «слика» с дорогой максимальна, следовательно, давление в пятне контакта, а в месте с ним и напряжения в материале резины, минимальны, что позволяет применять более мягкие составы резины, обеспечивающие более высокий коэффициент сцепления (только на сухой чистой трассе).

Поверхностный слой современных зимних шин впитывает воду как губка, эвакуируя тонкую водяную пленку из пятна контакта. После выхода «намочшего» участка из пятна контакта вода выбрасывается из него центробежной силой. Однако следует помнить, что «губчатый» слой по толщине на много меньше толщины протектора. Поэтому по мере износа шины ее впитывающие свойства резко уменьшаются.

Увеличение радиуса дисков и снижение профиля шины (при неизменном наружном радиусе шин) ухудшает «дождевые» свойства шин, ведь эвакуация воды из пятна контакта возможна только влево и вправо: у широкой шины этот путь эвакуации воды длиннее (рис. 1.2). Кроме того, вертикальная деформация таких шин меньше, а, следовательно, меньше длина пятна контакта и время контакта каждого элементарного участка беговой дорожки, меньше времени на вытеснение воды, результат – аквапланирование (полная потеря сцепления) наступает раньше. У широких шипованных шин количество шипов (одновременно находящихся в пятне контакта) меньше, чем у узких (при прочих равных условиях), следовательно, и сцепные свойства на



**Рис. 1.2. Влияние размеров шин на форму пятна контакта
(номинальный радиус шин одинаковый $r_0 \approx 0,317$ м):**

а) – г) – шина соответственно 175/80R14, 195/65R15, 205/55R16, 225/45R17

льду у них хуже.

Сопротивление уводу шин является одним из важнейших свойств шин, определяющих управляемость автомобиля. Это свойство зависит от конструкции шины, состава резины и внутреннего давления воздуха [1]. При одинаковой несущей способности, чем ниже профиль шины (отношение высоты к ширине сечения шины, %) и чем шире шина, тем больше коэффициент сопротивления уводу, тем лучшей управляемости можно добиться (факт наличия низкопрофильных шин еще ни о чем не говорит, важна совокупность настроек). Коэффициент сопротивления уводу прямо пропорционален несущей способности шины.

Несущая способность шины – это максимальная вертикальная нагрузка, которую шина может нести достаточно долго. Определяется по индексу грузоподъемности, который приведен в справочной литературе, как правило, для номинального давления воздуха в шине [5]. Однако несущая способность шины зависит не только от конструкции шины (главным образом от количества и прочности корда), но и от давления воздуха в шине (табл. 1.1). При максимальной нагрузке коэффициент сопротивления уводу достигает максимума и при дальнейшем увеличении нагрузки падает. Поэтому при выборе индекса грузоподъемности шин оставляют запас порядка 30 %, т.е. *расчетная максимальная* нагрузка должна быть меньше максимально допустимой на треть [1].

Скоростные свойства шин определяются индексом скорости шины, который, в свою очередь определяется нагревом шин. Чем более развит протектор, чем слабее корд, чем меньше давление в шине, тем больше деформация шины в пятне контакта, больше вероятность возникновения колебаний беговой дорожки (опять деформация), тем больше нагрев шины. Перегрев шины приводит к ее разрушению. Тепловыделение «слика» при качении меньше, чем у шин с протектором (так как меньше деформация резины). С уменьшением профиля шины (при прочих неизменных свойствах) тепловыделения в шине снижаются.

1.1. Несущая способность (грузоподъемность) некоторых шин, кг [9]

Индекс грузоподъемности	Давление в шине, МПа										
	0,15	0,16	0,17	0,18	0,19	0,2	0,21	0,22	0,23	0,24	0,25*
76	265	280	295	310	320	335	350	360	375	385	400
82	315	330	350	365	380	395	415	430	445	460	475
88	370	390	410	430	450	470	485	505	525	540	560
96	470	495	520	545	570	595	620	640	665	685	710
102	580	610	640	665	690	720	745	770	800	825	830
104	630	660	690	715	740	770	795	820	850	875	880

* – номинальное давление, принятое большинством производителей шин для легковых и легких коммерческих автомобилей. Индекс грузоподъемности на боковине шины приведен именно для номинального давления воздуха в шине, которое тоже указано на боковине.

Стабилизирующее свойство шины часто называемое скоростной стабилизацией управляемых колес зависит от конструкции шины, состава резины и давления. Причем от давления зависимость обратно пропорциональная: увеличение давления на 0,05 МПа приводит к снижению стабилизирующего свойства на 50 % [9]. Узкие шины обладают более высокими стабилизирующими свойствами.

Колеса (диски) легковых автомобилей оказывают влияние не только на экстерьер (внешний вид), но и на управляемость автомобиля. Например, вылет диска *ET* часто не просто влияет, а определяет поведение автомобиля при торможении на миксте. Масса диска влияет на сцепление шин с дорогой при скоростном прохождении неровностей на дороге, а также на плавность хода. Однако роль материала диска, как показывает практика, сильно преувеличена: масса кованого (полученного горячей объемной штамповкой) алюминиевого диска диаметром 15 дюймов 4,5 кг, литого алюминиевого – 6,5 кг, штампованного (холодная листовая штамповка) стального – 7 кг. Масса шины колеблется от 6 до 9 кг. Таким образом, в зависимости от выбранного сочетания шины и диска может быть получен совершенно разный результат. Если учесть, что кованые диски не конкурентоспособны из-за их высокой стоимости, то литые диски имеют преимущество только по внешнему виду, и проигрывают по прочности и ремонтпригодности штампованным.

1.1.2. Тормозное управление

Тормозные свойства автомобиля регламентированы правилами ЕЭК ООН № 13 и №13Н.

Тормозное управление включает в себя целый ряд систем, обеспечивающих активную безопасность автомобиля [1]:

- основная тормозная система (как правило, двухконтурная);

- запасная (аварийная) тормозная система (один из контуров основной системы);
- антиблокировочная система тормозов (АБС, *ABS* – нем. *antiblockiersystem*, англ. *anti-lock brake system*) – не допускает блокировки колес при торможении, что улучшает устойчивость и управляемость. Под блокировкой понимается падение угловой скорости контролируемого тормозящего колеса более 10...50 % (в зависимости от настроек системы) по сравнению с угловой скоростью воображаемого не тормозящего колеса. Блокировку колес нельзя допускать потому, что у заблокированного колеса в большинстве случаев уменьшается тормозная сила, за счет снижения коэффициента сцепления по мере увеличения коэффициента скольжения (рис. 1.3). *ABS* в большинстве ситуаций сокращает тормозной путь и, главное, обеспечивает сохранение устойчивости (не заносит) и управляемости (слушается руля) автомобиля;

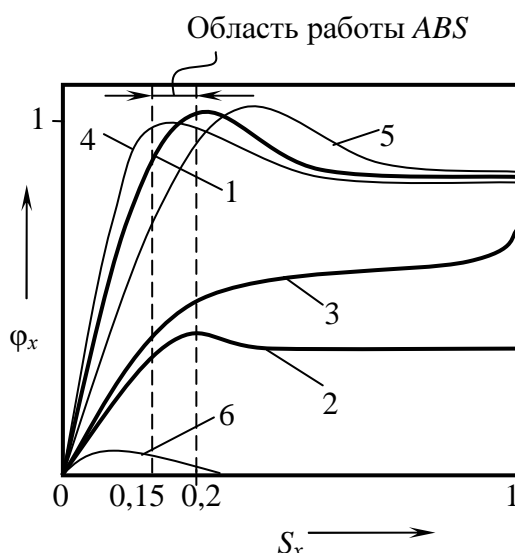


Рис. 1.3. Зависимость коэффициента продольного сцепления шины с дорогой φ_x от коэффициента скольжения S_x в их контакте (φ – S (фи–эс) диаграмма):

1 – на сухой чистой твердой дороге; 2 – на льду или укатанном снегу; 3 – на твердой дороге, покрытой песком или рыхлым снегом; 4, 5 – при избыточном и недостаточном давлении в шинах соответственно; 6 – при аквапланировании

- система распределения тормозных сил по осям: это ограничитель (устар.), регулятор (на автомобилях без *ABS*) давления в заднем контуре тормозной системы; на современных автомобилях – электронная система распределения тормозных сил по осям, позволяющая добиться идеального тормозного баланса (*EBD* – *electronic brake distribution*), рис. 1.4. Баланс служебного торможения настраивается: а) выбором для передней и задней осей тормозных механизмов с нужными тормозными коэффициентами; б) подбором диаметров тормозных поверхностей (дисков или барабанов); в) подбором количества и диаметров поршней рабочих тор-

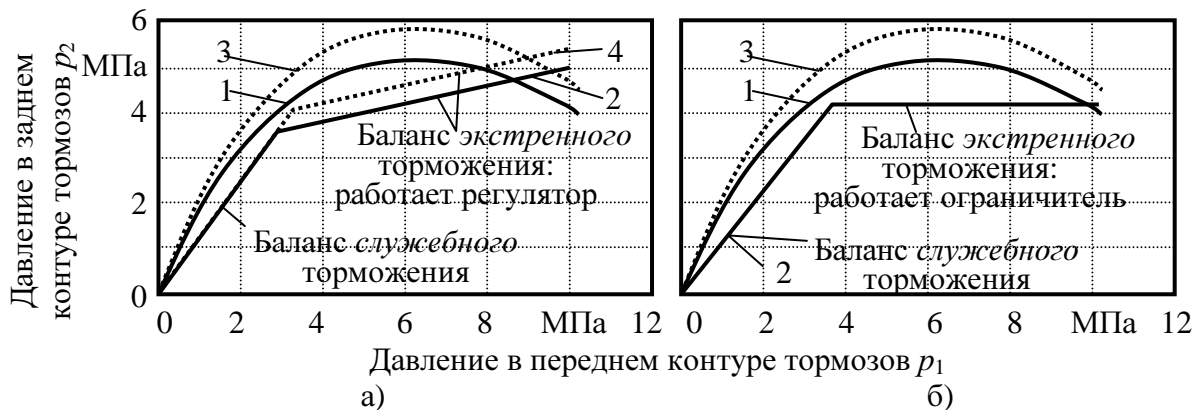


Рис. 1.4. Диаграмма работы регулятора (а) и ограничителя (б) давления в заднем контуре тормозов:

1, 3 – идеальный тормозной баланс (теоретически достижимый с *EBD*); 2, 4 – реальная характеристика; 1, 2 – расчетная нагрузка автомобиля; 3, 4 – полная нагрузка

мозных цилиндров соответствующих механизмов;

- усилитель экстренного торможения (*BA – brake assist*) – система, распознающая аварийную ситуацию по скорости и силе нажатия водителем педали тормоза (рис. 1.5). *BA* «дожимает» и удерживает педаль тормоза до срабатывания *ABS*. *BA* «отпускает» тормоза только после того, как водитель отпустит педаль. *BA* существенно сокращает остановочный

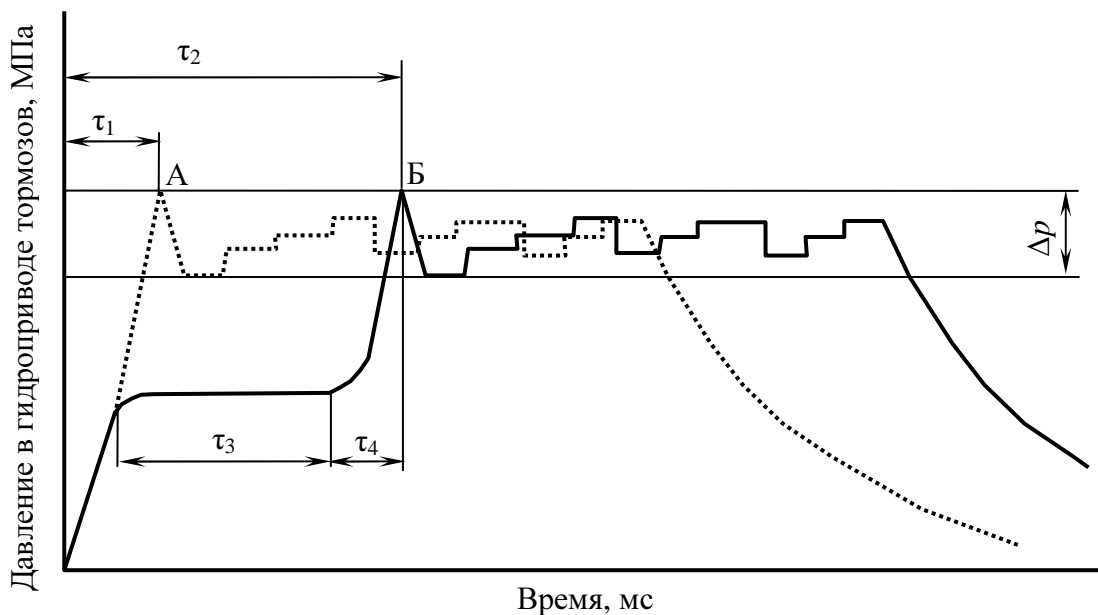


Рис. 1.5. Диаграмма работы усилителя экстренного торможения *BA*:

А, Б – точка включения *ABS* соответственно с системой *BA* и без нее; τ_1 , τ_2 – время срабатывания тормозного привода соответственно с системой *BA* и без нее; τ_3 – время преодоления тормозными колодками зазора до тормозного диска (барабана); τ_4 – время нарастания давления до максимума, вызванное деформацией тормозных механизмов (скобы дискового тормоза, тормозного барабана, щитка, трубок гидропривода) под действием высокого давления в гидроприводе; Δp – диапазон изменения давления в гидроприводе тормозов при работе *ABS*

путь;

- замедлитель (горный тормоз – ретардер, интандер, акватардер) – применяется только на тяжелых машинах*.
- стояночная тормозная система (в комментариях не нуждается ☺).

1.1.3. Рулевое управление

Управляемость автомобиля регламентируется, в основном, правилом ЕЭК ООН № 79 и техническим регламентом о безопасности транспортных средств (приложение 3, пункт 4 [2]). Это свойство автомобиля зависит не только от рулевого управления, но и от шин, колес (дисков), подвески и других конструктивных элементов автомобиля.

Перечислим параметры рулевого управления автомобиля, влияющие на управляемость (способность автомобиля «слушаться руля»):

- параметры установки колес (рис. 1.6):
 - угол развала колес (*camber*) γ_p – тесно связан с углом схождения колес кинематическим уводом шины. Задача настройки при проектировании автомобиля – обеспечить перпендикулярность колеса к дороге в повороте. Необходимо учитывать изменение развала при вертикальном ходе подвески, а также крен кузова. Задача практически невыполнима сразу и для внешних, и для внутренних колес (по отношению к центру поворота). Приоритет отдается внешним колесам, так как скорость прохождения поворота на 80...100 % зависит именно от них, т.е. «настраивают» угол развала только на ходе сжатия подвески. На современных автомобилях статический развал, как правило, отрицательный;
 - угол схождения колес (*toe-in*) θ_c . Задача настройки – поиск компро-

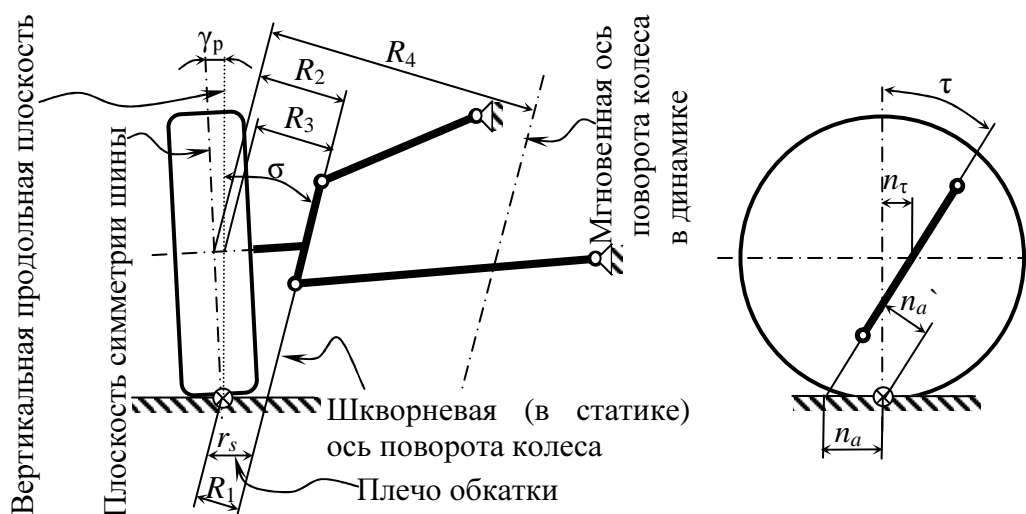


Рис. 1.6. Параметры установки управляемых колес

* См., например, <http://trucks.autoreview.ru/archive/2007/04/retarder/>

мисса в выборе этого угла: при прямолинейном движении угол схождения должен компенсировать кинематический увод шины, вызванный углом его развала; в повороте для улучшения управляемости кинематика и эластокинематика задней подвески должна увеличивать положительное схождение заднего нагруженного колеса (внешнего по отношению к центру поворота); следует учитывать, что в ведущем режиме колесо будет иметь одно схождение, в ведомом – другое, в тормозном – третье, а в повороте – четвертое. Если компромисс будет неудачным, то ухудшится управляемость в каком-либо режиме, возрастет износ шин и т.п. Также следует помнить, что подвеску намеренно делают податливой, по крайней мере, в продольном направлении для снижения шума качения радиальной шины, передающегося через подвеску на кузов. У диагональных шин уровень такого шума значительно ниже. У современных автомобилей схождение колес близко к нулю или немного отрицательное ($-0^{\circ} 30' \dots 0^{\circ} 30'$);

- поперечный угол наклона шкворневой оси (*kingpin*) σ . Имеется только на передней оси. Определяет силовую стабилизацию управляемых колес (возврат в прямое положение под действием веса передней части автомобиля). Обычно от 11° до 18° . Влияет на развал при повороте управляемых колес;

- продольный угол наклона шкворневой оси – кастер (*caster*) τ . Тесно связано с плечом «рояльной ножки». Определяет скоростную стабилизацию управляемых колес (возврат в прямое положение под действием силы сопротивления качению). У переднеприводных автомобилей кастер ограничен по величине из-за дестабилизирующего действия силы тяги, вектор которой противоположен вектору силы сопротивления качению. На кастер влияет загрузка задней оси автомобиля;

- вынос колеса относительно шкворневой оси (*caster offset*) n_{τ} . Влияет на усилие прилагаемое к рулевому колесу;

- плечо «рояльной ножки» n_a . Тесно связано с кастером;

- плечо обкатки r_s . Один из самых важных параметров. Определяет(!) устойчивость автомобиля при торможении (рис. 1.7). При положительном плече обкатки эластокинематический поворот рулевой трапеции усугубляет занос автомобиля на миксте*, при отрицательном плече – противодействует заносу – автомобиль устойчив против заноса при торможении на миксте. Влияет на усилие на руле при повороте, на ресурс подшипников ступицы

* Торможение на миксте – торможение в условиях, когда сцепление шин одной из сторон автомобиля больше сцепления шин с другой стороны. В более широком смысле это понятие учитывает неравномерность тормозных сил, вызванное несимметричной развесовкой автомобиля по бортам, неодинаковой силой и скоростью срабатывания тормозного привода, неодинаковой работой подвески (амортизаторов), перераспределением сил с борта на борт в повороте

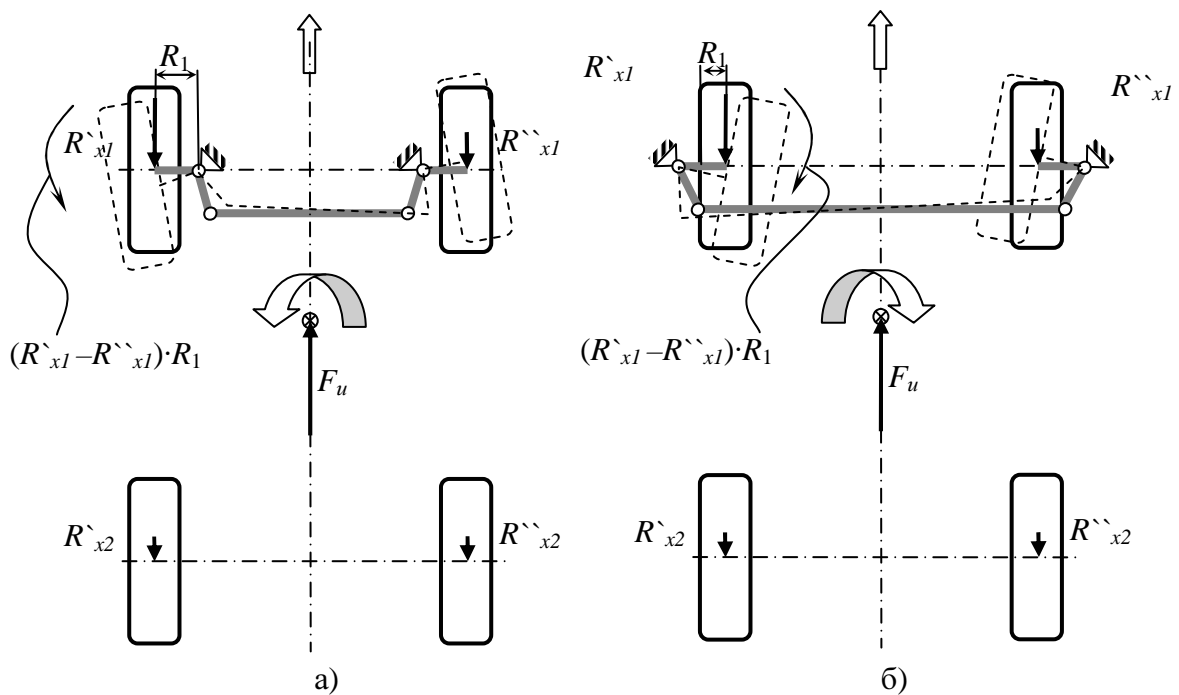


Рис. 1.7. Влияние положительного (а) и отрицательного (б) плеча обкатки $r_s = R_1 / \cos \sigma$ (см. рис. 1.6) на устойчивость автомобиля при торможении: $R'_{x1} > R''_{x1}$, $R'_{x2} = R''_{x2}$ – тормозные силы на соответствующих колесах; F_u – сила инерции, приложенная к центру масс автомобиля

и пружинной стойки (рис. 1.8). В эксплуатации автомобиля плечо обкатки может сильно измениться при установке колес (дисков) с другим вылетом ET ;

- плечо тормозной (или тяговой) силы R_1 . То же, что и плечо обкатки, только в другой проекции;
- плечо продольной силы (в приводе) R_2 . Влияет на «силовое подруливание», вызванное моментом в наружном ШРУСе (шарнир равных угловых скоростей) переднеприводных автомобилей. Проявляется при больших крутящих моментах на приводах при разгоне или прохождении поворотов;
- плечо вертикальной силы R_3 . Влияет на распределение нагрузки между рычагами подвески (на двойных поперечных рычагах), определяет наклон оси пружины к оси пружинной стойки, компенсирующий боковую нагрузку в уплотнении штока амортизатора. Для полной компенсации боковой силы в уплотнении штока необходимо, чтобы ось пружины в подвеске Мак-Ферсон проходила через точку пересечения оси поперечного рычага с осью, проходящей через центр пятна контакта шины с дорогой (в проекции «вид спереди», см. рис. 1.8);
- мгновенное плечо поворота (с учетом эластокинематики) R_4 . Определяет связь между продольным перемещением колеса и углом его поворота (схождения), вызванное податливостью подвески.

Практически на все радиусы (см. рис. 1.6), а главное – на плечо

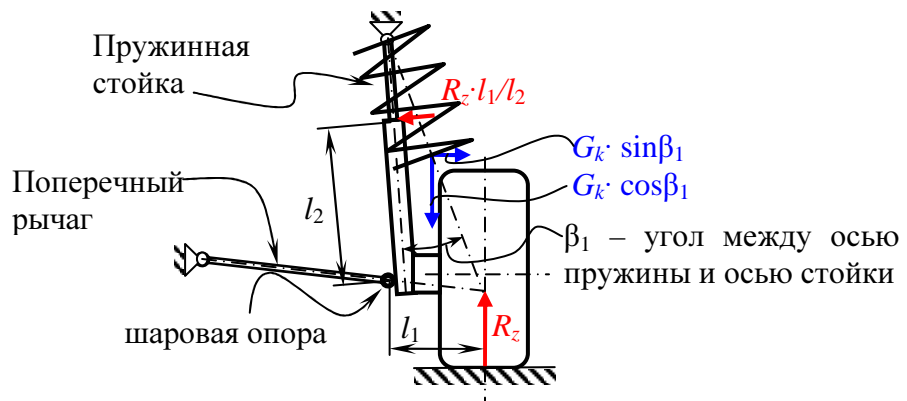


Рис. 1.8. Схема компенсации боковой нагрузки на уплотнение штока пружинной стойки подвески Мак-Ферсон

обкатки, оказывает влияние вылет колес (дисков) – размер ET дисков – расстояние между вертикальной продольной плоскостью симметрии шины до привалочной к ступице плоскости диска.

На тормозные свойства автомобиля оказывают влияние амортизаторы: они должны обеспечить возможно более длительный контакт шины с дорогой при преодолении неровности.

1.1.4. Кинематика подвески

Кинематика и эластокинематика подвески должны обладать следующими основными свойствами:

- постоянство ширины колеи независимо от хода подвески. Например, в подвеске на двойных поперечных рычагах это свойство обеспечивается за счет неравной длины верхних и нижних рычагов (рис. 1.9);
- перпендикулярность к дороге наиболее нагруженных колес на ходе сжатия подвески (внешние по отношению к центру поворота колеса). Обес-

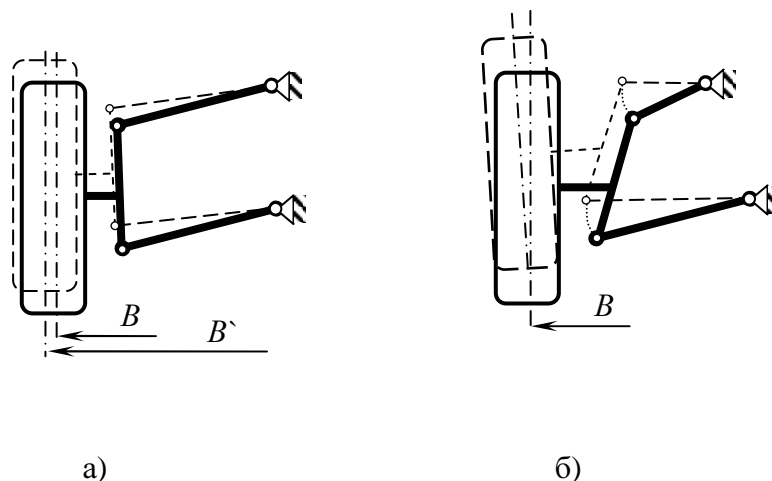


Рис. 1.9. Изменение колеи на ходе сжатия подвески на двойных поперечных рычагах:

а – рычаги одинаковой длины; б – при соотношении длин рычагов 1 : 1,5...1,8

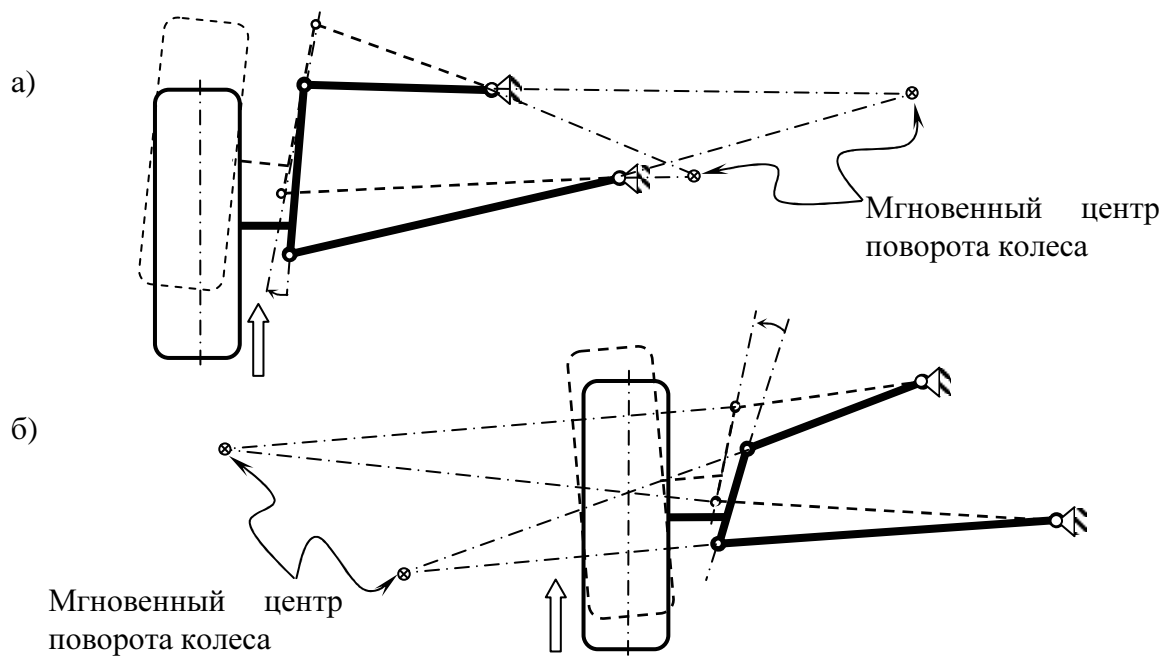


Рис. 1.10. Центр поворота колеса на двойных поперечных рычагах подвески:
 а, б – ориентация рычагов, соответственно обеспечивающая и не обеспечивающая перпендикулярность шины к дороге на ходе сжатия подвески

печивается расположением полюса поворота колеса на рычагах подвески между колесом и центром поворота автомобиля (рис. 1.10);

- оптимальное расположение центра поперечного крена подвески (рис. 1.11). При высоком расположении центра (рис. 1.11, в, г) кренящий момент минимален, при низком (рис. 1.11, а) – максимален. При располо-

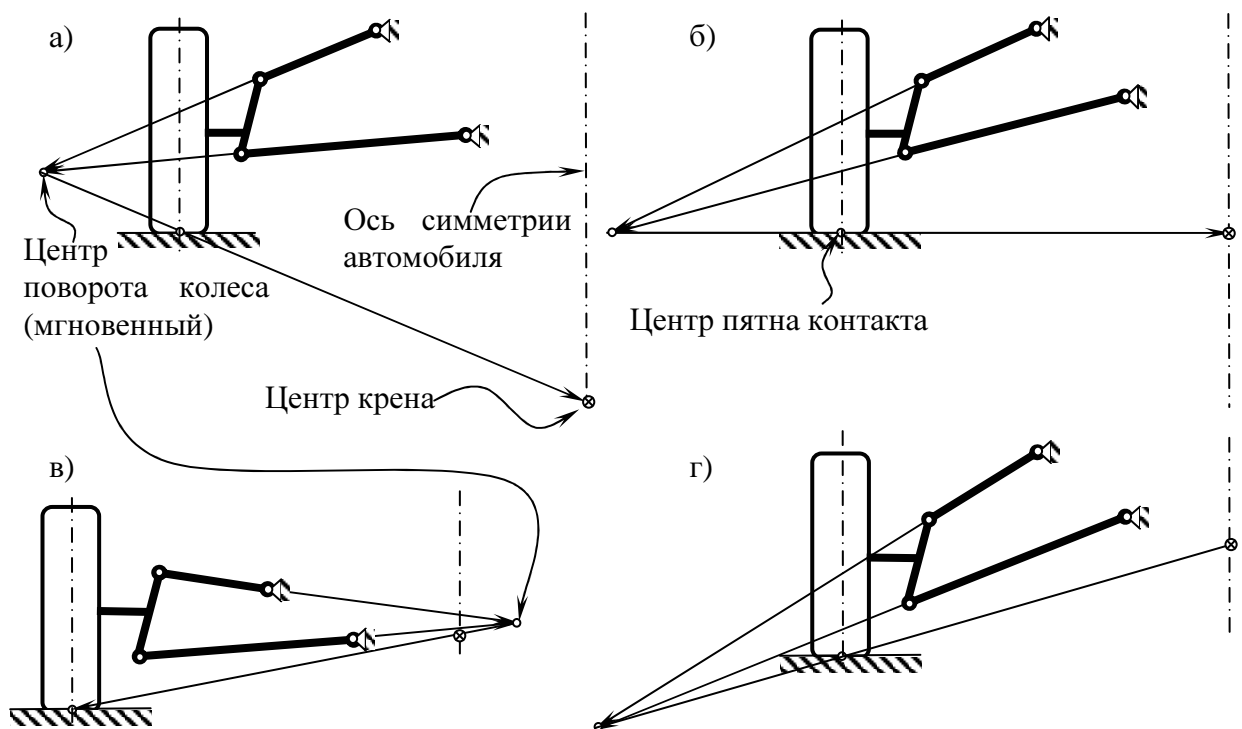


Рис. 1.11. Схема определения центра крена подвески на двойных поперечных рычагах:
 а, б – с центром крена, расположенным под дорогой и на ее уровне соответственно; в, г – с центром крена, расположенным над дорогой

жении центра крена на уровне дороги кренящий момент значителен, но только при такой кинематической схеме подвеска может передать максимальную боковую силу, что обеспечивает максимальную скорость прохождения поворотов. В этом случае с кренами борются повышением угловой жесткости подвески, внедрением стабилизатора поперечной устойчивости;

- оптимальное расположение центра продольного крена (клевка). При $a=0$ (рис. 1.12) вся тормозная сила направлена на остановку автомобиля, при $a>0$ часть ΔR_z тормозной силы R_T перенаправляется на подъем (удержание от клевка) передней части автомобиля. Отсюда вывод: противоклевковый эффект ухудшает тормозные свойства автомобиля;

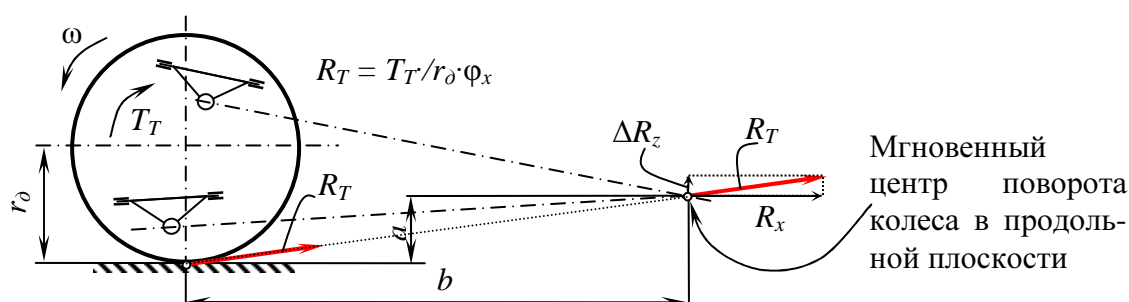


Рис. 1.12. Схема формирования подъемной силы на передней оси при торможении (антиклевковый эффект)

- оптимальное изменение угла схождения переднего колеса в процессе перераспределения на него вертикальной нагрузки в повороте (внешнее по отношению к центру поворота колесо);
- изменение в сторону положительного схождения заднего колеса (подруливающий эффект) в процессе перераспределения на него вертикальной нагрузки в повороте (внешнее по отношению к центру поворота колесо).

Эти свойства подвески часто противоречат друг другу. Искусство конструктора заключается в том, чтобы найти оптимальные для проектируемого автомобиля значения параметров. Например, автомобиль не может иметь одновременно мягкую подвеску и максимально быстро проходить повороты: либо комфорт, либо скорость.

1.1.5. Система курсовой стабилизации

Появление системы курсовой стабилизации автомобиля (*ESP*^{*}) создало

^{*} *ESP (Elektronisches Stabilitätsprogramm)* – наиболее распространенное обозначение. Однако каждый производитель в праве называть систему по-своему: *ASC (Active Stability Control)* – Mitsubishi; *CST (Controllo Stabilità)* – Ferrari; *DSC (Dynamic Stability Control)*, BMW, Ford (только в Австралии), Jaguar, Land Rover, Mazda, MINI и др. см. http://ru.wikipedia.org/wiki/Электронный_контроль_устойчивости

предпосылки для резкого снижения самой вероятности ДТП, не говоря уж о жертвах. Исследования в области безопасности транспортных средств в США дали следующие результаты*.

Из 28 252 человек, погибших в ДТП в США за 2004 год, свыше половины (15 007) погибли в авариях *одиночных* автомобилей (столкновение с деревом, столбом, забором, опрокидывание в результате заноса и т.д.). Из них 8 460 приходится на аварии с опрокидыванием. Опрокидывание одиночных автомобилей в результате ДТП приблизительно в 95 % случаев было обусловлено такими факторами, как бордюры, мягкая почва, рытвины, защитные рельсы и врезание ободьев колес в проезжую часть (часто из-за незначительного на первый взгляд снижения давления в шинах).

Около 1,1 млн. ранений было нанесено в результате ДТП, последствия которых можно было бы смягчить, если использовалась бы система *ESP*. При этом почти 500 000 ранений приходится на аварии одиночных транспортных средств (из которых практически половина перевернулись). На ДТП с участием нескольких автомобилей, последствия которых можно было бы смягчить с помощью *ESP*, приходится 13 245 случаев со смертельным исходом и практически 600 000 ранений.

ДТП с опрокидыванием – это сложный случай, отражающий взаимодействие водителя, дороги, транспортного средства и окружающих факторов. Взаимосвязь между этими факторами и риском опрокидывания можно описать с помощью данных, полученных в ходе проведенных программ сбора данных о ДТП. По данным США за 2004 год, в результате опрокидывания автомобилей малой грузоподъемности погибло 33 % от всей численности водителей и пассажиров, погибших на протяжении указанного года в ДТП в США. 74 % от общего числа погибших в результате опрокидывания одиночных транспортных средств, не пользовались ремнем безопасности, а 61 % были частично или полностью выброшены из транспортного средства (включая 50 % тех, кто был выброшен из транспортного средства полностью). Выброшенные во время ДТП из автомобиля в 94 % случаев погибают и только у 6 % есть шанс выжить.

Таким образом, 80 % ДТП с участием *одиночных* автомобилей, можно было бы не допустить, если бы автомобили были оборудованы системой *ESP*, погибло бы не 15 тыс. человек, а только 3 тыс., следовательно, 12 тыс. жизней были бы сохранены. Влияние системы *ESP* на статистику ДТП с участием *нескольких* автомобилей меньше, но остается весьма значимым.

В связи с высокой эффективностью *ESP* оснащение ею базовых комплектаций автомобилей станет (или уже стало) обязательным:

- с 1 января 2010 года в Израиле;

* см. Глобальные технические правила ООН № 8 «Электронные системы контроля устойчивости» (Введены в Глобальный регистр 26 июня 2008 года)

- с 1 сентября 2011 год в Канаде, для всех новых пассажирских автомобилей;
- с 1 ноября 2011 года в Австралии, для всех пассажирских автомобилей;
- с 1 ноября 2011 года в Евросоюзе, для всех продаваемых автомобилей;
- с 2011 года в США, для всех пассажирских автомобилей, весом менее 4536 кг (10 000 фунтов);
- с 1 сентября 2014 в России, но только для новых *типов* автомобилей, т.е. поставленных на конвейер после этой даты.

ESP работает следующим образом.

Система постоянно отслеживает информацию от всех датчиков, характеризующих движение автомобиля. Сравнив положение руля и вектор движения (от датчиков ускорений и поворота автомобиля), она делает вывод об их совпадении или несовпадении. В последнем случае вырабатывается команда исполнительным механизмам об управляющих воздействиях:

Во-первых, путем управления положением дроссельной заслонки, регулирует (уменьшает) тягу на ведущих колесах для того, чтобы у шин появился запас по боковой реакции. Во-вторых, подает тормозной момент на одно из колес, тем самым поворачивая автомобиль в ту или иную сторону. В зависимости от того, на какое колесо подается тормозной момент, изменяется характер управляемости автомобиля (рис. 1.13):

- при торможении задним колесом управляемость автомобиля становится избыточной, и он легче входит в поворот (фаза 1, 3);
- при торможении передним колесом управляемость автомобиля становится недостаточной, и он легче выходит из поворота (фаза 2, 4);
- тормозной момент всегда подается на заднее внутреннее колесо (по отношению к центру поворота) или на переднее наружное колесо.

Потеря устойчивости автомобиля происходит чаще всего в фазе 3 (на

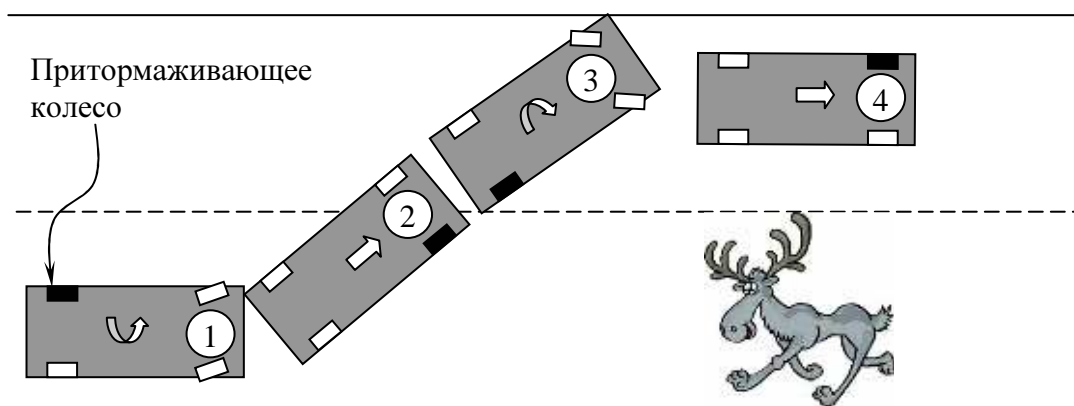


Рис. 1.13. Схема работы системы *ESP* при выполнении маневра «переставка»:
 1 – фаза входа в левый поворот – тормозит заднее левое колесо; 2 – фаза выхода из левого поворота – тормозит переднее правое; 3 – фаза входа в правый поворот – тормозит заднее правое; 4 – фаза выхода из поворота – тормозит переднее левое

встречной полосе!), что приводит к заносу и, часто, к опрокидыванию автомобиля.

Такая стратегия управления позволяет облегчить прохождение поворотов, выполнение маневров типа «переставка» («лосиный тест»). Однако следует всегда помнить, что обойти законы физики система не может.

Кроме всех вышерассмотренных свойств автомобиля на его активную безопасность влияют:

- системы предупреждения аварийной ситуации, в том числе:
 - система контроля давления воздуха в шинах;
 - система контроля «мертвых» зон;
 - система предупреждения водителя и торможения автомобиля в условиях городского трафика (*City Safety*);
 - система предупреждения водителя и торможения автомобиля в условиях скоростного движения;
 - адаптивная система головного света;
 - система предупреждения о пересечении линии дорожной разметки;
 - система предупреждения о потере водителем внимания;
- системы облегчения труда водителя:
 - климатическая система;
 - автоматическая система управления коробкой передач (АКП);
 - система поддержания заданной скорости (круиз-контроль);
 - системы помощи при трогании с места и движении вниз или вверх по склону;
 - система поддержания траектории, повторяющей траекторию впереди идущего автомобиля, с заданной дистанцией до него (ведутся исследования);
- и т.д.

1.2. Пассивная безопасность автомобиля

Пассивная безопасность предполагает совокупность таких свойств автомобиля, которые снижают вероятность нанесения и тяжесть травм водителю и пассажирам в случае столкновения автомобиля с внешним препятствием (внутренняя безопасность), а также пешеходам, велосипедистам и мотоциклистам (скутеристам) при наезде на них (внешняя безопасность).

Конструкторы современных автомобилей добились хороших результатов в обеспечении внутренней безопасности автомобиля. Однако в обеспечении внешней безопасности остается множество проблем.

Анализ статистики дорожно-транспортных происшествий, в которых пострадали или погибли люди, показал, что наиболее вероятным местом, которым сталкивается автомобиль, является передняя левая (точнее водитель-

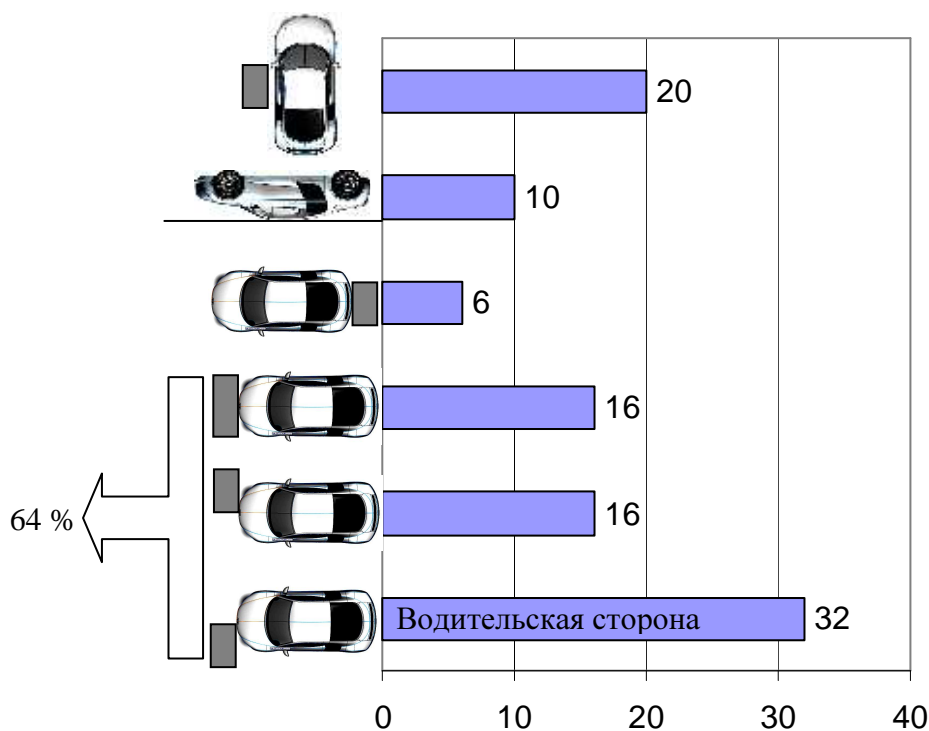


Рис. 1.14. Распределение ДТП, в которых были пострадавшие или погибшие, по виду столкновения, % [5]

ская) сторона – 32 % (рис. 1.14). А если учесть ДТП средней и правой передней частями автомобиля – то это все 64 %. Таким образом, лобовое столкновение является наиболее вероятным. Опрокидывание случается лишь в 10 % ДТП, хотя вероятность гибели людей при этом во много раз больше (см. п. 1.1.5). Высока вероятность тяжелых последствий и при ударе сбоку.

Наезд сзади наименее вероятное событие (всего 6 %) с точки зрения тяжелых последствий. Однако в эту статистику не вошли случаи, когда пострадавшие обратились с травмами через несколько часов после ДТП. Дело в том, что при наезде сзади возникает так называемая «хлыстовая травма» шейного отдела позвоночника, которая в первое время на фоне стресса не вызывает беспокойства. Однако затем оказывается, что эта травма плохо лечится, а иногда остается пожизненно. Поэтому в 2008 году принято Глобальное правило №7, касающееся требований к подголовникам (все Глобальные правила обязательны к применению в РФ).

На тяжесть последствий влияет не только конструкция автомобиля, но и его масса. Причем в некоторых случаях масса участвующих в ДТП автомобилей будет определять тяжесть последствий. Ведь ни у кого не возникнет сомнений в результатах лобового столкновения легкового автомобиля (пусть даже самого безопасного в мире!) и тяжелого грузовика. Только в этом случае скорости автомобилей складываются и оказываются критическими для легкого автомобиля (закон импульсов). При столкновении автомобилей одинаковой массы скорости не складываются! Именно поэтому большинство краш-тестов производится для одного автомобиля (имитируется столкнове-

ние двух одинаковых автомобилей).

В условиях современного движения на городских и загородных дорогах высока вероятность столкновения с наиболее часто встречающимся автомобилем – массой около 1200...1500 кг. Поэтому для автомобилей массой более 2500 кг сертификационные требования по пассивной безопасности резко упрощены: вероятность пострадать, а тем более погибнуть, в таком автомобиле сравнительно низкая.

Статистический анализ ДТП показал, что в большинстве случаев водители предпринимают экстренное торможение, но полностью загасить скорость не успевают. Поэтому краш-тесты проводят на скорости 56...64 км/ч – это та скорость, до которой успевают замедлиться автомобили.

Пассивная безопасность автомобиля реализуется по нескольким направлениям:

- снижение уровня нагрузок, действующих на людей, гашение энергии удара за счет формирования энергопоглощающих зон деформации кузова автомобиля;
- применение удерживающих систем;
- снижения длительности запредельных нагрузок путем создания систем перераспределения энергии удара.

Для снижения уровня перегрузок создаются такие конструкции автомобилей, которые бы обеспечивали равнозамедленное движение автомобиля в процессе столкновения. Ведь если конструкция автомобиля обеспечивает эту равнозамедленность, то при длине зоны энергопоглощения в 1 м (длина капота) остаются шансы на выживание даже на скорости 40 м/с (144 км/ч) – перегрузка около 80g* при смертельно опасных 100g. Но таких автомобилей пока нет. На «городской» скорости 15 м/с при равнозамедленном(!) движении автомобиля перегрузки вовсе не травмоопасны – около 12g. Летчики спортивных самолетов выдерживают перегрузки до 15g и при этом управляют самолетом. Однако следует заметить, что для нетренированного на перегрузки человека уже 3g приводит к кратковременному ухудшению зрения, а 4g – к потере сознания. Ни о каком «я сгруппируюсь» или «выставлю руки» в таком случае речи идти не может, а если руки выставить заранее, то они не выдержат – вес человека увеличивается во столько раз, во сколько раз замедление больше ускорения свободного падения. При «безобидных» 12g вес человека превысит тонну. К тому же длительность столкновения 60...120 мс меньше длительности фазы закрытия глаза при обычном моргании (150 мс). Пословица «глазом не успеешь моргнуть» подходит именно для ДТП на современных скоростях.

Для создания зон кузова с программируемым деформированием ис-

* $80g = 80 \times 9,81 \approx 800 \text{ м/с}^2$

пользуют разные материалы: например, предел прочности листовой стали разных элементов конструкции кузова колеблется в пределах от 140 до 1200 МПа, изменяется толщина элементов, сечение, конфигурация. Некоторые зоны специально ослабляются, некоторые усиливаются.

Однако проблему можно решить только комплексно: создается зона распределения и перераспределения нагрузки от бампера на оба лонжерона автомобиля, усилители крыльев, поперечины и т.д. Зона размещения людей, напротив, должна выдержать все удары без существенных деформаций, обеспечивая жизненное пространство внутри автомобиля. Удерживающие системы – ремни безопасности, преднатяжители ремней – должны обеспечить синхронное замедление автомобиля и пассажиров. Лучших результатов можно добиться за счет применения многоточечных ремней безопасности, устанавливаемых на спортивных автомобилях. Однако многим не нравится, как ограничивают свободу обычные инерционные ремни, что же говорить о спортивных ремнях, которые затягивают «на выдохе» гонщика.

Перераспределение энергии удара обеспечивают такие системы, как ограничители усилия на ремни, подушки безопасности (одно и/или двух уровневые, фронтальные и боковые, «шторки» и поясные, коленные и т.д.).

1.3. Послеаварийная безопасность автомобиля

Несмотря на совершенствование систем активной и пассивной безопасности современных автомобилей, тем не менее, количество пострадавших и погибших в результате ДТП остается высоким. Немалый «вклад» в эту статистику вносит и послеаварийная безопасность автомобиля. К числу опасных явлений, усугубляющих последствия ДТП, относят:

- опрокидывание автомобиля, в результате которого затрудняется эвакуация пассажиров из салона (затруднен доступ в салон, при освобождении из ремней безопасности человек падает, что может привести к новым травмам);
- пожар в результате короткого замыкания в электропроводке, разлива топлива, попадания горючих материалов на трубопровод выхлопной системы;
- заполнение водой затонувшего автомобиля;
- заклинивание дверей.

Эффективность снижения тяжести ДТП часто определяется временем эвакуации пострадавших из поврежденного автомобиля, что характеризует его эвакуационную способность.

В результате повреждения при ДТП элементов топливной системы автомобиля и соприкосновения паров топлива с горячими элементами пострадавшего автомобиля или образовавшейся искрой может возникнуть пожар. В шоковом состоянии пассажиры дезориентированы и поэтому не могут поки-

нуть автомобиль.

К элементам послеаварийной безопасности относят средства противопожарной безопасности, средства высвобождения и эвакуации людей из поврежденного автомобиля.

Транспортные средства должны иметь аварийные выключатели, снижающих опасность возникновения пожара при ДТП. Выключатели должны автоматически отключать аккумуляторную батарею от бортовой сети.

Автомобиль, не зависимо от размеров, полностью сгорает очень быстро: не более, чем за 10...15 минут.

В случае пожара люди, не успевшие покинуть горящий автомобиль, могут задохнуться. Поэтому при выборе материалов для автомобиля необходимо учитывать состав выделяющихся при их горении газов.

В последнее время в состав оборудования автомобиля все чаще включают систему оповещения экстренных служб о месте (*GPS*-координаты) и характере ДТП (столкновение, опрокидывание, пожар и т.д.). Ведутся дискуссии о внедрении в автомобили «черных ящиков».

1.4. Контрольные вопросы

1. Что входит в понятие «активная безопасность»?
2. Что входит в понятие «пассивная безопасность»?
3. Что входит в понятие «послеаварийная безопасность»?
4. Какие свойства шин влияют на активную безопасность?
5. От чего зависят сцепные свойства шин?
6. Чем отличаются (свойства, обозначение) зимние и летние шины?
7. Как влияют размеры шин на активную безопасность?
8. От чего зависит сопротивление уводу шин?
9. На что влияет несущая способность шин?
10. Как связаны скоростные характеристики шины с ее устойчивостью к перегреву?
11. Что такое стабилизирующее свойство шин?
12. Какие размеры колес (дисков) влияют на активную безопасность?
13. Какие системы входят в тормозное управление?
14. Какие правила ЕЭК ООН регламентируют тормозные свойства?
15. Что такое антиблокировочная система?
16. Что показывает $\phi-S$ (фи-эс) диаграмма?
17. Что такое система *EBD*?
18. От чего зависит тормозной баланс?
19. Что такое система *BA*?
20. что такое замедлитель?
21. Какое правило ЕЭК ООН регламентирует управляемость?

22. Что такое развал колес и чем он вызван?
23. Замен делают развал задних колес?
24. Что такое схождение колес и чем оно вызвано?
25. От чего зависит силовая стабилизация управляемых колес?
26. От чего зависит скоростная стабилизация управляемых колес?
27. Что такое плечо обкатки на какие свойства автомобиля он влияет?
28. Что такое «торможение на миксте»?
29. Как изменяется развал колес на ходе сжатия подвески?
30. Как изменяется схождение колес в зависимости от режима качения колеса?
31. Что такое «центр крена» подвески и на что он влияет?
32. Что такое ось поперечного крена?
33. Что такое «центр продольного крена» и на что влияет его положение?
34. Что такое система *ESP*?
35. Каковы принципы работы *ESP*?
36. Какие виды испытаний на пассивную безопасность проводятся при сертификации автомобилей?

2. Требования к пассивной безопасности автомобилей

2.1. Оценка пассивной безопасности автомобилей с помощью манекенов

2.1.1. Общие принципы

Наиболее достоверным критерием оценки эффективности свойств автомобиля является тяжесть травмирования человека при ДТП.

Критерий, характеризующий способность организма переносить определенную перегрузку в течение заданного промежутка времени без получения тяжелых и необратимых травм, называется переносимость перегрузок.

Переносимость может быть глобальной и локальной. Глобальной называется нагрузка воспринимаемая всем организмом (например, в самолете, в тренировочной центрифуге). Локальные нагрузки встречаются чаще – удар какой-либо частью тела о препятствие.

При ДТП на человека действуют, главным образом, локальные нагрузки, связанные с взаимодействием различных частей организма с удерживающими системами, в первую очередь, ремнями безопасности. Глобальные нагрузки значительно меньше локальных, и поэтому их, как правило, не учитывают (рис. 2.1).

Длительность действия нагрузки – чрезвычайно важный фактор при ударном взаимодействии (рис. 2.2). Короткие по длительности нагрузки (а, следовательно, характеризующиеся малой амплитудой перемещений частей организма) воспринимаются как вибрация. Такие нагрузки живой организм переносит относительно легко. Начиная с некоторой длительности ударной нагрузки повреждения становятся необратимыми. Для головы человека кри-

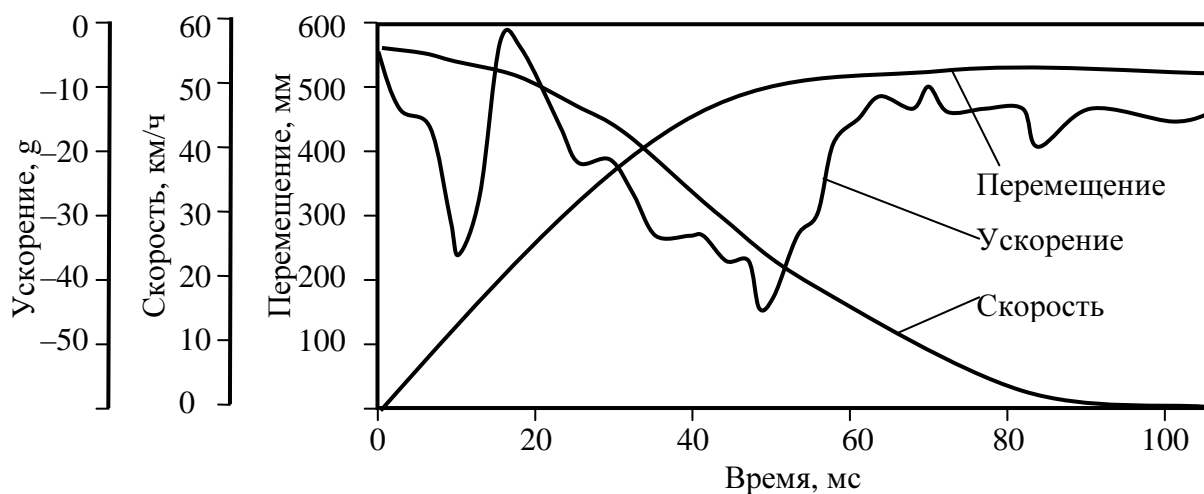


Рис. 2.1. Ускорение, скорость и перемещение основания средней стойки (со стороны удара) легкового автомобиля при испытании на пассивную безопасность по Правилу № 94 ЕЭК ООН

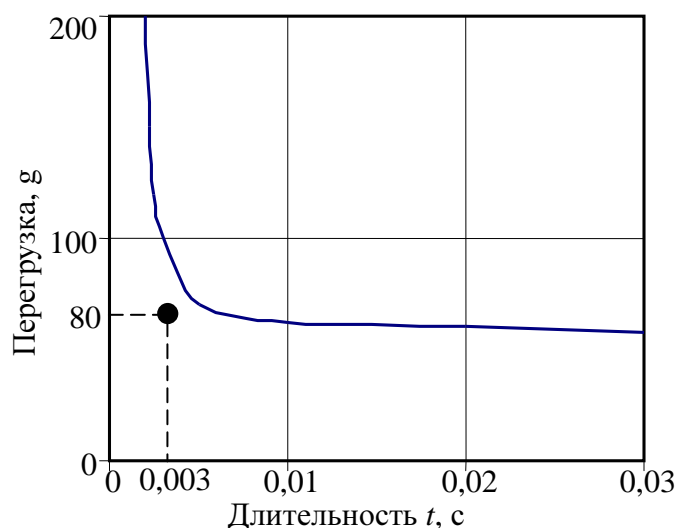


Рис. 2.2. Зависимость предельно допустимого среднего замедления головы человека от продолжительности удара

тической считается нагрузка около 80g при длительности воздействия более 3 мс: если нагрузка не превысит 72g, то вероятность травм низкая, если превысит 88g, то тяжелые травмы неминуемы.

Испытания автомобиля могут быть сертификационными, т.е. если автомобиль выдержал эти испытания, то ему выдается «одобрение типа транспортного средства», что разрешает производство и продажу таких транспортных средств на территориях тех стран, где эта сертификация признается.

В последние годы получили широкое распространение испытания на пассивную безопасность автомобилей, проводимые независимыми (не производителями автомобилей) организациями*:



– испытания, проводимые газетой «Авторевю»;



– Европейский комитет испытания новых автомобилей *EuroNCAP*;



– Американское управление дорожной безопасности *NHTSA*;



– Американский Институт страхования и дорожной безопасности *IIHS*;



– Австралийский комитет *ANCAP*;

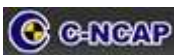
* см. http://www.autoreview.ru/arcap/other_independent_crash_tests/



– Японское Национальное агентство по автомобильной безопасности и помощи жертвам аварий *NASVA*;



– Корейский комитет *KNCAP*;



– Китайский комитет *C-NCAP*;



– Южноамериканский комитет *LatinNCAP*.

Результаты большинства таких испытаний не являются обязательными для производителей автомобилей (кроме американских, *NHTSA* – сертификационный орган), но они широко освещаются в прессе, влияют на продажи автомобилей и поэтому производители не могут их игнорировать. По результатам своих испытаний независимые эксперты выставляют баллы за безопасность автомобиля, в отличие от сертификационных испытаний, где проверяется только соответствие Правилам ЕЭК ООН (соответствует, не соответствует). Тем не менее, сама процедура независимых испытаний (и критерии травмирования) часто базируется на методике Правил ЕЭК ООН (но не ограничивается ею), однако на большей скорости (например, при лобовом столкновении 64 км/ч вместо 56 км/ч, регламентированных Правилами).

2.1.2. Манекен *HYBRID III*

Манекен *HYBRID III* применяется при продольных нагрузках (фронтальный удар). Манекен имеет датчики инерции в центре масс головы, силоизмерительные датчики изгиба, растяжения и сдвига шеи, прогиба грудины, измеритель осевой силы бедренной кости, сил и моментов в коленном и голеностопном суставах и некоторые другие датчики (всего около 30 датчиков). Рассмотрим основные критерии травмирования, определяемые с помощью манекена *HYBRID III*.

Критерий травмирования головы *HPC (HIC)* (*Head Performance/injury Criterion*).

При сертификационных испытаниях автомобиля на пассивную безопасность принято, что если голова манекена не коснулась интерьера, то испытание пройдено. Если же произошел контакт с какой-либо деталью, то вычисляется критерий вероятности повреждения головы при ударе:

$$HPC = (t_2 - t_1) \cdot \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a \cdot dt \right]^{2,5},$$

где t_1, t_2 – время начала и окончания контакта головы с препятствием, с; a –

нагрузка (ускорение) в долях g ; dt – шаг интегрирования не более $1,25 \cdot 10^{-4}$ с.

Критерий HPC не должен превысить значение 1000. Если ударов несколько, то для каждого из них вычисляется свой HPC .

Таким образом, сертификационные требования к автомобилю, относящиеся к «травмированию» головы манекена можно сформулировать следующим образом: ускорение центра масс головы манекена не должно превышать $80g$ в течение 3 мс и, в случае удара(ов) головой о любое препятствие, критерий HPC не должен превысить значение 1000.

Критерий травмирования шеи NIC (*Neck Injury Criteria*) (1).

Если человека посадить в анатомическое кресло (повторяющее все его формы) и прочно, множеством широких и достаточно жестких ремней закрепить его в нем (в том числе и голову), то замедление испытуемого не превысит $40g$, что, конечно же, неприятно, но, в общем, безопасно. Однако ни один человек не согласится сидеть в таком кресле больше 5 минут. Современные ремни безопасности ограничивают (но не фиксируют) перемещение корпуса тела. Поэтому при лобовом столкновении корпус человека под действием инерционных нагрузок наклоняется вперед, ремни вытягиваются. При этом шея подвергается растягивающему действию, равному массе головы умноженной на ускорение. Если сила растяжения шеи превысит некоторую величину, изменяющуюся в зависимости от длительности действия нагрузки, то неминуема травма шеи (рис. 2.3).

Критерий травмирования шеи NIC (2).

При ударе головой о препятствие контролируется сила, сдвигающая голову относительно шеи (первого шейного позвонка) в направлении спереди назад. Сила не должна превышать соответствующую предельную величину (рис. 2.4).

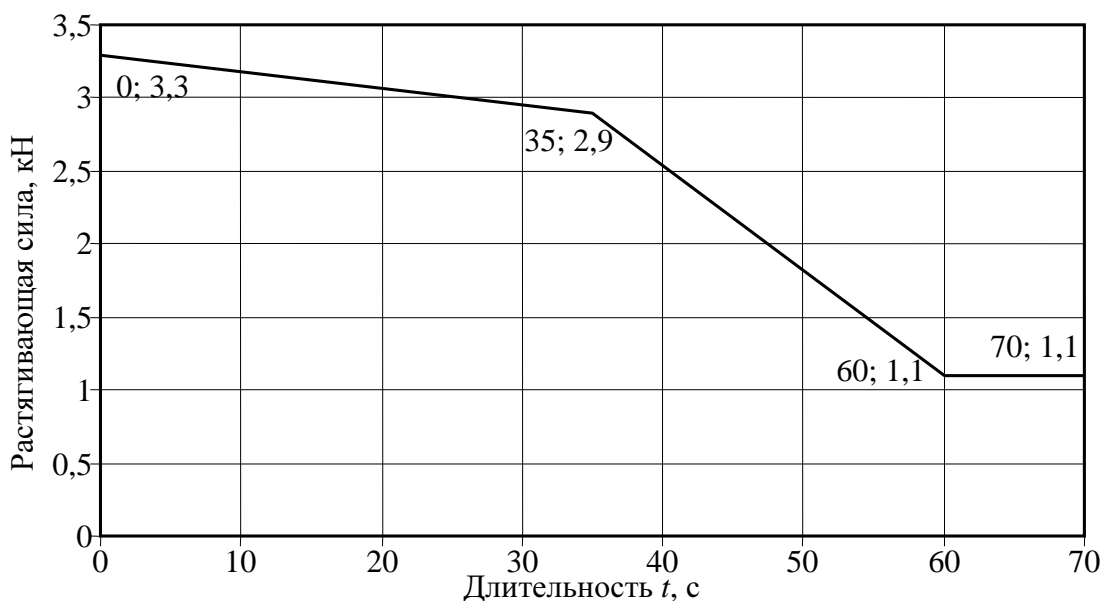


Рис. 2.3. Зависимость предельно допустимой растягивающей шеи силы от длительности действия нагрузки

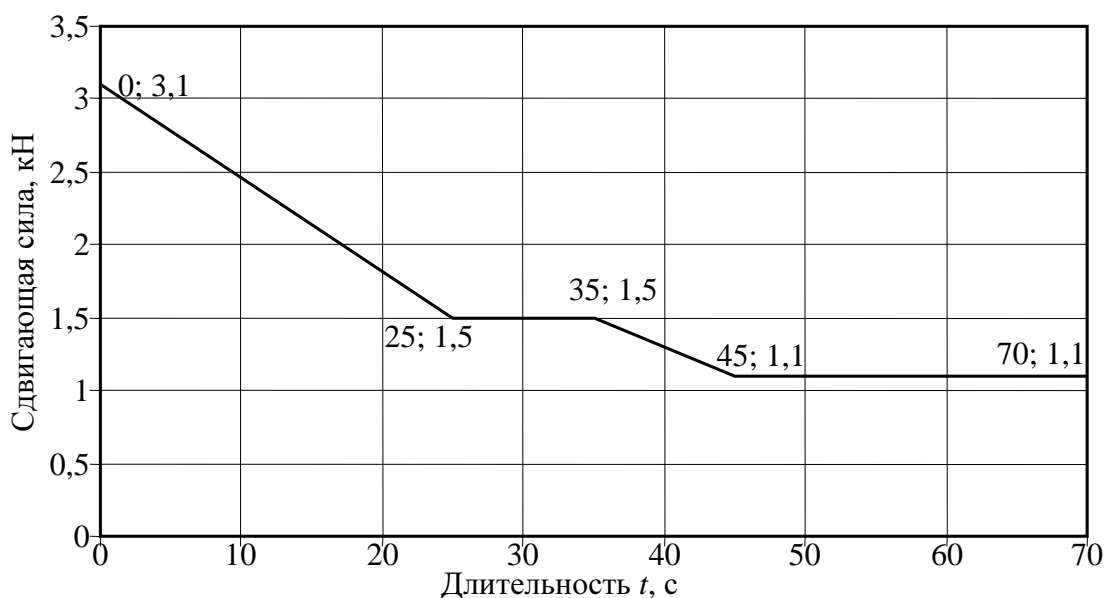


Рис. 2.4. Зависимость предельно допустимой силы сдвига шеи от длительности действия нагрузки

Критерий травмирования шеи *NIC* (3).

Изгибающий момент на шейных позвонках не должен превышать 57 Н·м.

Критерий травмирования грудной клетки *ThCC* (*Thorax Compression Criterion*).

Критерий травмирования грудной клетки определяется на основе абсолютного значения деформации грудной клетки между грудиной и позвоночником, выраженного в мм. Величина критерия сжатия грудной клетки *ThCC* не должна превышать 50 мм.

Показатель по мягким тканям *VC* (*Viscous Criterion*).

Показатель по мягким тканям *VC* рассчитывается как произведение мгновенного значения деформации грудной клетки и мгновенной скорости ее деформации:

$$VC = \max \left[\frac{D}{0,229} \cdot \frac{dD}{dt} \right],$$

где D – смещение грудины, м; 0,229 – стандартная ширина (по оси x) грудной клетки (229 мм).

Величина критерия по мягким тканям *VC* для грудной клетки не должна превышать 1,0 м/с.

Критерий травмирования бедра *FFC* (*Femur Force Criterion*).

Этот критерий определяется на основе сжимающей нагрузки, выраженной в кН, передаваемой по оси к каждому бедру манекена (рис. 2.5).

Критерий сжатия голени *TCFC* (*Tibia Compressive Force Criterion*).

Критерий сжимающего усилия голени определяется на основе сжимающей нагрузки (F_z), выраженной в кН, передаваемой по оси к каждой го-

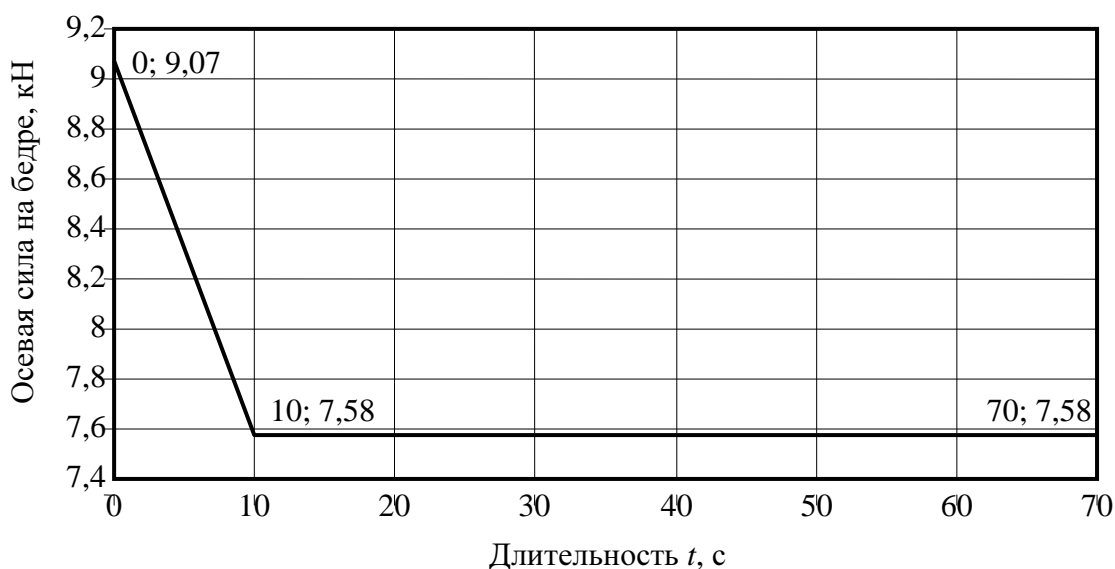


Рис. 2.5. Зависимость предельно допустимой осевой силы на бедре от длительности действия нагрузки

лени манекена. Критерий *TCFC* не должен превышать 8 кН.

Показатель травмирования голени *TI* (*Tibia Index*).

Показатель травмирования голени *TI* рассчитывается на основе изгибающих моментов (M_x и M_y) по следующей формуле:

$$TI = \left| \frac{M_R}{(M_C)_R} \right| + \left| \frac{F_Z}{(F_C)_Z} \right|; \quad M_R = \sqrt{M_x^2 + M_y^2},$$

где M_x – изгибающий момент по оси x ; M_y – изгибающий момент по оси y ; $(M_C)_R$ – критический изгибающий момент, равный 225 Н·м; F_Z – осевое сжимающее усилие по направлению z , $(F_C)_Z$ – критическое сжимающее усилие по направлению z , равное 35,9 кН.

Показатель травмирования голени *TI* рассчитывается для верхней и нижней точки каждой голени отдельно, причём ни в одной из точек не должен превышать 1,3 единиц. Кроме того, при испытании не допускается смещение подвижных коленных шарниров больше чем на 15 мм.

2.1.3. Манекен *EUROSID-1*

Манекен *EUROSID-1* применяют при боковом ударе. Также как и *HYBRID III*, манекен имеет датчики инерции в центре масс головы. Однако нет датчиков в шее, груди и на ногах, но есть датчики на ребрах в брюшной секции и в лонном сочлении таза (рис. 2.6).

Критерий травмирования головы *HPC* (*HIC*). (см. п.2.1.2).

Показатели травмирования грудной клетки оцениваются также как при фронтальном ударе, но контролируется деформация ребер, а не грудины.

Показатель отклонения ребер *RDC* (*Rib Deflection Criterion*).

RDC – пиковое значение смещения грудной клетки – это максимальное значение смещения любого ребра.

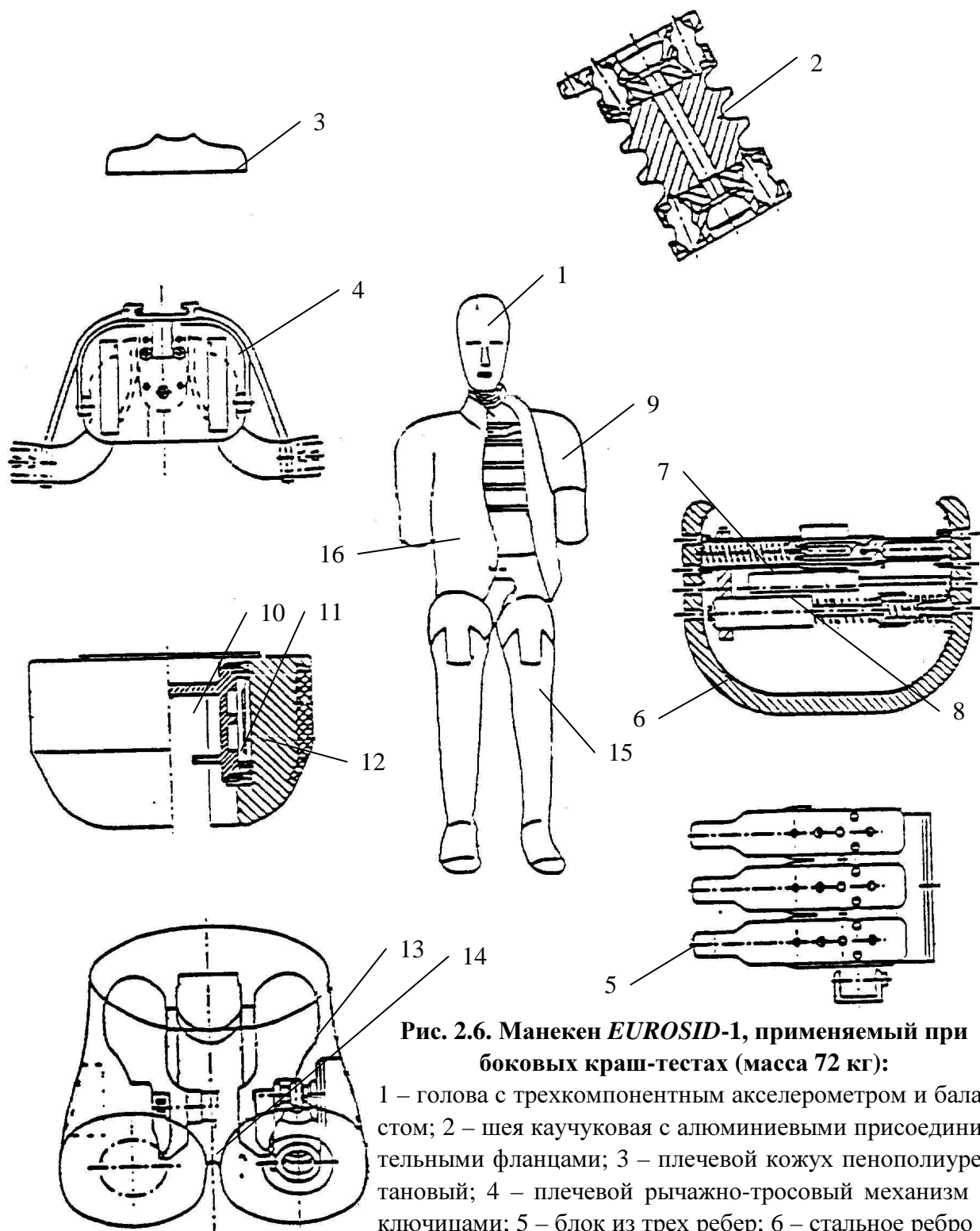


Рис. 2.6. Манекен EUROSID-1, применяемый при боковых краш-тестах (масса 72 кг):

1 – голова с трехкомпонентным акселерометром и балластом; 2 – шея каучуковая с алюминиевыми присоединительными фланцами; 3 – плечевой кожух пенополиуретановый; 4 – плечевой рычажно-тросовый механизм с ключицами; 5 – блок из трех ребер; 6 – стальное ребро с пенополиуретановым покрытием; 7 – гидравлический амортизатор с регулируемой пружиной; 8 – датчик смещений; 9 – руки без предплечий и кистей; 10 – металлический литой каркас брюшной секции; 11 – три датчика нагрузки (с каждой стороны); 12 – профилированный резиновый баллон, заполненный свинцовыми гранулами; 13 – таз, выполненный из стали, алюминия и полиуретана и имеющий стальные шаровые тазобедренные суставы; 14 – датчик нагрузки в лонном сочленении таза; 15 – ноги с коленным и голеностопным суставами, имеющими возможность только сгибаться–разгибаться; 16 – костюм, имитирующий кожу и покрывающий плечи, грудную клетку, брюшную секцию и таз

RDC не должен превышать 42 мм.

Показатель по мягким тканям *VC* (*Soft Tissue Criterion*).

VC – пиковое значение реакции мягких тканей – это максимальное значение показателя *VC* для любого ребра, которое рассчитывается как произведение мгновенного значения относительного сжатия грудной клетки и скорости сжатия:

$$VC = \max \left[\frac{D}{0,14} \cdot \frac{dD}{dt} \right],$$

где *D* – смещение ребер, м; 0,14 – стандартная ширина (по оси *y*) одной стороны грудной клетки (140 мм).

VC не должен превышать 1,0 м/с.

Показатель травмирования брюшной секции *APF* (*Abdominal Peak Force*).

APF – пиковая нагрузка на брюшную секцию – это максимальное значение суммы трех сил, измеренных при помощи датчиков, установленных на глубине 39 мм от поверхности брюшной секции манекена со стороны удара.

APF не должен превышать 6 кН.

Показатель травмирования таза *PSPF* (*Pubic Symphysis Peak Force*).

PSPF – пиковая нагрузка на лонное сочленение – это максимальная нагрузка, измеренная с помощью датчика в районе лонного сочленения.

Пиковая нагрузка по *PSPF* не должна превышать 2,5 кН внутренней нагрузки, что соответствует внешней нагрузке 4,5 кН.

2.2. Сертификационные испытания легковых автомобилей

2.2.1. Виды испытаний легковых автомобилей и их компонентов

На *внутреннюю пассивную безопасность* при сертификации автомобиля испытывают по нескольким Правилам ЕЭК ООН:

- № 12 – Защита водителя от удара о систему рулевого управления автомобиля категории M_1 и N_1 при фронтальном ударе на скорости 50 км/ч со 100 %-ным перекрытием о жесткий барьер;
- № 94 – Пассивная безопасность при фронтальном ударе на скорости 56 км/ч с 40 %-ным перекрытием о сминаемый барьер;
- № 95 – Пассивная безопасность неподвижного автомобиля при боковом ударе на скорости 50 км/ч подвижным сминающимся барьером.

Предъявляются требования к *компонентам* автомобиля и местам их крепления:

- Правило ЕЭК ООН № 14 – Требования к местам крепления ремней безопасности;
- Правило ЕЭК ООН № 16 – Требования к ремням безопасности и другим

- удерживающим системам;
- Правило ЕЭК ООН № 17 – Требования к прочности сидений и их креплений;
 - Правило ЕЭК ООН № 21 – Требования по травмобезопасности внутреннего оборудования;
 - Глобальное Правило ООН № 1 (будет введено взамен правила ЕЭК ООН № 11) – Требования к замкам и петлям дверей;
 - Глобальное Правило ООН № 6 (будет введено взамен правила ЕЭК ООН № 43) – Требования по оснащению безопасными стеклами;
 - Глобальное Правило ООН № 7 (будет введено взамен правила ЕЭК ООН № 25) – Требования к подголовникам сидений.

Внешняя безопасность автомобиля регламентируется:

- Правило ЕЭК ООН № 26 – Требования к травмобезопасности наружных выступов;
- Глобальное Правило ООН № 9 (с 1.01.2016 г.) – Обеспечение защиты пешеходов.

Противопожарные требования регламентированы:

- Правилами ЕЭК ООН № 34;
- Правилами ЕЭК ООН № 67 – требования к автомобилям, работающим на сжиженном нефтяном газе («пропан»).

Следует заметить, что со временем все Правила ЕЭК ООН заменят Глобальными правилами ООН. Дело в том, что правила ЕЭК ООН «работают» в основном в Евросоюзе, России и в некоторых других странах. В США, Японии, Бразилии, Австралии и др. странах применяются свои Правила. В связи с расширением и взаимным проникновением рынков сбыта продукции появилась необходимость в унификации Правил в разных странах. Подразделение WP29 ООН начала работу по гармонизации Правил. В качестве основы взяты Правила ЕЭК ООН. На ноябрь 2011 года принято 11 Глобальных Правил, которые страны-участницы* соглашения обязаны ратифицировать в кратчайшие сроки.

Все правила принимаются только консенсусным голосованием (все должны быть «за»).

Рассмотрим некоторые ключевые Правила.

2.2.2. Испытание по Правилу ЕЭК ООН № 94

Объект испытания.

Испытанию подвергаются только автомобили категории M_1 полной массой не более 2,5 т. В момент испытания автомобиль должен быть в сна-

* Евросоюз, США, Япония, Россия и др. Новые страны могут присоединиться к соглашению.

ряженном состоянии, заправлен всеми смазочными и охлаждающими жидкостями, топливный бак заполнен негорючей жидкостью на 90 %, укомплектован запасным колесом и инструментом (если комплектуется).

Комментарий.

Испытание имитирует смещенное лобовое столкновение одинаковых автомобилей с 40 %-ным перекрытием водительских сторон на скорости каждого автомобиля 56^{+1} км/ч.

Ограничение по массе испытуемых автомобилей вызвано следующим статистическим наблюдением. Лобовое столкновение наиболее вероятно с автомобилем массой 1300...1500 кг, так как этих автомобилей больше всего на дорогах. Водитель и пассажиры автомобиля массой более 2,5 т при столкновении с наиболее вероятным автомобилем пострадают в меньшей степени. Конечно, возможно столкновение такого автомобиля с еще более тяжелым автомобилем, но вероятность этого события во много (в десятки) раз ниже.

В США применяется краш-тест со 100 %-ным перекрытием на скорости 50 км/ч в жесткий барьер. Не смотря на меньшую скорость, перегрузки, которым подвергаются манекены, оказываются больше, так как ударную нагрузку воспринимают оба лонжерона кузова и автомобиль останавливается «резче». При испытании по Правилу № 94 ударную нагрузку воспринимает один лонжерон, поэтому деформации кузова вблизи ног водителя очень велики, что в реальном ДТП снижает скорость эвакуации водителя из деформированного автомобиля, увеличивает вероятность большой кровопотери или гибели в результате пожара.

Фронтальный краш-тест, проводимый *EuroNCAP*, практически полностью соответствует правилу № 94, но скорость автомобиля при этом испытании выше на 14% – 64 км/ч (но кинетическая энергия удара возрастает на 30 %!).

Контролируемые параметры.

При испытании не должны быть превышены критерии, контролируемые манекеном *Hybrid III* (см. п. 2.1.2).

Кроме критериев повреждения человека (манекена) при испытаниях регламентируются следующие требования:

- остаточное смещение рулевого колеса, измеряемое в центре ступицы рулевого колеса, не должно превышать 80 мм в вертикальном направлении вверх и 100 мм в горизонтальном направлении назад;
- ни одна из дверей в ходе испытания не должна открываться;
- в ходе испытания не должно происходить заклинивания блокировочных систем передних дверей;
- необходимо, чтобы после удара можно было без помощи инструментов, за исключением тех, которые необходимы для удержания веса манекена:
 - открыть, по крайней мере, одну дверь, если таковая имеется, для ка-

ждого ряда сидений, а в случае отсутствия такой двери, по мере необходимости, отодвинуть сиденья или откинуть их спинки для эвакуации водителя и всех пассажиров; это, однако, применимо только к транспортным средствам, оборудованным крышей жесткой конструкции;

- освободить манекены из удерживающей их системы, которая в случае блокировки должна открываться под действием усилия не более 60 Н, прилагаемого к центру стопорного рычага;

- извлечь манекены из транспортного средства без смещения сидений;

- если транспортное средство работает на жидком топливе, то допускается лишь незначительная утечка жидкости из системы питания;
- в случае постоянной утечки жидкости из системы питания после столкновения эта утечка не должна превышать 30 г/мин. В том случае, если жидкость из системы питания смешивается с жидкостями из других систем или если невозможно простым способом разделить различные жидкости и определить их количество, то постоянная утечка оценивается с учетом всей собранной жидкости.

Процедура испытаний.

В автомобиль усаживают два манекена *Hybrid III* (водитель и пассажир). Устанавливают и подключают регистрирующую аппаратуру.

Снаружи на автомобиле выполняется разметка для определения деформаций с помощью видеокамер. Внутри выполняется раскраска манекенов не сохнущей краской для определения после испытания мест фактического контакта манекенов и интерьера.

Автомобиль разгоняется любым способом (обычно специальной катапультной, но можно разгонять собственным двигателем или спускать с горки). Последние 5 м автомобиль должен ехать по инерции без каких-либо направляющих. Этот участок трека должен быть горизонтальным. Если автомобиль выдержал испытание, но скорость оказалась выше, то испытание пройдено.

Барьер.

Сминаемый барьер (сертифицируемый по специальной методике) состоит из следующих частей (рис. 2.7):

- Основной ячеистый блок – представляет собой сотовую конструкцию с пределом сжатия $0,342_{-10} \% \text{ МПа}$ из алюминиевой фольги толщиной $0,076 \text{ мм} \pm 15\%$. Размер ячеек $19,1 \text{ мм} \pm 20 \%$. Размеры блока: ширина 1000 мм; толщина 450 мм; высота 650 мм. Допуски на размеры $\pm 2,5 \text{ мм}$.
- Бамперный блок – представляет собой сотовую конструкцию с пределом сжатия $1,711_{-10} \% \text{ МПа}$ из такой же алюминиевой фольги, что и основной блок. Размер ячеек $6,4 \text{ мм} \pm 20 \%$. Размеры блока: ширина та же; толщина 90 мм; высота $3 \times 110 \text{ мм}$. Допуски на размеры те же.

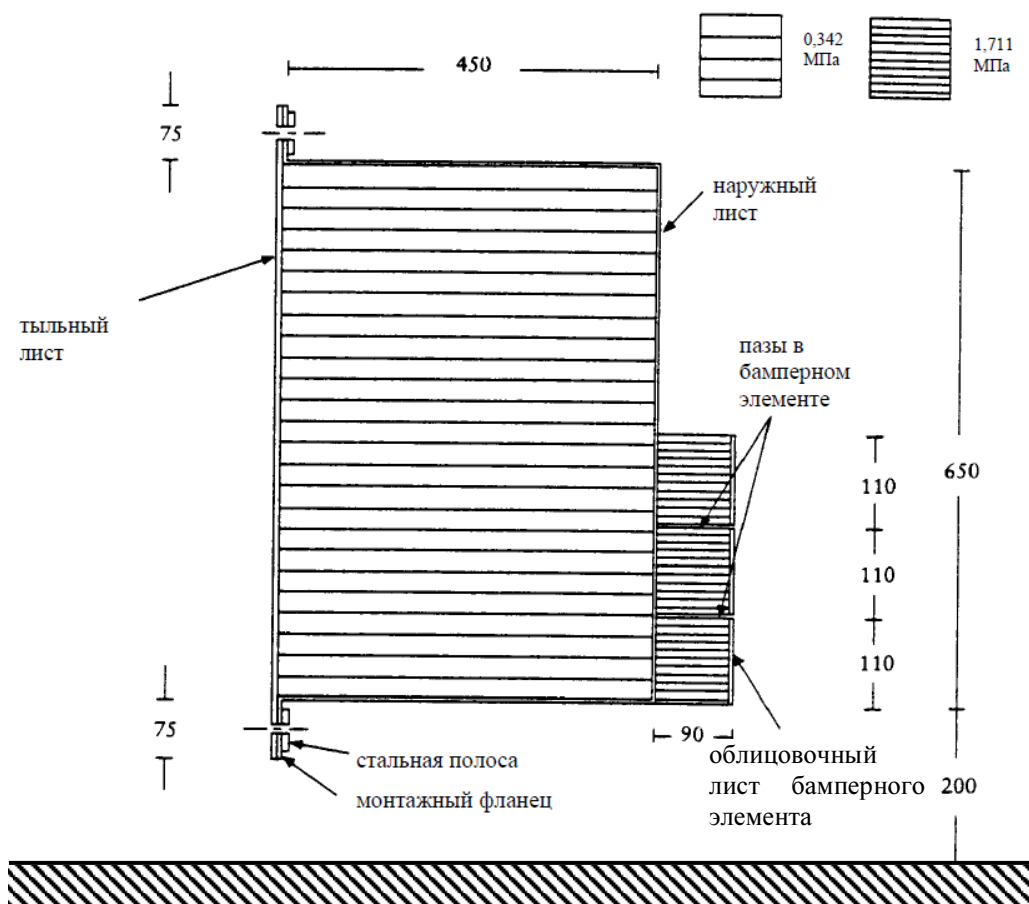


Рис. 2.7. Сминаемый барьер для испытания по Правилу ЕЭК ООН №94 (разрез по направлению движения автомобиля)

- С тыльной стороны на основной блок наклеен алюминиевый лист толщиной 2 мм.
- С наружной стороны на оба блока наклеены алюминиевые листы толщиной 0,81 мм.

Сминаемый барьер должен быть установлен перед железобетонным блоком массой не менее 70 т (на полигоне автозавода Volvo – 800 т). При испытании автомобиль ни одной частью не должен задеть железобетонный блок, поэтому между ним и сминаемым блоком устанавливают стальную дистанционную раму.

Видеосъемка высокоскоростными камерами (1000 кадров в секунду) ведется как минимум с двух точек: сбоку (со стороны водителя) и спереди (с железобетонного блока).

2.2.3. Испытание по Правилу ЕЭК ООН № 12

Объект испытания.

Испытанию подвергаются автомобили категории M_1 и N_1 или только рулевое управление в случае, если оно сертифицируется производителем автокомпонентов как отдельный механизм. Испытания автомобилей категории M_1 можно не проводить, если он подлежит испытанию по Правилу ЕЭК ООН

№ 94.

Так же как и по Правилу № 94, в момент испытания автомобиль должен быть в снаряженном состоянии: заправлен всеми смазочными и охлаждающими жидкостями, топливный бак заполнен негорючей жидкостью на 90 %, укомплектован запасным колесом и инструментом.

Комментарий.

Целью испытаний является выявление потенциальной (!) травмобезопасности путем проверки перемещения верхней части рулевой колонки и рулевого вала во время испытания автомобиля и (или) демпфирующей способности неподвижной рулевой колонки при ударе манекеном туловища, а также демпфирующей способности неподвижного рулевого колеса при ударе муляжом головы.

Испытание по правилу № 94 более совершенно, так как по нему оценивается именно пассивная безопасность автомобиля, т.е. вероятность нанесения травм водителю и пассажиру, а не перемещение неких контрольных точек.

Процедура 1. Испытание на лобовой удар о барьер.

Разгонная дорожка, механизм разгона и железобетонный блок те же, что и по правилу № 94, но отсутствует деформируемый барьер. Блок снаружи должен быть покрыт фанерой толщиной 19 мм. Между фанерой и блоком допускается располагать стальной лист толщиной 25 мм (бетон без стальной облицовки во время удара крошится – блок становится одноразовым, а без фанеры становится «скользким», что искажает картину процесса деформирования металла при ударе).

Скорость автомобиля при испытании 48,3 ... 53 км/ч (30...33 мили в час).

Массу измерительного оборудования (не более 25 % от снаряженной массы), расположенного в автомобиле, отклонение скорости (в пределах допуска), учитывают, вводя поправочные коэффициенты:

$$k_1 = \left(\frac{48,3}{V} \right)^2; \quad k_2 = \frac{m_0}{m_1},$$

где V , m_1 – соответственно фактическая скорость и масса автомобиля при испытании; m_0 – снаряженная масса автомобиля.

Если расчетный коэффициент $k_1 < 0,83$, то принимают $k_1 = 0,83$.

Если расчетный коэффициент $k_2 < 0,8$, то принимают $k_1 = 0,8$.

Контролируемый параметр: перемещение верхней точки рулевой колонки и рулевого вала не должно превысить $a = 127$ мм (5 дюймов) по оси x в направлении «назад» и $b = 127$ мм по оси z в направлении «вверх»:

$$a_1 \cdot k_1 \cdot k_2 < a \quad \text{и} \quad b_1 \cdot k_1 \cdot k_2 < b,$$

a_1 , b_1 – реальные размеры, измеренные на испытанном автомобиле.

Измерение положения контрольной точки производят до и после испытания относительно точки шасси, которая гарантированно не перемещается в результате деформации при ударе.

За оси x и z принимаются оси салона автомобиля.

Все повреждения фотографируются с разных сторон.

Процедура 2. Испытание с использованием модели туловища.

Испытание проводится, если рулевое управление представлено на сертификацию как отдельный механизм.

Рулевой механизм неподвижно закрепляют на специальном стенде.

Приводной механизм должен воздействовать на модель туловища только до начала удара.

Удар осуществляют моделью туловища, массой 34...36 кг со средними размерами, которые имеют 50 % населения взрослого мужского населения США («50-й перцентиль»).

Скорость туловища при ударе $24,1 \pm 1,2$ км/ч ($15 \pm 0,8$ мили в час).

Перед ударом точка H модели туловища (рис. 2.8) должна находиться в горизонтальной плоскости, проходящей через точку R сиденья (подробнее о точках H и R см. п. 2.2.4).

Контролируемый параметр. Сила, с которой рулевая колодка действует на туловище не должна превышать 1111 даН.*

Измеритель силы может располагаться в рулевом механизме или в туловище.

Датчик силы в рулевом механизме должен иметь предел измерения не более 1960 даН (2000 кгс).

Датчики инерции в туловище должны иметь предел измерения не более 60g и располагаться слева и справа от центра масс туловища.

Скорость перемещения туловища контролируется с точностью 2 %.

Время контролируется с точностью до 0,001 с.

После испытания все повреждения фотографируются и прилагаются к протоколу.

Процедура 3. Испытание с использованием муляжа головы.

Испытывается рулевое управление, точнее устройство крепления рулевого колеса к рулевому валу и само рулевое колесо.

Процедура выполняется при испытании рулевого управления, как в составе автомобиля, так и отдельно (если оно сертифицируется как отдельный механизм).

Испытательная установка.

* даН – декаНьютон, 1 даН = 10 Н = 10/9,81 кгс = 1,019 кгс. При переходе из системы СГСЭ в систему СИ килограмм заменили декаНьютоном (пренебрегая сотыми, которые образуются при корректном переводе из системы в систему). Не путать с дН – дециНьютон – десятая доля Ньютона.

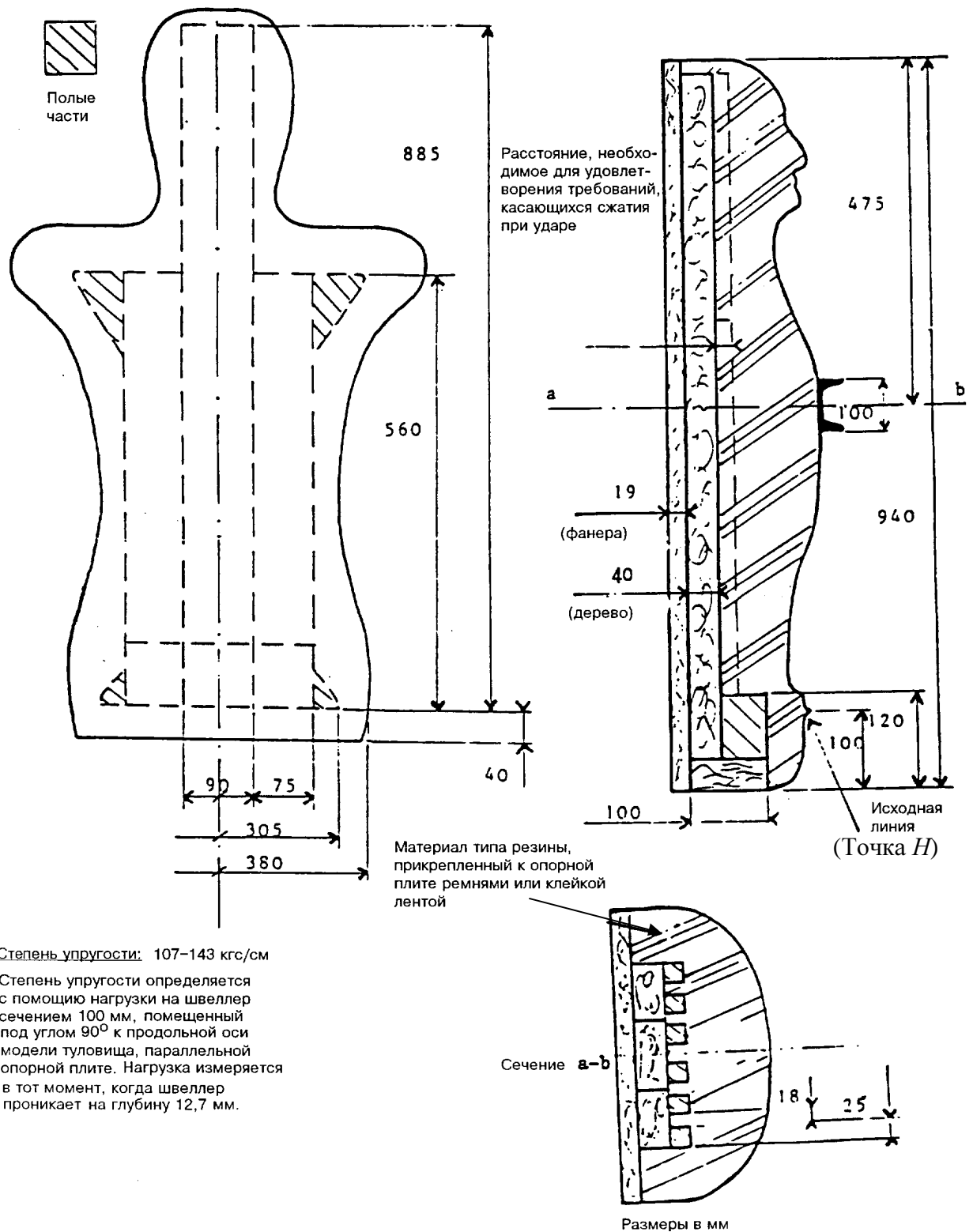


Рис. 2.8. Модель туловища для испытания по Правилу ЕЭК ООН №12

Испытательная установка представляет собой маятниковый ударный механизм. В качестве бойка выступает муляж головы – полусфера Ø165 мм (6,5 дюймов) и массой 6,8 кг (15 фунтов).

Муляж головы должен быть оборудован двумя акселерометрами и прибором для измерения скорости в направлении удара.

Скорость удара 24,1 км/ч (15 миль в час). Точность измерения скорости

± 1 %.

Испытательная процедура.

Выполняется три или четыре удара каждый раз по новому рулевому колесу:

- в центр ступицы;
- в точку соединения наиболее жесткой спицы с ободом колеса с внутренней стороны;
- средняя точка наиболее короткого участка обода между спицами;
- в точку рулевого колеса при наилучшем его положении.

Контролируемые параметры.

При любом из ударов нагрузка на муляж головы не должна превысить 80g в течение более 3 мс.

2.2.4. Испытание по Правилу ЕЭК ООН № 95

Объект испытания.

Испытанию подвергаются автомобили категории M_1 и N_1 , если точка R самого низкого сиденья находится на высоте не выше 700 мм над поверхностью земли. В снаряженный автомобиль помещен манекен и дополнительное оборудование общей массой 100 кг.

Определения точек R и H .

Под точкой H (принадлежит манекену) подразумевается центр вращения туловища и бедра объемного механизма определения точки H (рис. 2.9), установленного на сиденье автомобиля при сертификационных испытаниях.

Под точкой R (принадлежит сиденью) подразумевается некая точка над подушкой сиденья, которую определяет завод-изготовитель автомобиля.

Теоретически точки H и R совпадают с определенным допуском.

Точка H (R) перемещается вместе с сиденьем.

Комментарий.

Ограничения по высоте точки R вызвано тем обстоятельством, что при столкновении с наиболее вероятным легковым автомобилем удар приходится ниже 700 мм. Если точка R выше, то с высокой вероятностью можно утверждать, что человек на таком сиденье не пострадает от этого удара.

Схема испытания.

Автомобиль установлен неподвижно и подготовлен*. Со стороны манекена (пристегнутого ремнями безопасности) в автомобиль под прямым углом врезается тележка массой 950 ± 20 кг со сминаемым барьером в передней части. Скорость удара 50 ± 1 км/ч. Продольная вертикальная плоскость симмет-

* «автомобиль подготовлен к испытанию» – означает, что стекла и двери закрыты, но не заперты, рычаг КП в нейтральном положении, стояночный тормоз не включен и т.д. см. приложение 4 Правила ЕЭК ООН № 95.

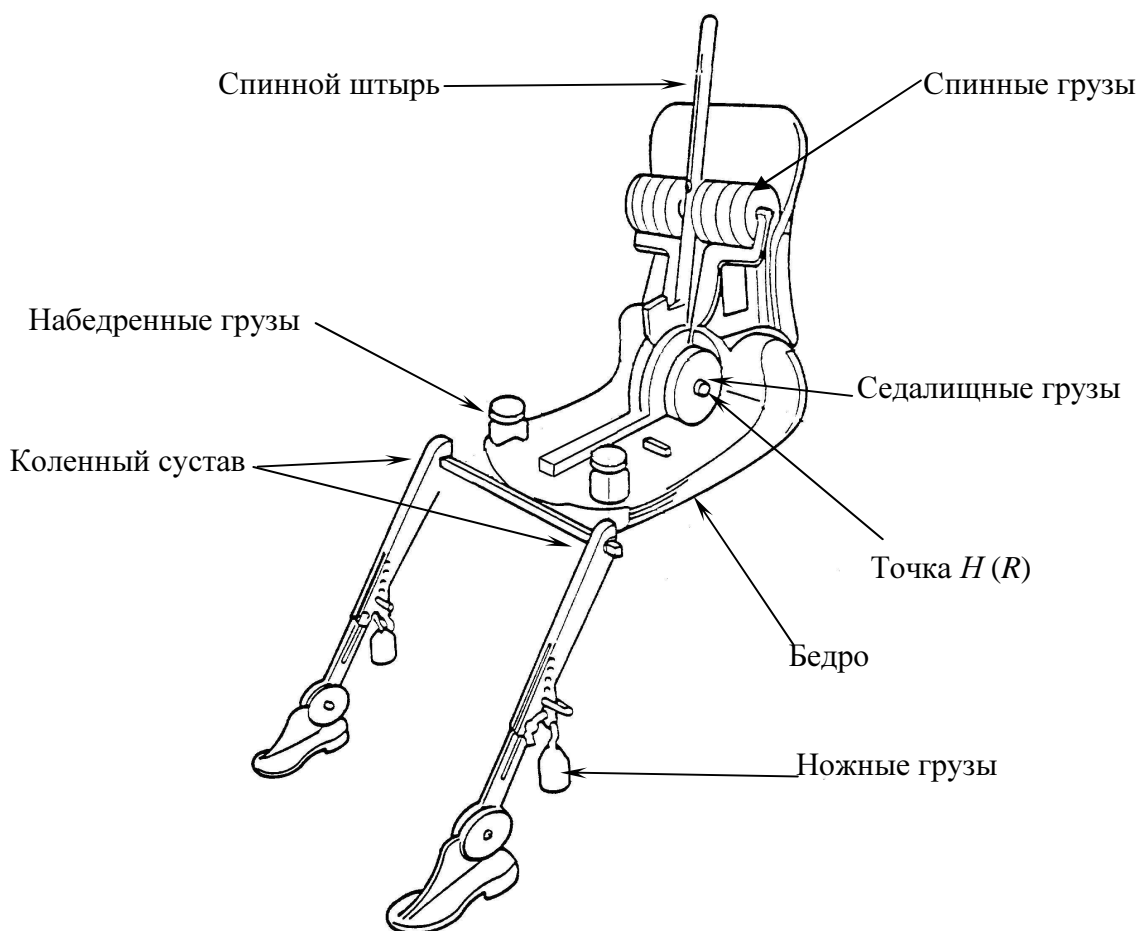


Рис. 2.9. Объемный механизм для определения точки H , эквивалентный по распределению масс мужчине весом 76 кг

рии тележки должна проходить через точку R сиденья с манекеном.

Контролируемые параметры.

Контролируются параметры датчиков манекена *EUROSID* – 1 (см. п.2.1.3), а также:

- при испытании не должны открыться двери;
- после испытания все двери должны открываться;
- удерживающая система (ремни безопасности) должна открыться без применения дополнительного инструмента;
- манекен можно вынуть без его повреждения;
- в салоне не должно быть появиться острых кромок;
- в случае постоянной утечки жидкости из системы питания после столкновения эта утечка не должна превышать 30 г/мин; в том случае, если жидкость из системы питания смешивается с жидкостями из других систем и если невозможно простым способом разделить различные жидкости и определить их количество, то постоянная утечка оценивается с учетом всей собранной жидкости.

Тележка.

Тележка должна иметь колею 1500 ± 10 мм, базу 3000 ± 10 мм. Центр масс расположен внутри базы на расстоянии 1000 ± 30 мм от передней оси на

продольной оси тележки с допуском ± 10 мм и на высоте 500 ± 30 мм.

Спереди на тележке установлен деформируемый барьер таким образом, чтобы его ударная поверхность находилась бы на расстоянии 2000 ± 30 мм от центра масс тележки. Ширина барьера 1500 ± 10 мм, высота 500 ± 5 мм. Дорожный просвет под барьером 260 ± 5 мм.

Барьер состоит из 6 блоков выполненных из алюминиевых сот (рис. 2.10).

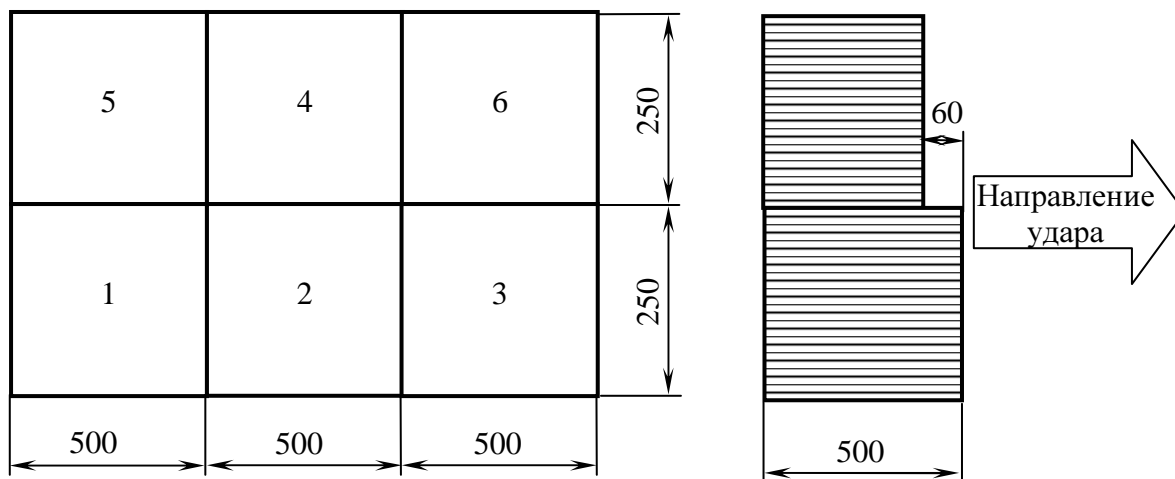


Рис. 2.10. Деформируемый барьер тележки при испытании по правилу ЕЭК ООН № 95

Блоки 1 и 3 идентичны, имитируют лонжероны и бампер автомобиля и имеют энергию полной деформации по 10 ± 2 кДж.

Блоки 5 и 6 идентичны, имитируют крылья автомобиля и имеют энергию полной деформации по $3,5 \pm 1$ кДж.

Блок 2 имитирует бампер и силовой агрегат автомобиля и имеет энергию полной деформации 14 ± 2 кДж.

Блок 4 имитирует капот, навесное оборудование двигателя и имеет энергию полной деформации 4 ± 1 кДж.

Следует заметить, что независимая организация *EuroNCAP* проводит еще один боковой краш-тест, при котором автомобиль движется боком (на специальной тележке) и ударяется точкой *R* водительского сиденья о столб на скорости 35 км/ч. Испытание чрезвычайно «жесткое» и без боковых поясничных подушек, смонтированных в спинке сиденья, и потолочных шторок безопасности пройти его невозможно.

2.3. Сертификационные испытания грузовых автомобилей

2.3.1. Виды испытаний грузовых автомобилей и их компонентов

На *внутреннюю пассивную безопасность* при сертификации грузовые автомобили испытывают по Правилу ЕЭК ООН № 29.

Кроме того, предъявляются требования к *внешней безопасности*:

- Правилем ЕЭК ООН № 58 к задней противоподкатной защите;
- Правилем ЕЭК ООН № 61 к выступам на задней панели кабины;
- Правилем ЕЭК ООН № 73 к боковой противоподкатной защите;
- Правилем ЕЭК ООН № 93 к передней противоподкатной защите;
- Глобальное Правило ООН № 1 (будет введено взамен правила ЕЭК ООН № 11 с 1.01.2014 для N_2 и N_3) – Требования к замкам и петлям дверей.

Кратко рассмотрим внутреннюю пассивную безопасность.

2.3.2. Испытание по правилу ЕЭК ООН № 29

Объект испытания.

Транспортные средства, предназначенные для перевозки грузов.

Испытания можно не проводить, если автомобиль прошел сертификацию по правилу ЕЭК ООН № 33 (лобовое столкновение на скорости 50 км/ч с железобетонным блоком). Все испытания касаются кабины транспортного средства.

Испытание А. Испытание на удар спереди.

Удар по кабине спереди осуществляется плитой, подвешенной на маятнике.

Маятник.

Ударная плита маятника должна иметь массу 1500 ± 250 кг. Ударная поверхность должна иметь ширину 2500 мм, а высоту 800 мм. Края закруглены радиусом не менее 15 мм.

Радиус маятника (от точки подвеса до геометрического центра плиты) 3500 мм. Подвес плиты выполнен на двух двутаврах высотой сечения 100 мм с расстоянием между осями не менее 1000 мм.

Взаимное положение маятника и автомобиля.

При вертикальном положении плиты маятника автомобиль должен касаться ее выступающей частью (рис. 2.11). Центр масс маятника должен находиться ниже точки R водительского сидения на 150 мм, но не выше 1400 мм от земли. Вертикальная ось симметрии маятника должна совпадать с продольной вертикальной плоскостью симметрии автомобиля.

Энергия удара.

Если максимальная разрешенная масса автомобиля не превышает 7000 кг, то энергия удара должна составить 3000 кгс·м ($E = 29,43$ кДж), что обеспечивается подъемом центра масс маятника массой $m = 1500$ кг на высоту 2 м относительно исходного положения.

Если максимальная разрешенная масса автомобиля превышает 7000 кг, то энергия удара должна составить 4500 кгс·м ($E = 44,15$ кДж), что обеспечивается подъемом центра масс маятника массой $m = 1500$ кг на высоту 3 м относительно исходного положения.

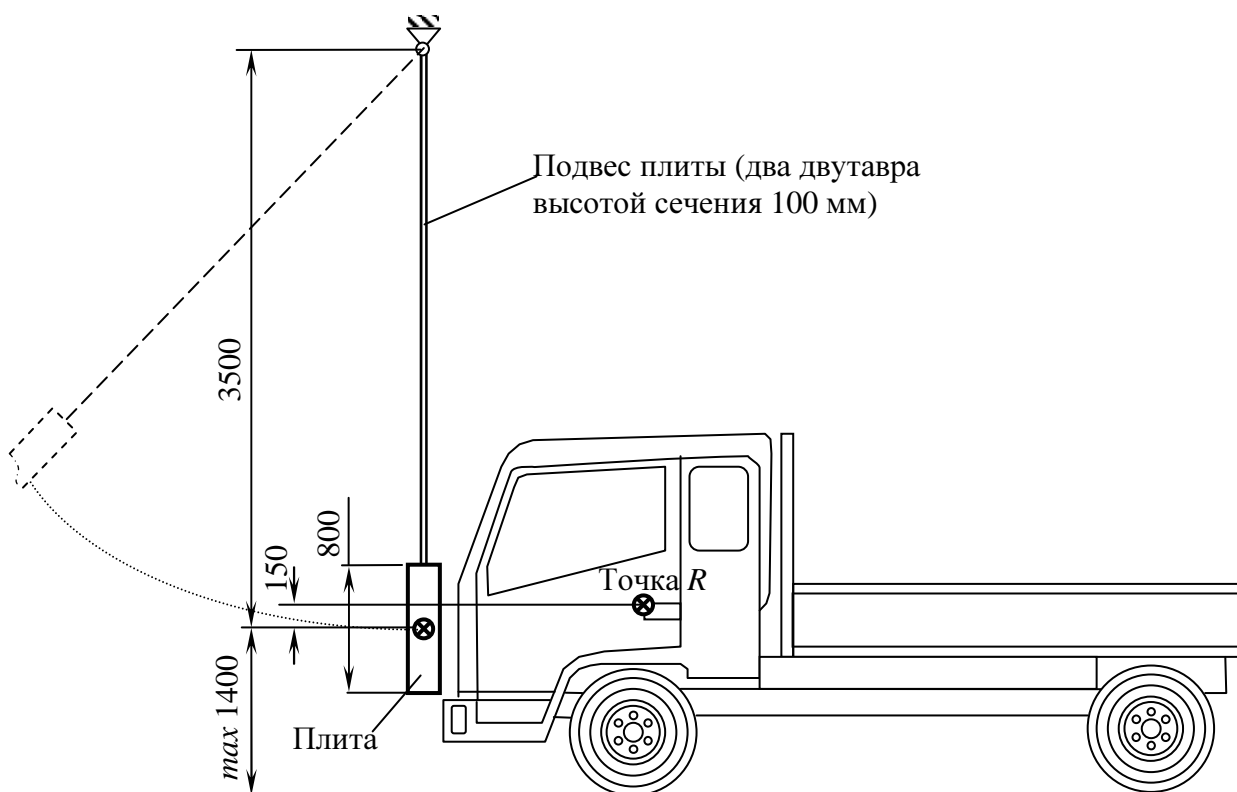


Рис. 2.11. Схема маятника и установки автомобиля при испытании по правилу ЕЭК ООН № 29

Если масса маятника отличается от 1500 кг, то высоту подъема пересчитывают по формуле:

$$h = \frac{E}{mg}.$$

Испытание В. Прочность крыши.

Испытанию может быть подвергнута только кабина, установленная на раме.

Крыша кабины должна выдержать нагрузку, равную нагрузке на переднюю ось автомобиля, но не более 98,1 кН (10 тс). При этом нагрузка должна быть равномерно распределена на все несущие элементы конструкции кабины.

Испытание С. Прочность задней стенки кабины.

Испытанию может быть подвергнута только кабина, установленная на раме.

Задняя стенка кабины должна выдержать нагрузку 1962 Н (200 кгс) на каждые 9810 Н (1000 кгс) полезной разрешенной нагрузки автомобиля. Нагрузка должна быть распределена равномерно на всю площадь задней стенки кабины над лонжеронами рамы. Нагрузка должна действовать вдоль продольной оси автомобиля.

Испытание С необязательное.

Контролируемые параметры.

После удара допускается деформация крепления кабины, однако каби-

на должна оставаться прикрепленной к раме.

Во время испытания двери не должны открыться, однако после испытания открытия дверей не требуется.

После испытаний *A*, *B* и *C* проверяется остаточное пространство в кабине. На каждое из сидений должен поместиться и не касаться деформированных частей кабины манекен человека (50-й перцентиль взрослого мужчины). Манекен можно устанавливать по частям, но после сборки его точка *H* должна совпадать с точкой *R* проверяемого сиденья, находящегося в среднем положении регулировок.

2.4. Сертификационные испытания автобусов

2.4.1. Классификация автобусов

Автобусы подразделяются на две классификационные группы:

- вместимостью не более 22 пассажиров (маломестные):
 - Класс *A* – автобусы, в которых допускаются стоящие пассажиры;
 - Класс *B* – автобусы, в которых допускаются только сидящие пассажиры.
- вместимостью более 22 пассажиров и имеющие общую ширину свыше 2,30 м (крупногабаритные):
 - Класс *I* – автобусы, в которых допускаются стоящие пассажиры, при этом обеспечивается беспрепятственное перемещение пассажиров;
 - Класс *II* – автобусы, построенные главным образом для перевозки сидящих пассажиров и конструкцией которых допускается перевозка стоящих пассажиров в проходе и/или в месте для стоящих пассажиров, которое не превышает пространство, предусмотренное для двух двойных мест для сидения;
 - Класс *III* – автобусы, в которых допускаются только сидящие пассажиры.

2.4.2. Виды испытаний автобусов и их компонентов

Правило ЕЭК ООН № 52 – Требования к общей конструкции маломестных автобусов.

Правило ЕЭК ООН № 36 – Требования к общей конструкции автобусов большой вместимости.

Правило ЕЭК ООН № 66 – Требования к прочности силовой структуры крупногабаритных автобусов (классов *I*, *II*, *III*).

Правило ЕЭК ООН № 107 – Требования к общей конструкции автобусов категории *M₂* и *M₃*.

Правило ЕЭК ООН № 118 – Требования по противопожарной безопас-

ности к автобусам II и III классов.

Правило ЕЭК ООН № 17 – Требования к сиденьям автобусов классов I и A.

Правило ЕЭК ООН № 80 – Требования к сиденьям автобусов классов B, II и III.

2.4.3. Испытания автобусов по правилу ЕЭК ООН № 66

Испытанию подлежат крупногабаритные автобусы I, II и III классов.

Основное испытание – опрокидывание автобуса на стенде (рис. 2.12).

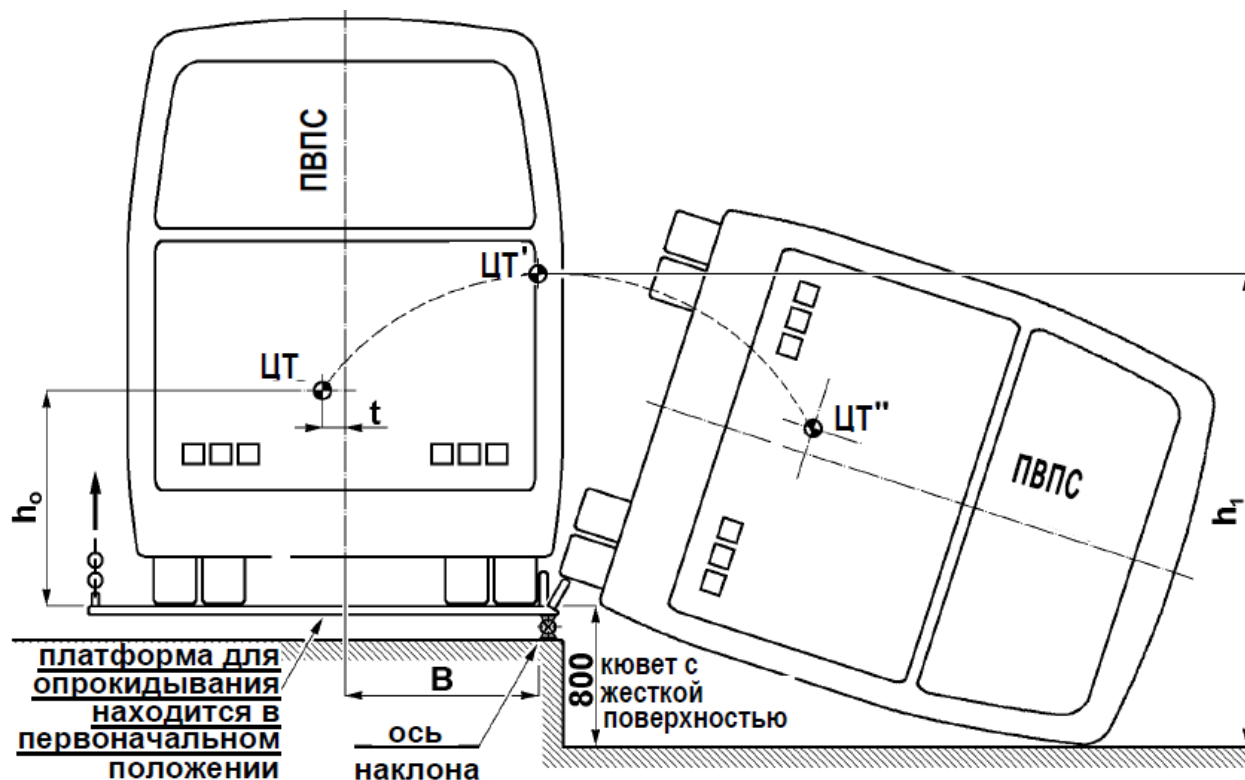


Рис. 2.12. Схема испытания автобуса на опрокидывание по правилу ЕЭК ООН № 66

Стенд представляет собой опрокидывающую платформу, на которую устанавливают автобус или, в случае многосекционных автобусов, отдельную секцию автобуса (рис. 2.13).

При испытании контролируется остаточное пространство внутри салона автобуса (рис. 2.14).

Кроме того, должны быть выполнены следующие условия:

- никакая часть транспортного средства, выходящая за пределы остаточного пространства в начале испытания (например, стойки, защитные дуги, багажные полки), не должна в ходе испытания проникать в остаточное пространство. Никакие конструктивные части, которые первоначально находились в остаточном пространстве (например, вертикальные поручни, перегородки, мини-кухни, туалеты), при оценке проникновения в это

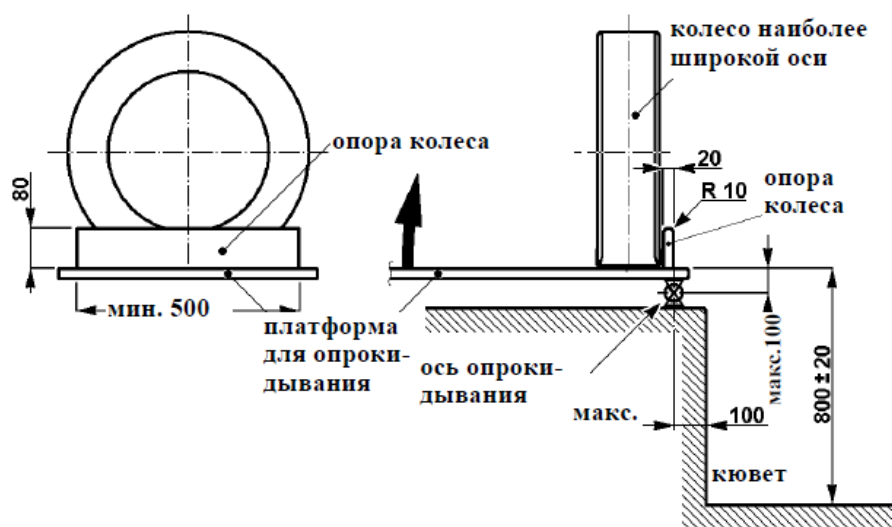


Рис. 2.13. Стенд для испытания автобуса на опрокидывание по правилу ЕЭК ООН № 66

пространство не учитываются;

- никакая часть остаточного пространства не должна выступать за пределы контура деформированной конструкции. Контур деформированной конструкции определяется последовательно между каждым прилегающим окном и/или дверной стойкой. Между двумя деформированными стойками этим контуром должна являться теоретическая поверхность, определяемая прямыми линиями и соединяющая внутренние контурные точки стоек, которые до проведения испытания на опрокидывание находились на одинаковой высоте над уровнем пола;
- Границы остаточного пространства транспортного средства определяются при помощи перемещения вертикальной и поперечной плоскости, границы которой обозначены на рис. 2.14 *a* и *c*, по длине транспортного средства (см. рис. 2.14, *b*) следующим образом:
 - точка S_R находится на спинке каждого бокового сиденья, установленного в направлении движения либо против направления движения (или в предполагаемом положении) на высоте 500 мм над уровнем пола под сиденьем, на расстоянии 150 мм от внутренней поверхности боковой стенки. Колесные ниши и другие изменения высоты пола не учитываются. Эти же размеры используются и в случае сидений, установленных перпендикулярно направлению движения, в их плоскостях симметрии;
 - если обе стороны транспортного средства не являются симметричными с точки зрения конфигурации пола и по этой причине высота точек S_R различается, то ступенька между двумя линиями пола остаточного пространства принимается за продольную вертикальную плоскость симметрии транспортного средства (см. рис. 2.14, *c*);

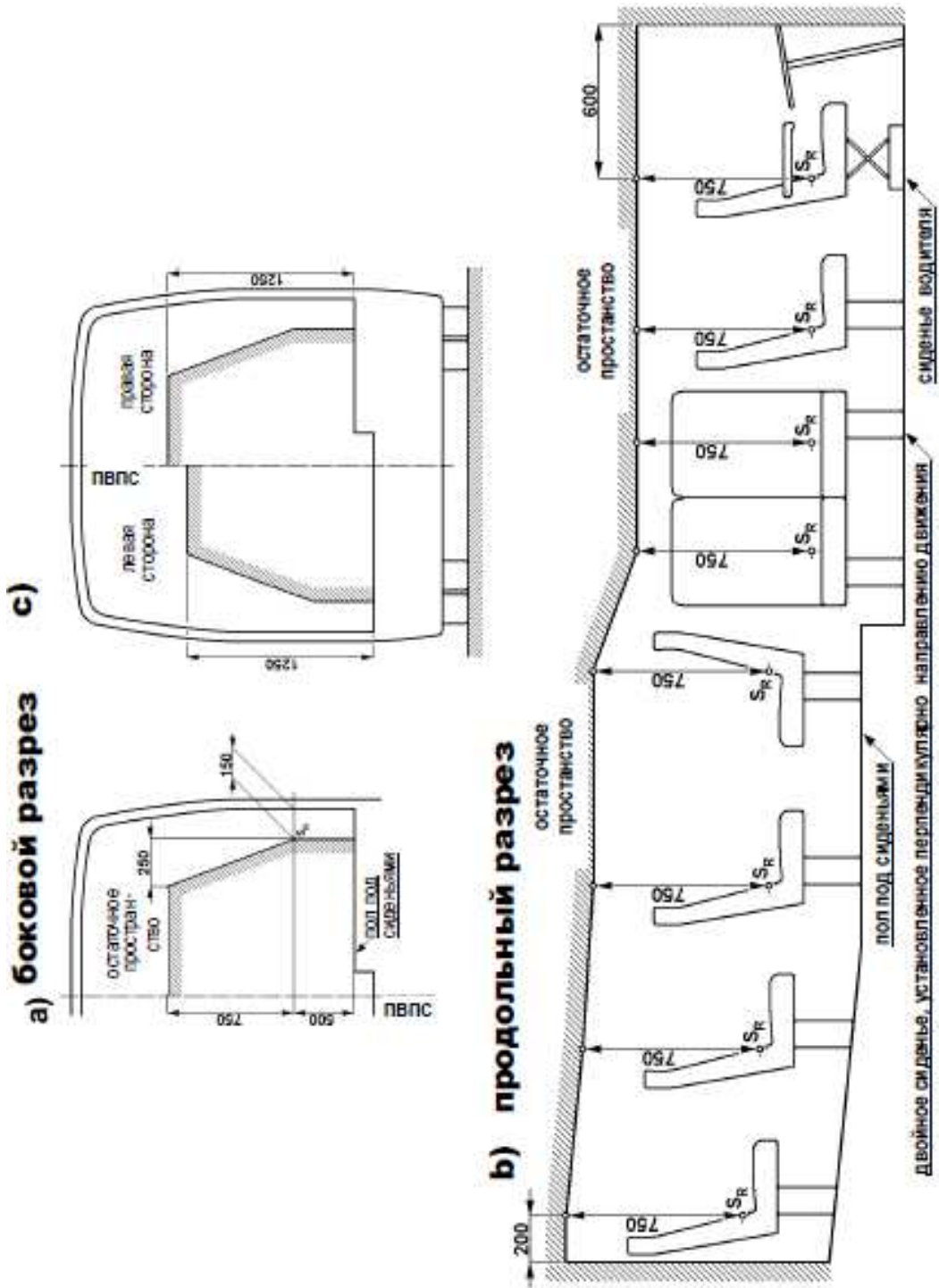


Рис. 2.14. Остаточное пространство в автобусе при испытании по правилу ЕЭК ООН № 66

- крайняя задняя граница остаточного пространства образуется вертикальной плоскостью, находящейся на расстоянии 200 мм позади точки S_R наиболее удаленного назад бокового сиденья, либо внутренней стороной задней стенки транспортного средства, если она находится на расстоянии менее 200 мм позади точки S_R ;
- крайняя передняя граница остаточного пространства образуется вертикальной плоскостью, находящейся на расстоянии 600 мм перед точкой S_R наиболее выступающего вперед сиденья (независимо от того, является ли оно сиденьем пассажира, члена экипажа или водителя) в наиболее выдвинутом вперед положении, которое допускается его регулировкой;
- остаточное пространство должно быть непрерывным в пассажирском салоне, отделении (отделениях) экипажа и водителя между наиболее удаленной назад и наиболее выдвинутой вперед плоскостью и должно определяться путем перемещения определенной вертикальной поперечной плоскости по длине транспортного средства по прямым линиям через точки S_R по обе стороны транспортного средства. Позади точки S_R , находящейся в наиболее удаленном назад положении, и перед точкой S_R , находящейся в наиболее выдвинутом вперед положении, эти прямые линии являются горизонтальными

2.5. Контрольные вопросы

1. Какие манекены применяются при испытаниях автомобилей?
2. Какие параметры контролируются при оценке пассивной безопасности автомобиля?
3. Чем отличаются сертификационные испытания и испытания независимых организаций?
4. Какие параметры контролируются при использовании манекена *HYBRID III*?
5. Что такое критерий *HPC*?
6. Что такое критерий *NIC*?
7. Что такое критерий *ThCC*?
8. Что такое показатель *VC*?
9. Что такое критерий *FFC*?
10. Что такое критерий *TCFC*?
11. Что такое показатель *TI*?
12. Какие параметры контролируются с помощью манекена *EUROSID-1*?
13. Что такое показатель *RDC*?
14. Что такое показатель *APF*?

15. Что такое показатель *SPF*?
16. Виды испытаний легковых автомобилей на внутреннюю безопасность.
17. Чем отличается статус Правил ЕЭК ООН и Глобальных Правил?
18. Виды испытаний на Внешнюю безопасность?
19. Какими правилами регламентируются противопожарные требования?
20. В чем сущность испытания по Правилу ЕЭК ООН № 94?
21. В чем сущность испытания по Правилу ЕЭК ООН № 12?
22. В чем сущность испытания по Правилу ЕЭК ООН № 95?
23. Что такое точка *R*?
24. Что такое точка *H*?
25. Как устроен сминаемый барьер, используемый по правилу № 94?
26. Как устроен сминаемый барьер, используемый по правилу № 95?
27. В чем сущность испытания по Правилу ЕЭК ООН № 29?
28. В чем сущность испытания по Правилу ЕЭК ООН № 66?

3. Обеспечение пассивной безопасности легковых автомобилей

3.1. Системы пассивной безопасности

Понятие пассивная безопасность относится к поведению автомобиля во время столкновения и учитывает защиту не только данного автомобиля, но и остальных участников дорожного движения. Важнейшие компоненты системы пассивной безопасности современных автомобилей можно разделить на несколько групп:

- Удерживающие системы – это компоненты автомобиля, приближающие ускорения людей в салоне к ускорению каркаса безопасности кузова:
 - ремни безопасности;
 - натяжители (преднатяжители) ремней безопасности;
 - ограничители усилия на ремнях безопасности;
 - система подушек безопасности (передние, боковые и головные);
 - системы удержания головы;
 - система безопасности детей;
- конструкции кузова, не допускающие изменение внутреннего объема салона, возникновения или проникновения в него опасных объектов:
 - устойчивый к деформациям каркас безопасности кузова;
 - безопасные органы управления;
 - ударопрочное остекление салона;
 - система защиты при опрокидывании на кабриолете;
- конструкции кузова, защищающие пассажиров путём целенаправленного поглощения энергии столкновения:
 - зона деформации в передней части автомобиля;
 - зона деформации в задней части автомобиля;
 - зона деформации в боковой части автомобиля;
- аварийный выключатель аккумуляторной батареи;
- системы обеспечения безопасности пешеходов.

Рассмотрим некоторые системы более подробно.

3.2. Удерживающие системы

3.2.1. Ремни безопасности

Ремни безопасности являются основным средством обеспечения пассивной безопасности, все остальные компоненты (в том числе подушки безопасности) лишь дополняют их.

Ремни безопасности можно разделить на две большие группы:

- регулируемые ремни – необходимо регулировать длину лямок под каждого человека. При этом на дорожных автомобилях рекомендуется обеспечивать такое натяжение, чтобы под ремень могли пролезть только два пальца. На спортивных автомобилях ремни затягиваются очень туго – «на выдохе». По количеству точек крепления регулируемые ремни могут быть:
 - двухточечные;
 - трехточечные;
 - четырехточечные (рис. 3.1, а);
 - пятиточечные;
 - шеститочечные (рис. 3.1, б);

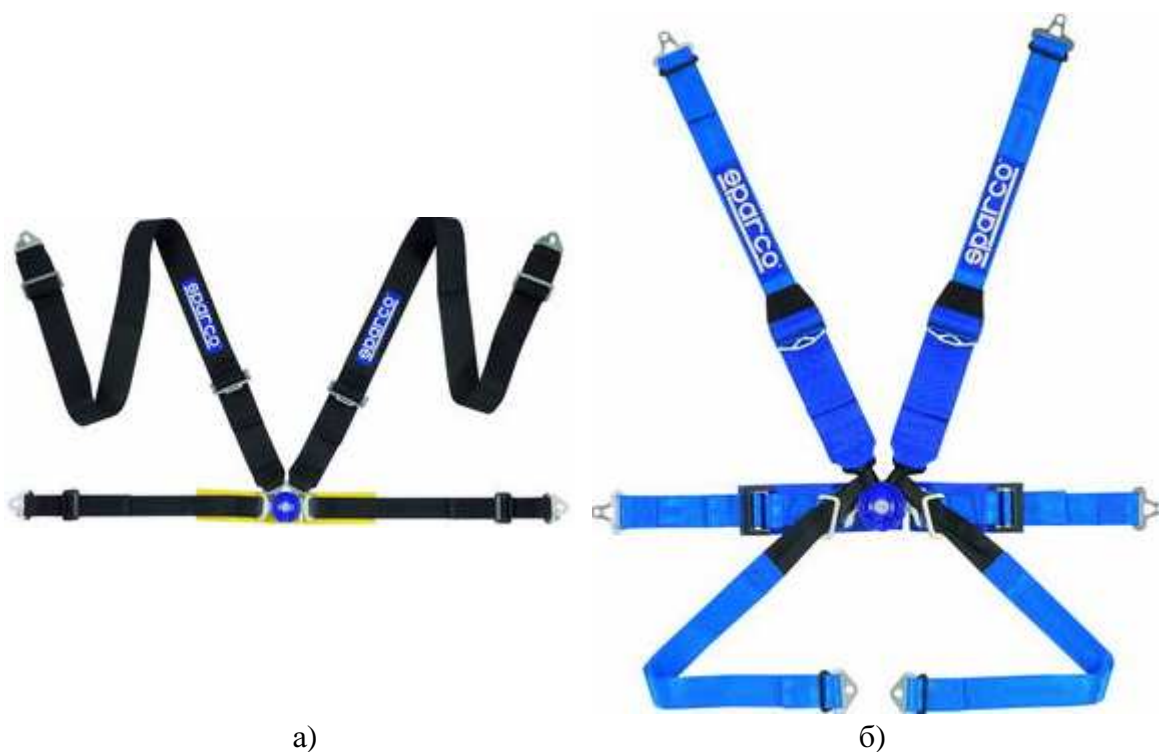


Рис. 3.1. Четырех- (а) и шеститочечные (б) ремни спортивных автомобилей

- инерционные (не регулируемые) – слабина ремня выбирается автоматически с помощью спиральной пружины, сматывающей избыток ремня на катушку. Инерционными они называются потому, что при замедлении автомобиля или при рывке ремня из катушки блокируется храповое колесо катушки ремня – механизм регулирования длины ремня блокируется. По количеству точек крепления инерционные ремни могут быть только двухточечными или трехточечными.

Двухточечные (поясные) ремни безопасности могут быть эффективными только если в исходной зоне нет никаких жестких препятствий.

По Правилу ЕЭК ООН № 21 «исходная зона» – это пространство между двумя вертикальными продольными плоскостями, расположенными на расстоянии 400 мм друг от друга, симметрично точке *H* (см. п. 2.1.2) испыта-

тельного манекена, которое определяется поворотом модели головы из вертикального в горизонтальное положение, при этом в исходном положении макушка головы должна быть расположена на высоте 840 мм от точки *H*, а центр поворота головы смещен вперед от точки *H* на 127 мм.

Как правило, двухточечными ремнями безопасности оборудуют сиденья автобусов, если перед данным сиденьем есть другое сиденье. Иногда оборудуют задние сиденья легковых автомобилей.

Двухточечные ремни эффективны при относительно малых замедлениях, что возможно только на тяжелых машинах. Главной проблемой таких ремней является удар головой о собственные колени манекена и повреждение внутренних органов брюшной полости.

Наибольшее распространение на автомобилях серийного производства получили трехточечные ремни безопасности. Однако регулируемые ремни эффективны лишь при правильной регулировке. При неправильной регулировке (большая слабина) ремни могут повредить грудную клетку. Инерционные трехточечные ремни практически всегда имеют правильное натяжение. Но из-за большой длины ремня, намотанной на катушке, при блокировании последней инерционным механизмом, ремень все-таки выходит из катушки за счет уплотнения витков намотки при большой силе натяжения – катушечный эффект.

С этим эффектом борются фиксированием не катушки, а самого ремня на выходе из катушки (возможно повреждение ремня и его обрыв) или пиротехническими натяжителями ремней, которые бывают трех типов:

- наматывающие ремень на катушку (рис. 3.2, а);
- подтягивающие вниз и назад замок ремня или поясную ленту ремня со стороны порога автомобиля (рис. 3.2, б);
- комбинированные натяжители.

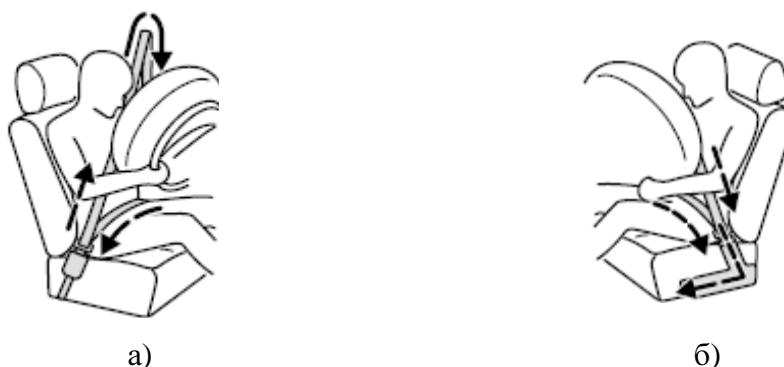


Рис. 3.2. Система натяжения катушечная (а) и замочная (б)

Разнообразны конструкции, наматывающие ремень на катушку. Наиболее распространена конструкция, в которой ряд шариков «выстреливается» на зубчатое колесо катушки (рис. 3.3). Такая система способна намотать большое количество ремня, так как катушка будет крутиться не только в мо-

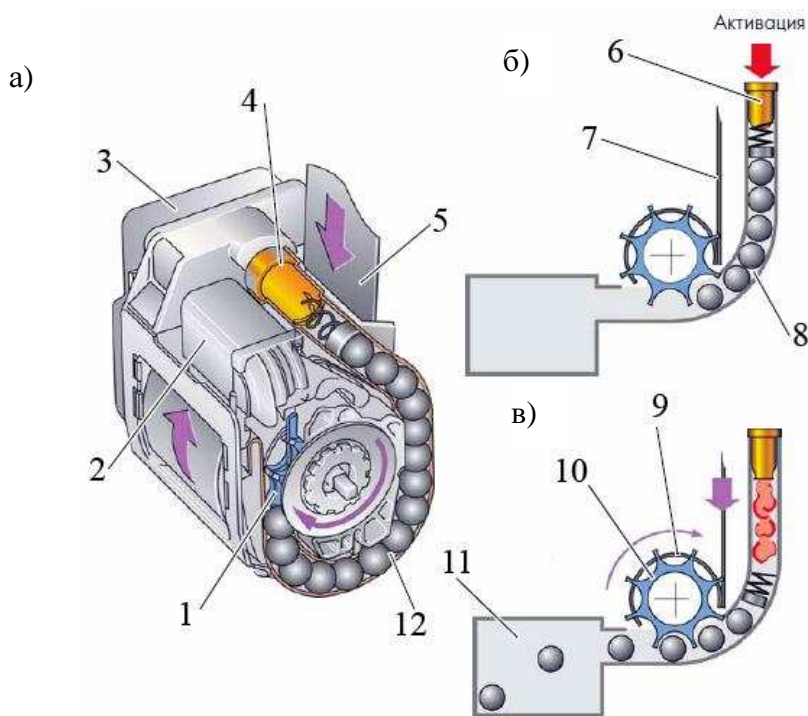


Рис. 3.3. Шариковый натяжитель ремня безопасности (а) и схема его работы в начальной (б) и промежуточной фазе (в):

1,10 – зубчатое колесо; 2, 11 – баллон для шариков; 3 – приводной механизм (механический или электрический); 4,6 – пиротехнический выталкивающий заряд; 5,7 – ремень безопасности; 8, 12 – трубка с шариками; 9 – механизм смотки ремня безопасности

мент прохождения шариков по зубчатому колесу, но и после этого взаимодействия – по инерции, до тех пор, пока натяжение ремня не остановит вращение катушки*.

В последнее время вместо шариковых стали применяться реечные натяжители ремня безопасности (рис. 3.4). Но такая конструкция не позволяет выбрать слаbinу более чем 150...200 мм по длине ремня и поэтому ее чаще применяют в комбинированных системах, когда натягивается и поясная и грудная лента ремня.

Роторные натяжители ремней содержат три пиропатрона и поэтому имеют возможность регулировать силу натяжения ремня в зависимости от тяжести аварии*.

Все катушечные натяжители имеют один существенный недостаток: натяжение поясной ленты происходит только после натяжения грудной ленты, что в некоторых случаях может привести к «подныриванию» пассажира под ремень, а это опасно травмами шеи из-за давления грудной ленты. Следует заметить, что «подныривание» без натяжителя вероятнее во много раз.

Замочные натяжители тросового типа имеют малый ход поршня, а, следовательно, и натягиваемого ремня (рис. 3.5). Но так как натягивается за-

* по материалам сайта <http://ustroistvo-avtomobilya.ru/page/9/>

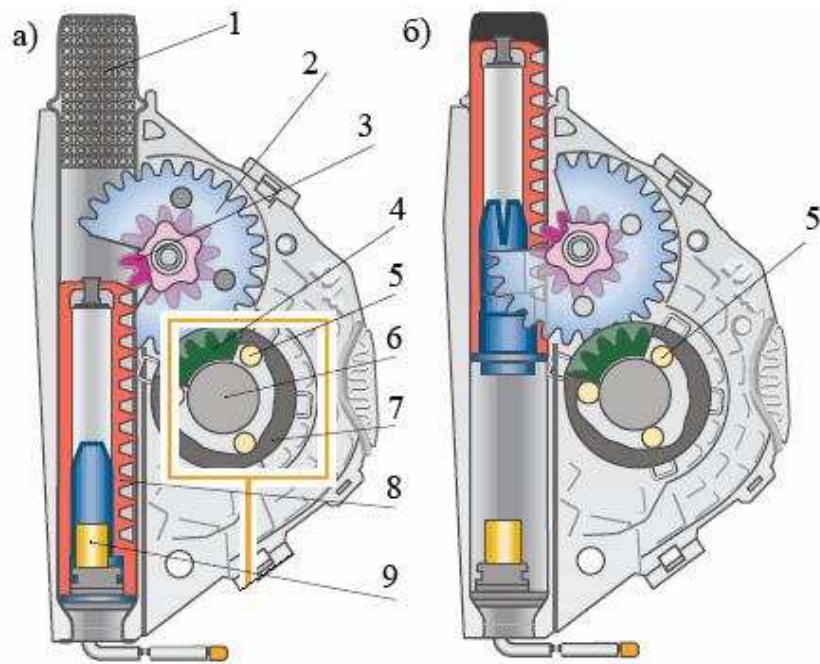


Рис. 3.4. Реечный натяжитель ремня безопасности в исходном положении (а) и при срабатывании пиропатрона (б):

1 – демпфер; 2, 3, 4 – шестерни; 5 – ролик; 6 – торсионный вал; 7 – наружное кольцо обгонной муфты; 8 – поршень с зубчатой рейкой; 9 – пиропатрон

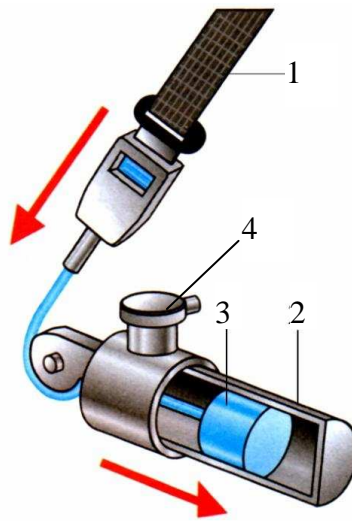


Рис. 3.5. Замочный натяжитель ремня безопасности:
1 – ремень; 2 – цилиндр; 3 – поршень; 4 – пиропатрон

мок ремня, то натягиваются сразу обе ветви ремня и поясная, и грудная, что повышает эффективность системы. Известна также конструкция тросового натяжителя и для катушечного натяжителя (ремень натягивают вращением катушки за счет разматывания пиропатроном троса с ее оси).

Наличие натяжителя позволяет существенно снизить силу постоянного натяжения спиральной пружины катушки. Это повышает комфорт пассажира, снижает желание не пристегиваться. На автомобилях премиум класса устанавливают системы блокирования спиральной пружины, что делает ремни не заметными – они просто перестают давить на грудь. Разумеется, эта сис-

тема работает согласованно с системой преднатяжения, воздействующей иногда на все три точки крепления ремня.

При тяжелой аварии (на высокой скорости или при лобовом столкновении с тяжелым автомобилем) возможны травмы в местах контакта организма и ремня. Поэтому применяют различные ограничители нагрузки на ремень:

- торсионный (рис. 3.6, а);
- S-образный (рис. 3.6, б);
- кронштейн крепления ремня заданной прочности и податливости.

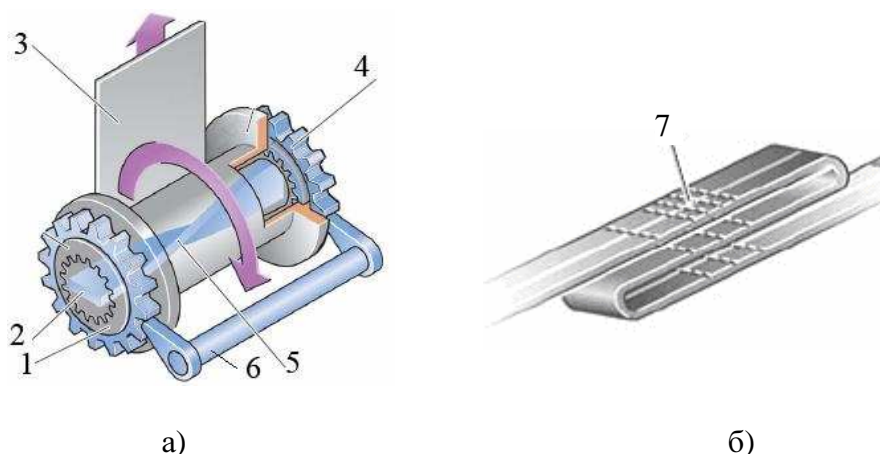


Рис. 3.6. Ограничители усилия на ремне безопасности торсионный (а) и S-образный (б):

1 – ступица катушки; 2 – торсионный вал (уже скрученный); 3 – ремень безопасности; 4 – зубчатое колесо; 5 – катушка ремня; 6 – стопор; 7 – сквозная прошивка ремня

Кстати, при испытаниях автомобилей на пассивную безопасность предельная нагрузка на грудную клетку, при которой еще нет повреждений, составляет 600 кгс. С натяжителями ремней эту нагрузку уменьшают до 400 кгс.

В последнее время активно ведутся разработки по разработке ремней безопасности со встроенными в грудную ленту надувным элементом (рис. 3.7). Такие ремни работают по тому же принципу, что и подушки безопасно-



Рис. 3.7. Ремни безопасности со встроенными надувными элементами в момент срабатывания пиропатронов при испытании системы

сти, распределяя силу удара по более широкой поверхности, нежели традиционные ремни, и снижая вероятность травм грудной клетки. Закрепленный на ремне мешок трубчатой формы наполняется газом после срабатывания датчиков удара одновременно с подушками безопасности. Впервые эта технология была предложена *Ford* на модели *Explorer*.

3.2.2. Тайминг процесса столкновения и подушки безопасности

Длительность несимметричного лобового столкновения автомобиля (40 % водительской стороны) на скорости 56 км/ч с неподвижным препятствием не превышает 120...150 мс. Причем после истечения этого времени автомобиль отскакивает от препятствия – движется в обратном направлении с заносом (скорее с забросом) в противоположную от барьера сторону, и на разных этапах этого процесса должны работать разные средства защиты людей в автомобиле.

Исследования показали, что на 15 мс от момента касания бампером препятствия пассажир еще перемещается в пространстве вместе с сиденьем автомобиля, а уже на 60 мс, несмотря на пристегнутые ремни безопасности, ударяется головой об руль (водитель) или о переднюю панель (пассажир на переднем сиденье). Ремни безопасности «позволяют удариться» человеку о компоненты интерьера потому, что есть слабина в их натяжении:

- во-первых – всегда есть зазор между ремнем и телом человека, поддерживаемый складками одежды;
- во-вторых, при замедлении инерционные ремни, установленные на большинстве современных автомобилей, активируются с небольшой задержкой;
- в-третьих, даже после того, как катушка ремня заблокирована, ремень выходит из нее из-за «катушечного эффекта»;
- в четвертых, под действием высоких нагрузок ремень вытягивается (вытягивается даже сталь);
- в пятых, прежде чем принять нагрузку организм человека («не железный») тоже деформируется.

Именно поэтому сначала останавливается автомобиль, и только потом, повиснув на ремнях, останавливается человек (именно «повиснув», ведь притяжение Земли 1g, а замедление при столкновении – до 100g, и ни один человек не может удержать нагрузку в сто раз превышающую его собственный вес).

С первыми тремя пунктами «борются» натяжители ремней. Время из срабатывания – десятая миллисекунда от начала столкновения. К пятнадцатой миллисекунде ремни полностью натянуты и заблокированы, человек прижат к сиденью.

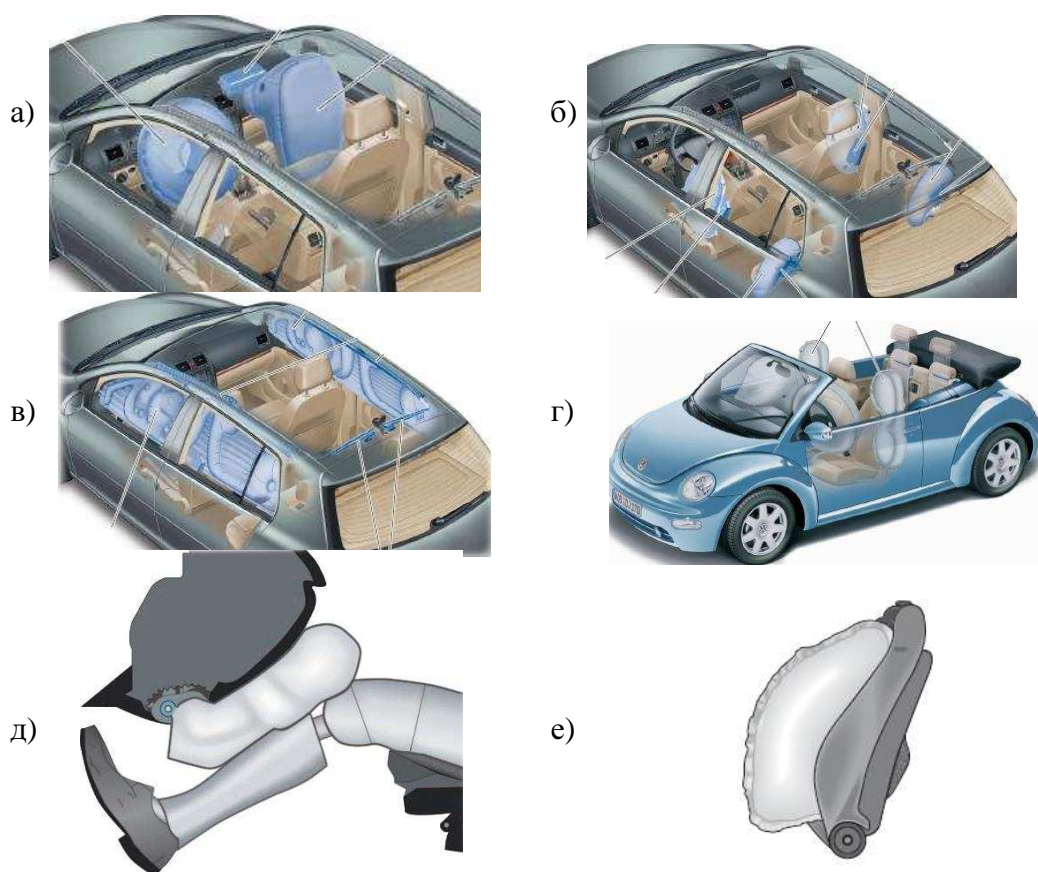


Рис. 3.8. Подушки безопасности современных автомобилей (на примере Volkswagen):
 а – фронтальные (водителя и переднего пассажира); б – боковые; в – головные (шторки); г – комбинированные (боковые и головные); д – коленная; е – боковая водительская

О силе натяжителя следует сказать лишь то, что если вектор силы ремня (натяжителя) и вектор силы инерции совпадают (а такое бывает только тогда, когда «умный» водитель пропускает ремень за спинкой сиденья), то спинка сиденья ломается, а «умный» водитель летит вперед как футбольный мячик, при этом руль (и все остальное) останавливают его летящим не на скорости 56 км/ч, а на значительно большей скорости, со всеми вытекающими последствиями.

Наличие натяжителей ремня резко снижает нагрузку на людей в салоне, но все-таки часто она оказывается недопустимо большой. Для снижения таких нагрузок в конструкцию автомобиля внедряют различные подушки безопасности: фронтальные для передних и задних сидений, боковые (встроенные в сиденье), головные (шторки, встроенные в потолок), коленные и т.д. (рис. 3.8).

В современных автомобилях подушки безопасности являются дополнением к ремням безопасности и без них подушки опасны не только для здоровья, но и для жизни. Хотя в 60...70-х годах подушки рекламировались как замена ремням. Но после множества трагических по вине подушек случаев, во-первых, их стали позиционировать как дополнение к ремням и, во-вторых,



Рис. 3.9. Подушки безопасности современных мотоциклов:

а – встроенная в экипировку спортсмена класса *SuperBike* (экспериментальная);
 б – встроенная в мотоцикл *Honda*; в – встроенная в воротник куртки

снизили давление в них*.

Но подушки безопасности применяются не только в салоне автомобиля, но и снаружи, например, для снижения риска повреждений головы пешехода при ДТП.

В последнее время подушки безопасности стали применять и для мотоциклистов (рис. 3.9) и даже для горнолыжников.

Применение подушек безопасности очень сложное мероприятие. Мало спроектировать эффективный гаситель удара, нужно еще правильно оценить саму необходимость срабатывания подушки и, главное, определить момент срабатывания, поэтому просто наличие подушки безопасности еще не гарантирует безопасности.

У современных автомобилей пиропатрон подушки безопасности поджигается сразу после натяжения ремней – на пятнадцатой миллисекунде и к 50-ой миллисекунде подушка полностью надута и готова смягчить удар человека о руль (панель). К 80-й миллисекунде давление в подушке существенно снижается. Скорость раскрытия подушки составляет от 200 до 300 км/ч. Считается, что расстояние между человеком и подушкой в момент ее срабатывания в целях безопасности не должно быть меньше 250 мм. Водительскую подушку делают меньшего объема – порядка 50 дм³ (энергию удара гасит еще сам травмобезопасный руль), переднего пассажира – 130 дм³.

В начале эволюции подушек безопасности для наполнения подушек

* Историю подушек см. http://ru.wikipedia.org/wiki/Подушка_безопасности

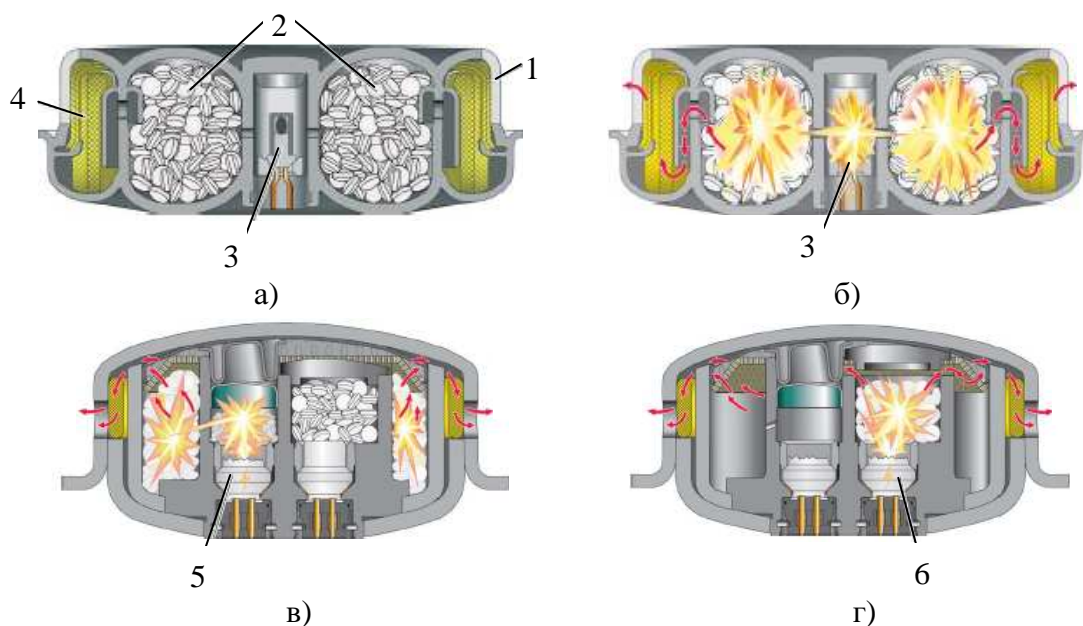


Рис. 3.10. Газогенератор водительской подушки безопасности:

а – одноступенчатый газогенератор; б – активирован одноступенчатый газогенератор; в – активирована первая ступень двухступенчатого газогенератора; г – активирована вторая ступень двухступенчатого газогенератора; 1 – корпус; 2 – заряд; 3 – активатор (запал) пороховой; 4 – сетка для фильтрации крупных частиц заряда; 5 – активатор первой ступени; 6 – активатор второй ступени

безопасности устанавливались только газогенераторы, которые работали по принципу сжигания твёрдого топлива. Позднее наряду с твёрдотопливными генераторами стали использоваться гибридные генераторы, вырабатывающие нейтральный, а главное, не горячий газ (температура пороховых газов опасно высока и может привести к ожогам).

Современные подушки безопасности различны по объёму и по времени удержания высокого давления. Фронтальные подушки практически полностью теряют внутреннее давление уже к 150-й мс. Но боковые подушки и шторки держат давление значительно дольше – по крайней мере, в течение нескольких секунд. Это связано с тем, что фронтальные подушки закрывают обзор спереди, а водитель и пассажир должны иметь возможность контролировать (если смогут) ситуацию перед автомобилем. Боковые подушки должны держать не только первый, но и последующие удары, например, при переворотах.

Газогенераторы подушек безопасности могут быть одно- или двухступенчатыми (рис. 3.10). Более сложные двухступенчатые газогенераторы позволяют обеспечить более высокий уровень безопасности при более тяжёлых авариях. В подобных газогенераторах оба запала активируются последовательно. Но при более тяжёлых авариях интервал между подрывом запалов меньше, в результате чего давление в подушке оказывается больше (рис. 3.11).

Сам факт необходимости срабатывания той или иной подушки безо-

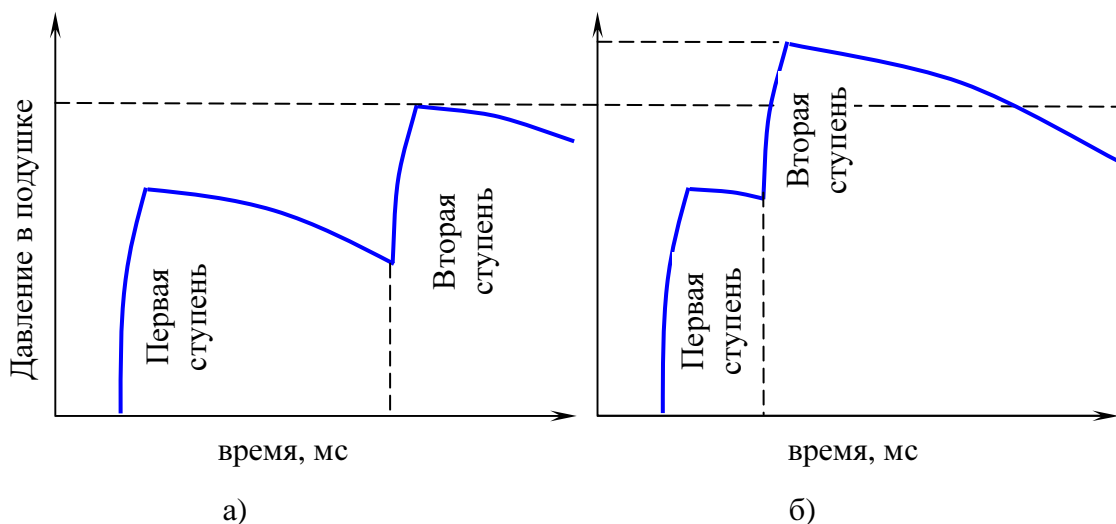


Рис. 3.11. Активация двухступенчатого газогенератора подушки безопасности при легкой (а) и тяжелой (б) аварии

пасности определяется несколькими условиями:

1. Скорость автомобиля (или соответствующее замедление) не должна быть меньше 15...25 км/ч. При меньшей скорости подушки не нужны – достаточно ремней безопасности.

2. Вектор направления удара не должен отличаться от «направления главного удара» (продольной оси автомобиля) фронтальной подушки более чем $\pm 15^\circ$. При большем угле удара фронтальные подушки бесполезны или даже опасны.

3. Фронтальные подушки активируются на 15-й мс от начала удара, зарегистрированного одним или двумя датчиками, установленными на первой поперечине или в начале соответствующих лонжеронов. Натяжители ремней активируются на 10-й мс.

4. При угле удара более 15° к продольной оси, в частности, при боковом ударе, должны активироваться боковые и головные подушки со стороны удара (часто активируют и с другой стороны), и натяжители ремней всех пассажиров.

5. При боковом ударе, распознаваемом соответствующим датчиком в основании средней стойки с каждой стороны боковые и головные подушки активируются немедленно, ведь они должны иметь максимальное давление уже к 15-й мс.

6. При ударе сзади активируются только натяжители ремней.

7. При угрозе переворота автомобиля, зарегистрированной датчиком в блоке управления системы безопасности, активируются все боковые и головные подушки и натяжители ремней.

8. Фронтальная подушка переднего пассажира на некоторых автомобилях не активируется:

- если нет пассажира;
- если она деактивирована ключом, что необходимо делать в случае уста-

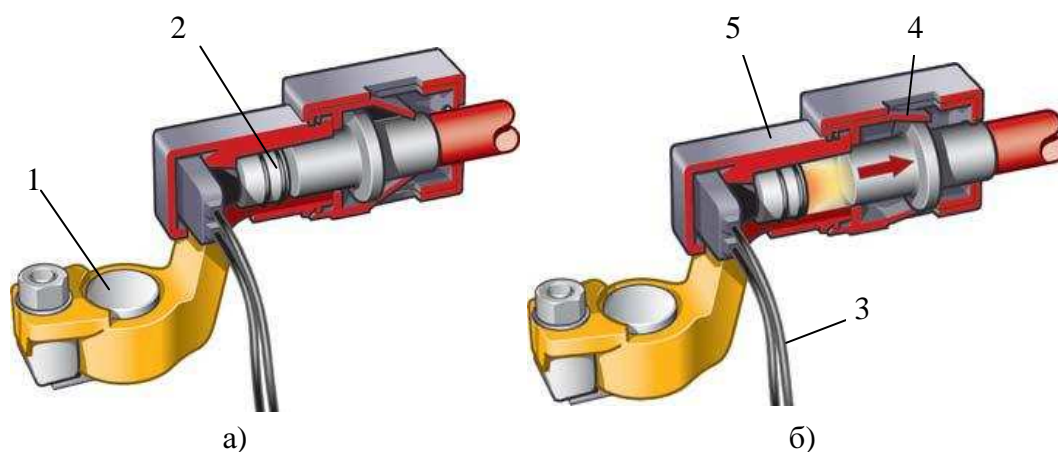


Рис. 3.12. Выключатель аккумуляторной батареи в исходном (а) и активированном (б) состоянии:

1 – плюсовая клемма аккумулятора; 2 – пиропатрон; 3 – провод управления пиропатроном; 4 – фиксатор отключенного положения; 5 – диэлектрический корпус выключателя

новки на переднее сиденье детского кресла (ребенок до передней панели головой не дотянется, а подушка до него «дотянется» и ударит в голову, а не в грудь).

Датчики на лонжеронах для улучшения точности распознавания удара иногда дублируются датчиками, установленными в непосредственной близости от соответствующей подушки. Датчик бокового удара (датчик ускорения) в средней стойке дублируется датчиком давления воздуха во внутренней полости двери и датчиком ускорения в задней стойке (для боковой подушки пассажира на заднем сиденье).

Наличие пассажира проверяется датчиком веса в подушке сиденья, обычно срабатывающего при массе 5 кг.

В более современных автомобилях для исключения пропуска ремня за сиденьем проверяется усилие в замке ремня безопасности: вектор силы должен быть направлен вперед и вверх (а не назад). В противном случае подушки и натяжители в случае ДТП не будут активированы.

Следует заметить, что блок управления системой безопасности, находящийся в районе центра масс автомобиля, кроме датчиков удара по осям координат и датчиков вращения вокруг осей (главным образом продольной), имеет встроенный источник питания, способный снабжать энергией и сам блок и подушки безопасности в течение нескольких секунд или даже минут после полного обесточивания автомобиля, которое этот же блок в случае необходимости и активирует: выключатель плюсовой клеммы аккумулятора (рис. 3.12) или отдельное устройство в моторном отсеке или в салоне.

Необходимость во встроенном источнике питания и не срабатывания фронтальных подушек при не лобовом ударе объясняется еще следующим. Возможны случаи, когда произошло касательное (боковое) столкновение автомобиля с препятствием (например, в заносе): активированы боковые по-

душки, во избежание пожара отключен аккумулятор. Но автомобиль скорость не загасил и продолжает двигаться (как правило, уже неуправляемый). Происходит лобовое столкновение: за счет энергии встроенного источника питания распознается лобовое столкновение и активируются фронтальные подушки. Таким образом, вероятность серьезных травм снижается.

Разумеется все пиротехнические устройства одноразовые.

3.2.3. Детские удерживающие системы

Наиболее сложная задача перед инженерами стоит, когда необходимо позаботиться о детях, ведь они такие разные по росту и весу.

Согласно Правилам ЕЭК ООН № 14, 16 и 44 автомобили должны быть оборудованы местами крепления детских сидений типа *ISOFIX* и верхнего страховочного троса *ISOFIX*.

ISOFIX – это система соединения детских удерживающих систем с транспортными средствами, оснащенная двумя жесткими корпусными креплениями, двумя соответствующими жесткими крепежными элементами на детской удерживающей системе и приспособлением, ограничивающим свободу углового перемещения детской удерживающей системы (страховочный трос).

Детская удерживающая система (ДУС или удерживающее устройство) означает совокупность элементов, включающая комплект лямок или гибких компонентов с пряжками, устройства регулировки–крепления и в некоторых случаях дополнительное устройство, например детскую люльку, съемное детское кресло, дополнительное сиденье и/или противоударный экран, который может быть прикреплен к кузову механического транспортного средства. Эта система сконструирована таким образом, чтобы в случае столкновения или резкого торможения транспортного средства уменьшалась опасность ранения находящегося в ней ребенка путем ограничения подвижности его тела.

Детские удерживающие устройства подразделяются на пять «весовых групп»:

Группа 0 – для детей массой менее 10 кг;

Группа 0+ – для детей массой менее 13 кг;

Группа I – для детей массой от 9 до 18 кг;

Группа II – для детей массой от 15 до 25 кг;

Группа III – для детей массой от 22 до 36 кг.

Удерживающие системы *ISOFIX* для детей первых трех весовых групп (0, 0+ и I) подразделяются на следующие семь классов размера:

- A – *ISO/F3*: полноразмерная ДУС для детей младшего возраста, устанавливаемая по направлению движения;

- *B – ISO/F2*: среднеразмерная ДУС для детей младшего возраста, устанавливаемая по направлению движения;
- *B1 – ISO/F2X*: среднеразмерная ДУС для детей младшего возраста, устанавливаемая по направлению движения;
- *C – ISO/R3*: полногабаритная ДУС для детей младшего возраста, устанавливаемая против направления движения (рис. 3.13);



Рис. 3.13. Детская удерживающая система класса *C* весовой группы *0+*, устанавливаемая против движения автомобиля

- *D – ISO/R2*: среднегабаритная ДУС для детей младшего возраста, устанавливаемая против направления движения;
- *E – ISO/R1*: ДУС для младенцев, устанавливаемая против направления движения;
- *F – ISO/L1*: ДУС, устанавливаемая в боковом положении слева (переносная);
- *G – ISO/L2*: ДУС, устанавливаемая в боковом положении справа (переносная).

3.1. Классификация детских удерживающих систем

Весовая группа		Класс размера <i>ISOFIX</i>		
0	до 10 кг	F	ISO/L1	Устанавливается боком
		G	ISO/L2	Устанавливается боком
		E	ISO/R1	Против направления движения
0+	до 13 кг	C	ISO/R3	Против направления движения
		D	ISO/R2	Против направления движения
		E	ISO/R1	Против направления движения
I	9 – 18 кг	A	ISO/F3	По направлению движения
		B	ISO/F2	По направлению движения
		B1	ISO/F2X	По направлению движения
		C	ISO/R3	Против направления движения
		D	ISO/R2	Против направления движения

Разделение ДУС по направлению движения связано с количеством точек крепления ремней: при установке кресла по направлению движения запрещается применение Y-схемы ремней (пятиточечные), а только шеститочечные или четырехточечные ремни. В последнем случае трудно выполнить требование о распределении нагрузки на плечи и таз ребенка (получается плечи и живот).

Для детей II и III весовых групп применяют специальные проставки на сиденья, поднимающие ребенка немного выше (рис. 3.14). Это делается для того, чтобы грудная лента штатного ремня безопасности проходила по середине плеча, а поясная лента распределяла нагрузку на таз ребенка (а не

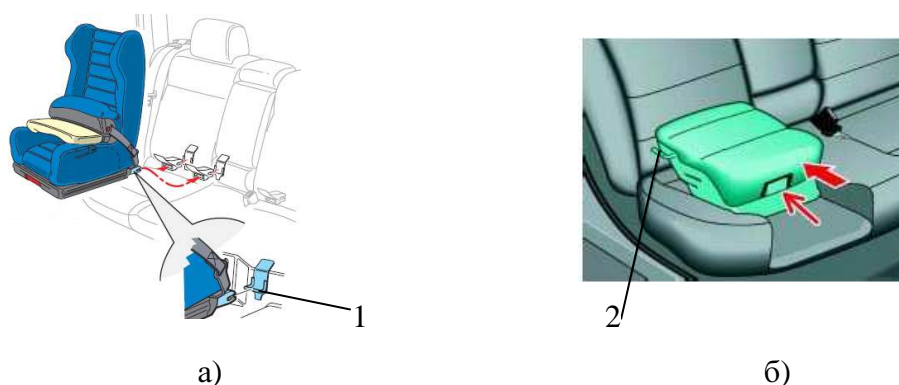


Рис. 3.14. Детская удерживающая система ISOFIX (а) для детей 0, 0+ и I весовых групп и встроенное устройство (б) для детей II и III весовых групп (Volkswagen Passat 2001 г.):

1 – кронштейн системы ISOFIX для крепления удерживающей системы; 2 – направляющая скоба для поясной ленты штатного ремня безопасности

на живот).

Учитывая то, что у детей младшего возраста крупная голова, тонкая и слабая шея, их следует перевозить только в кресле, установленном против движения. В этом случае вероятность повреждения шеи минимальна. Голова ребенка в этом случае тоже оказывается более защищенной от удара о собственные колени.

3.2.4. Системы удержания головы

В связи с большим количеством хлыстовых травм шеи на современных автомобилях стали устанавливать пассивные и активные подголовники.

Требования к подголовникам регламентированы Правилом ЕЭК ООН № 25 и уже принятым Глобальным Правилем № 7, которое вскоре (после ратификации) заменит № 25. В Глобальных Правилах, в отличие от Правил ЕЭК ООН, приводится глубокий анализ необходимости и важности каждого конкретного регламента.

Хлыстовую травму шеи чаще всего получают при наезде сзади, хотя

вероятность этого события составляет всего 6 % (см. рис. 1.14), тем не менее, каждая четвертая хлыстовая травма получена именно при таком виде ДТП.

Эффективным средством предотвращения хлыстовых травм шеи является подголовник. Но к нему предъявляется ряд требований.

Во-первых, высота подголовника должна быть достаточна: верх подголовника не должен быть ниже макушки головы пассажира.

Во вторых, расстояние между затылком и подголовником не должно превышать 50...70 мм.

Если с первым условием, как правило, проблем нет, то при выполнении второго условия возникает дискомфорт: подголовник мешает поворачивать голову в стороны. Кроме того, у разных людей разная осанка и если для одного рассматриваемое условие легко выполняется, то для другого может оказаться невыполнимо: большинство подголовников имеют регулировку только по высоте.

Для выполнения второго условия производители автомобилей в последнее время стали применять активные подголовники, которые в аварийном случае уменьшают это расстояние (рис. 3.15). Подголовник не имеет каких-либо приводов и работает следующим образом. При ударе сзади сиденье перемещается вперед, а пассажир по инерции вжимается в сиденье. Опора спины 4 перемещается назад, увлекая за собой посредством тяг кривошип 3. Последний поворачивается вокруг своей опоры, толкая нижний конец подголовника 1 вверх и назад. Перемещение назад нижнего конца подголовника вызывает его поворот относительно неподвижной опоры 2, в результате чего верхний конец подголовника пододвигается к голове.

На спортивных автомобилях вместо подушек безопасности и активных подголовников применяют систему удержания головы и шеи *HANS*

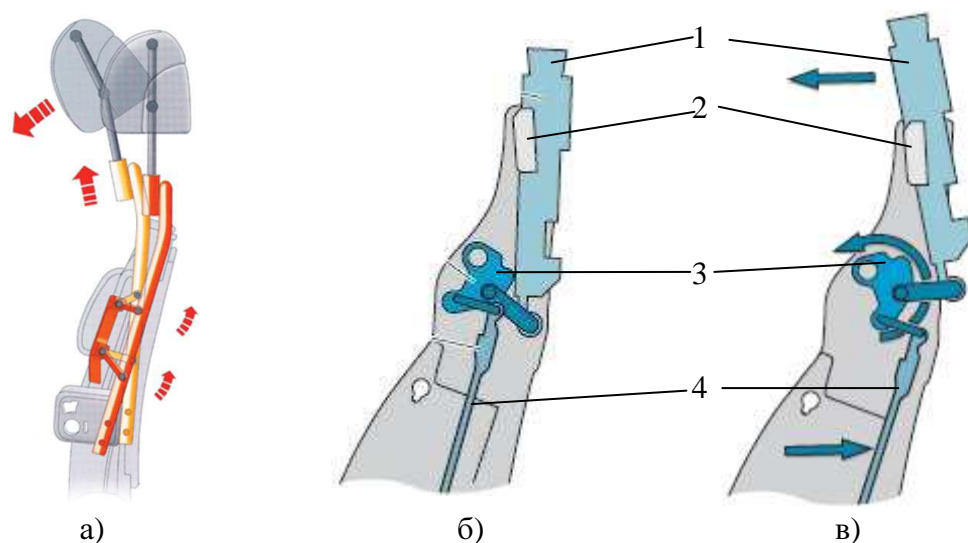


Рис. 3.15. Активные подголовники Peugeot 307 (а) и Audi А6 в исходном (б) и активированном (в) состоянии:

1 – Подголовник; 2 – неподвижная опора; 3 – кривошип; 4 – опора спины

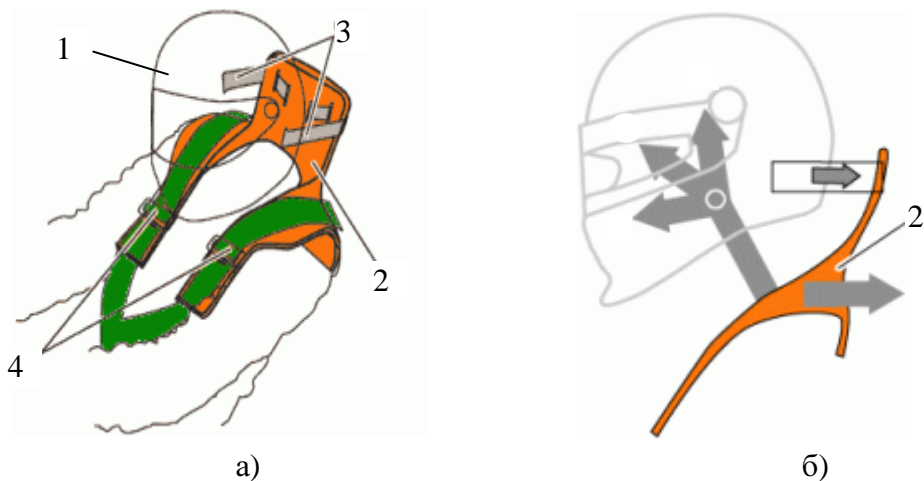


Рис. 3.16. Система удержания головы HANS (а) и схема перераспределения сил, действующих на голову в шлеме на воротник системы (б):

1 – Шлем; 2 – воротник; 3 – ремни, соединяющие шлем и воротник; 4 – грудные ленты шеститочечных ремней безопасности

(*Head&Nec Support*), которая функционирует только с шеститочечными ремнями безопасности. Так как такие ремни затягивают очень сильно, то натяжители им не нужны. Система *HANS* удерживает голову от нагрузок любого направления.

Система *HANS* состоит из двух частей: шлема с вмонтированными в него анкерами и воротника с закрепленным в нем ремнем, концы которого замками присоединяются к анкерам шлема. Воротник одевается на плечи спортсмена и жестко прижимается к телу ремнями безопасности (рис. 3.16).

Система *HANS* стала применяться в автомобилях «*Formula 1*» с 2003 г. Она призвана удерживать голову гонщика от чрезмерно сильного движения головы вперед во время аварии. С помощью *HANS* силы, заставляющие голову и шею двигаться вперед уменьшаются почти на 80 % за счет ремней, соединяющих шлем с жестким воротником, находящимся за шлемом гонщика.

Внедрение системы *HANS* позволило существенно повысить безопасность автогонок всех классов.

Во многих кузовных гоночных классах до сих пор применяют страховочные сетки на окнах, немного помогающих при боковых ударах и опрокидываниях (рис. 3.17).



Рис. 3.17. Страховочная сетка на окне спортивного автомобиля

3.3. Безопасность органов управления

3.3.1. Рулевая колонка

К рулевой колонке предъявляется ряд требований, которые можно сгруппировать следующим образом:

- недопущение перемещения каких-либо частей колонки в салон и образования острых режущих кромок (первичный удар);
- способность рулевой колонки гасить энергию удара водителя о руль (вторичный удар);
- обеспечение постоянства вектора «выстрела» подушки безопасности.

Для компенсации перемещений деталей рулевого механизма, вызванных первичным ударом, в легковых автомобилях с несущим кузовом, как правило, достаточно двойного карданного шарнира со шлицами, так как рулевая рейка находится сразу перед щитком моторного отсека (рис. 3.18).

Для компенсации перемещений деталей рулевого механизма, вызванных первичным ударом, в рамных автомобилях не достаточно двойного карданного шарнира со шлицами, необходим еще и компенсирующий перемещения сминаемый вал (рис. 3.19). Этот вал может быть выполнен в виде сильфона, перфорированной трубки и т.д.

Рулевое колесо в своей конструкции имеет либо сильфон, либо перфорированный стакан, который является посредником между центральной частью рулевого колеса и салонной частью рулевого вала (рис. 3.20). К этой детали предъявляются противоречивые требования: она должна быть податлива под давлением головы или грудной клетки, но одновременно она должна оставаться соосной к рулевому валу для обеспечения правильного направления работы подушки безопасности.

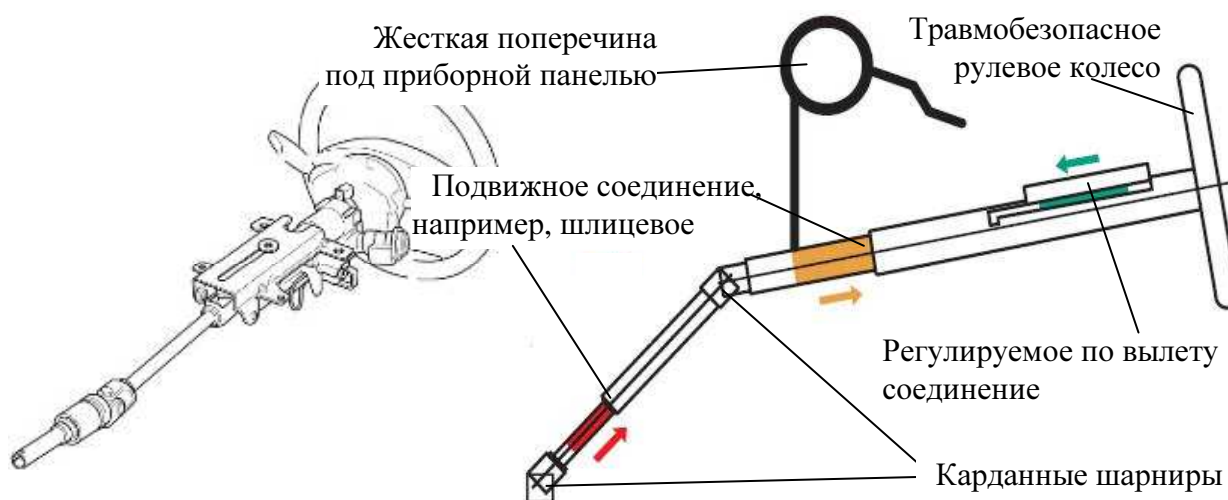


Рис. 3.18. Травмобезопасная рулевая колонка автомобиля с несущим кузовом

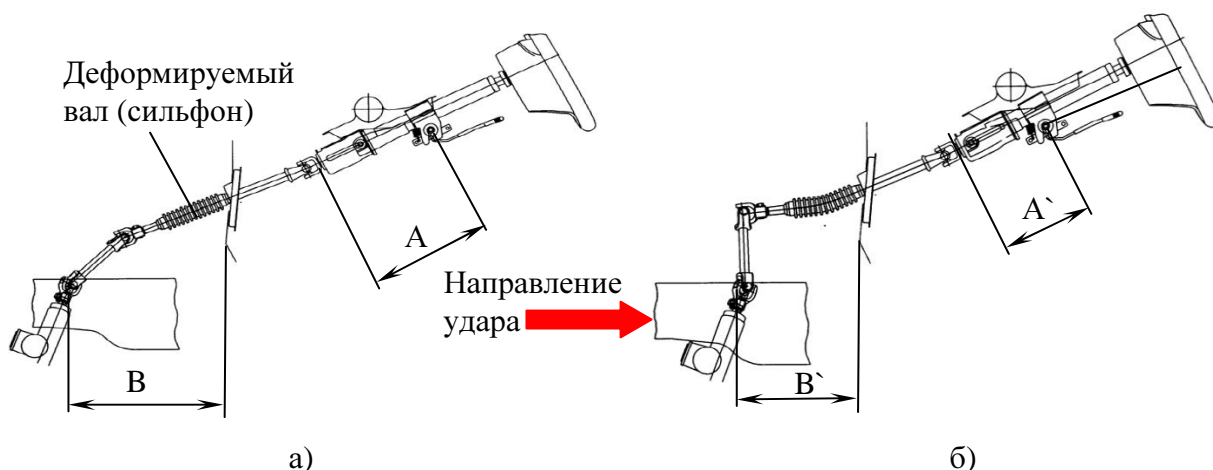


Рис. 3.19. Травмобезопасная рулевая колонка рамного автомобиля (*Mitsubishi L200*) до столкновения (а) и после него (б)



Рис. 3.20. Травмобезопасная проставка под рулевое колесо (сильфон)

3.3.2. Педальный узел

При испытаниях автомобиля на пассивную безопасность путем лобового столкновения с деформируемым препятствием с 40 %-ным перекрытием с водительской стороны под удар попадает лонжерон и колесо, которые, смещаясь назад и деформируясь, все-таки ударяют моторный щиток. В результате происходит смещение педального узла в сторону ног водителя, что приводит к травмам (рис. 3.21).

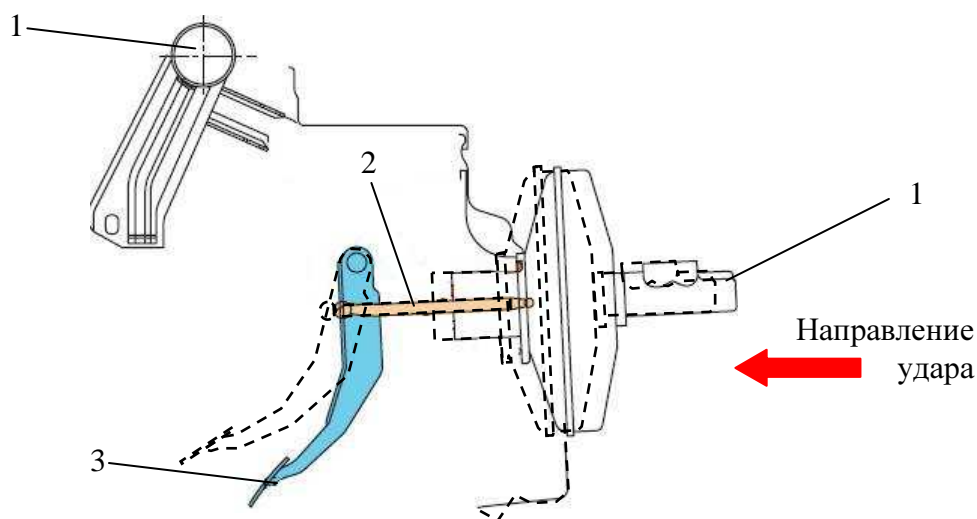


Рис. 3.21. Механизм смещения педалей при ударе в главный тормозной цилиндр:
 1 – главный тормозной цилиндр; 2 – шток; 3 – педаль;
 4 – поперечина каркаса безопасности автомобиля

Для того, чтобы избежать подобные травмы необходимо сначала рассмотреть механизм перемещения педального узла. Возможны три варианта:

- удар пришелся в главный тормозной цилиндр;
- от удара деформируется верхняя часть моторного щитка;
- от удара деформируется нижняя часть моторного щитка.

Для того, чтобы повысить безопасность при первом варианте, в конструкции добавляют специальный Г-образный кронштейн, который в случае столкновения деформируется, его колено смещается вниз и ломает шток привода главного тормозного цилиндра (рис. 3.22).

Если от удара двигателем деформируется верхняя часть щитка (2 вариант), то тогда делают разрушаемой верхнюю опору кронштейна крепления педального узла (рис. 3.23).

В третьем случае необходимо применять комбинированную конструк-

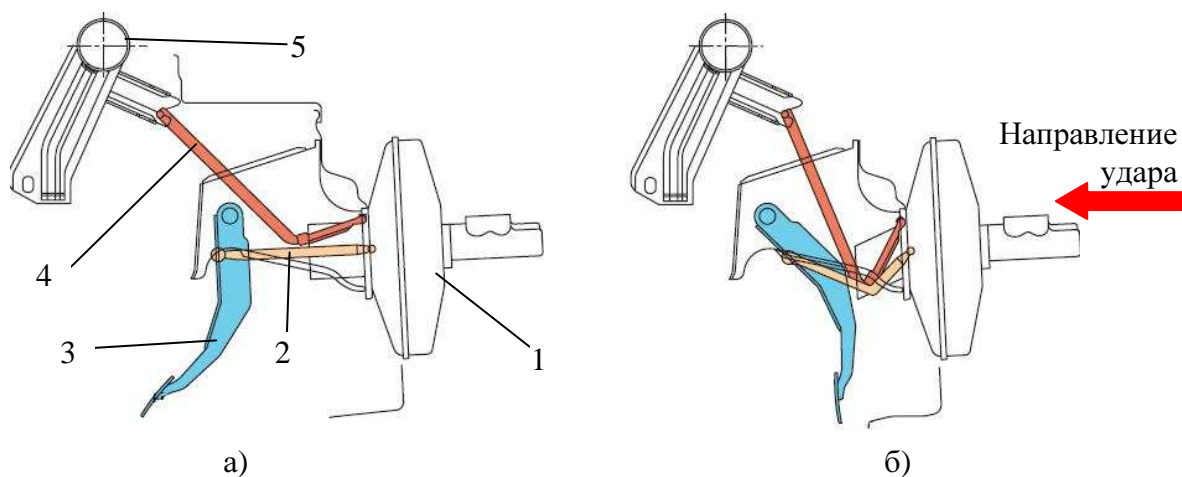


Рис. 3.22. Педальный узел Volkswagen Beetle до столкновения (а) и после (б):

1 – главный тормозной цилиндр с усилителем; 2 – шток; 3 – тормозная педаль;
4 – кронштейн; 5 – поперечина каркаса безопасности автомобиля

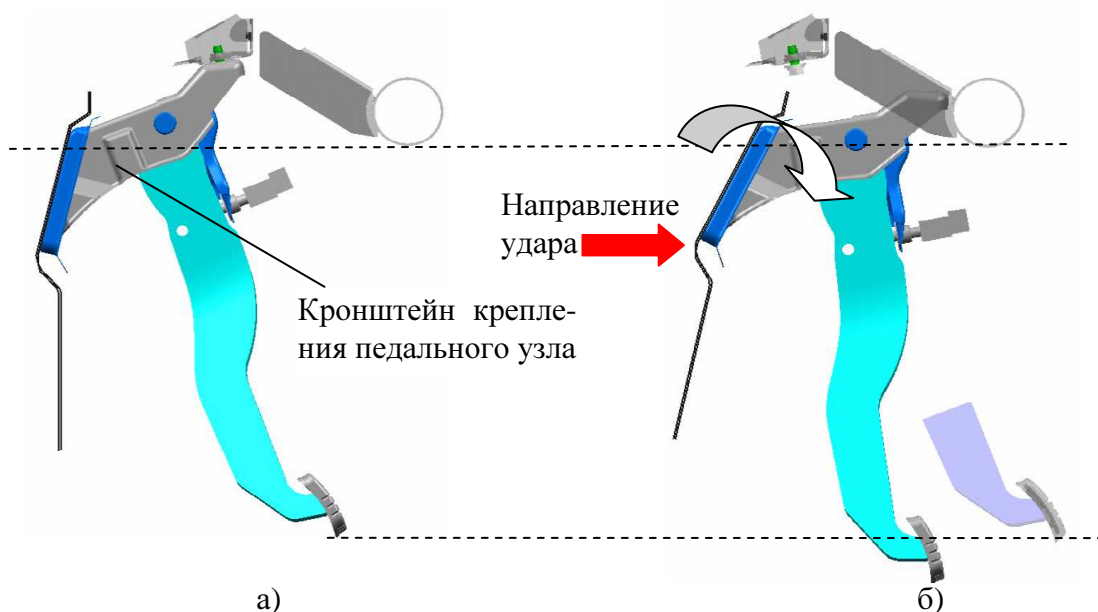


Рис. 3.23. Педальный узел Mitsubishi L200 до столкновения (а) и после (б)

цию: Вместо Г-образного прямой жесткий кронштейн должен ломать и отводить назад верхнюю опору кронштейна крепления педального узла.

Конечно, понять и проверить кинематику движения ломающегося механизма можно только экспериментально.

3.4. Ударопоглощающие свойства кузова

3.4.1. Зоны программируемой деформации

С точки зрения пассивной безопасности кузовов современного автомобиля состоит из двух элементов:

- высокопрочный салон;
- зоны программируемой деформации, для гашения энергии удара:
 - лобового;
 - бокового;
 - сзади;
 - при опрокидывании;
 - при столкновении с пешеходом для его защиты.

При разработке мероприятий по улучшению пассивной безопасности при наиболее частом и опасном по последствиям лобовом ударе в задачи инженера входит распределить силу удара на всю силовую структуру кузова и попытаться растянуть во времени процесс деформации кузова (рис. 3.24). Если больше время остановки автомобиля при столкновении, то меньше ускорения, меньше нагрузки, действующие на пассажиров.

Если в конструкции кузова не предусматривать силовую структуру, то при ударе задняя часть автомобиля «налетает» на переднюю часть, и под ударом оказывается салон. Ведь на самом деле стрелки (см. рис. 3.24) надо рисовать в обратную сторону: при столкновении передняя часть (бампер) оттапливается в первую очередь, а остальные части продолжают еще некоторое время «ехать». Именно поэтому при лобовом столкновении у автомобиля может деформироваться кузов в задней части – за салоном, и это не будет недостатком конструкции, а напротив, позволит распределить энергию удара по большому числу элементов силой структуры.

При лобовом ударе в первую очередь нагрузку воспринимает бампер и первая поперечина рамы или (у легковых автомобилей) силовой структуры (рис. 3.25).

Задача поперечины – распределить энергию удара на два лонжерона и, далее, на силовую каркас салона (такая задача не стоит при столкновении со 100 %-ным перекрытием). Если этого не сделать, то силовой каркас салона концентрированный удар не выдержит, и деформация проникнет в салон, что недопустимо. Однако, поперечина не может работать без крашбоксов, в задачи которых входит гашение энергии слабого удара, а при сильном ударе –

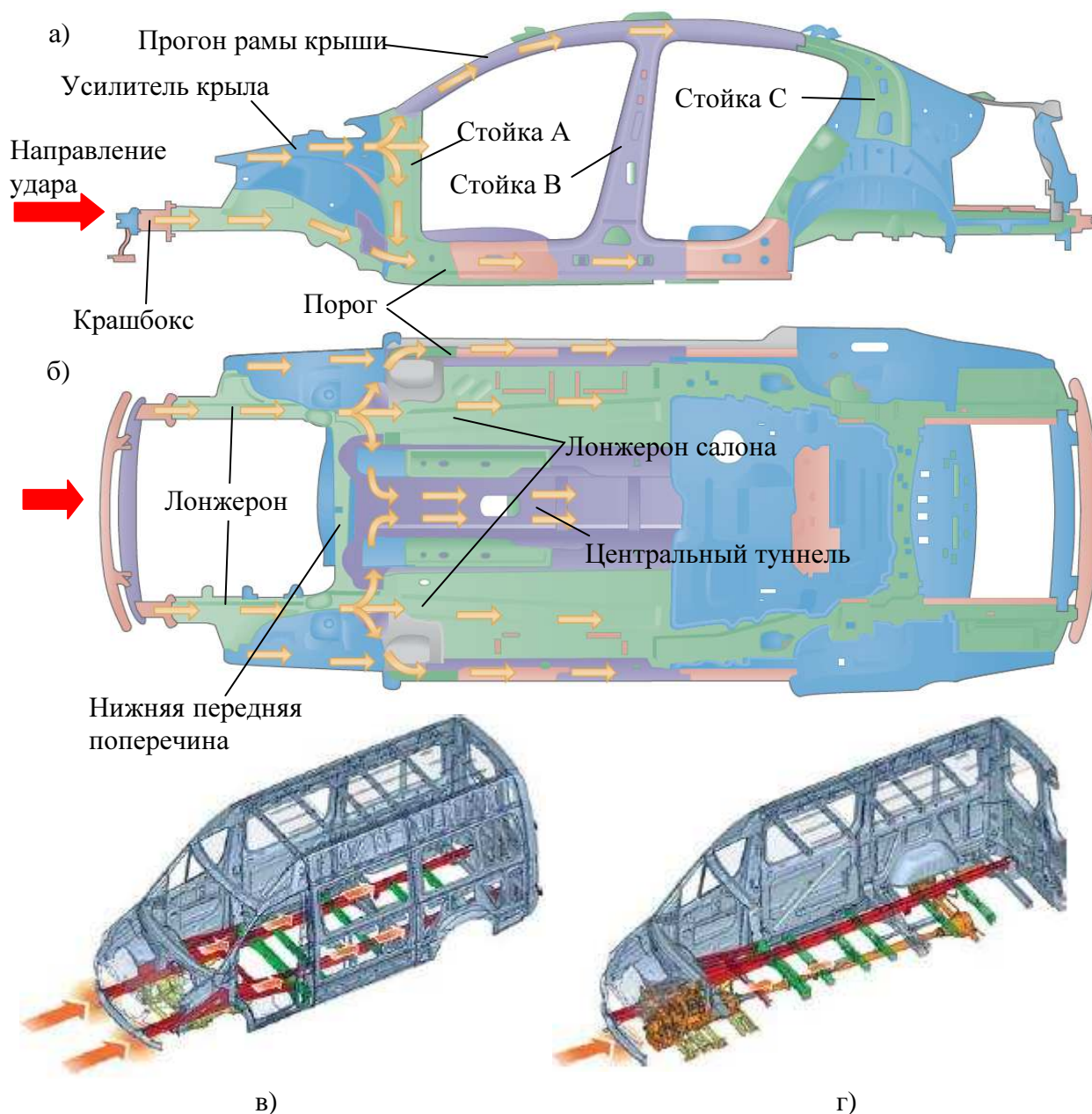
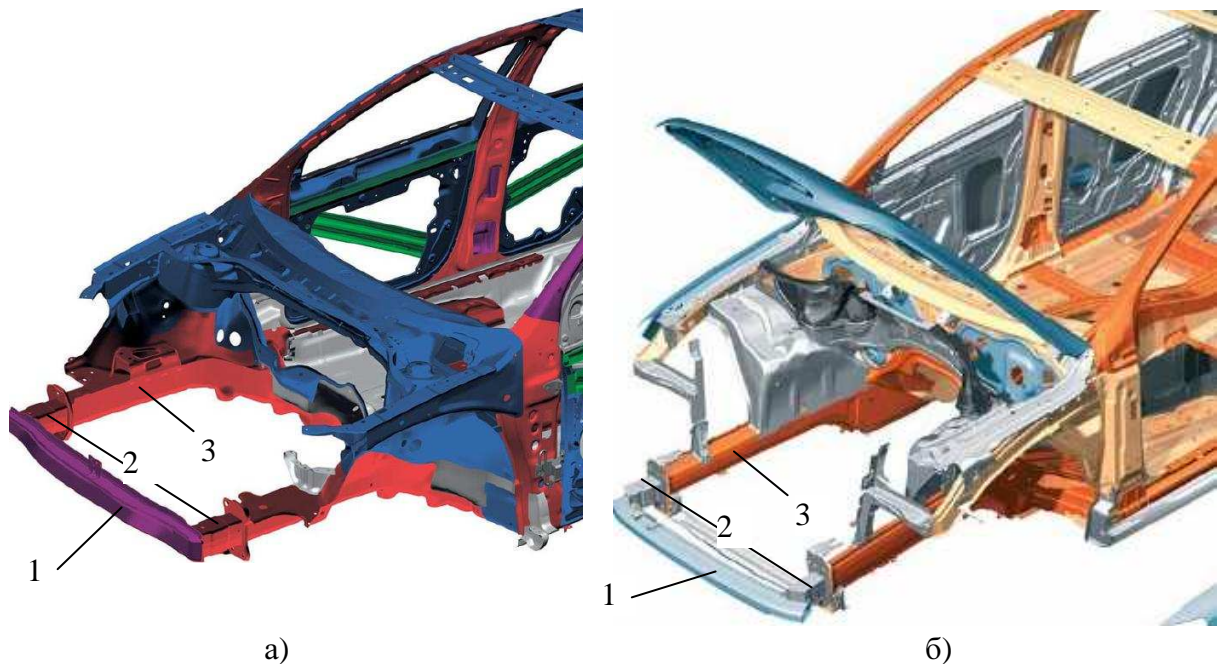


Рис. 3.24. Распределение энергии фронтального удара (показано стрелками) по силовой структуре несущего кузова и раме автомобиля:

а – вид сбоку (*Volkswagen Passat B6*); б – вид снизу (*Volkswagen Passat B6*); в – по раме *Volkswagen Crafter*; г – через силовой агрегат на раму *Volkswagen Crafter*

дать возможность поперечине перенаправить энергию на второй крашбокс. Поперечина начинает работать (передавать нагрузку на другой лонжерон), если поперечина повернулась в точке сопряжения поперечина–крашбокс. Тогда средняя часть поперечины оказывается ближе к наружной поверхности удара, что заставляет поперечину выровняться, то есть нагрузить второй крашбокс. Таким образом, два крашбокса и поперечина вместе выполняют функцию перераспределителя энергии с одного лонжерона на два.

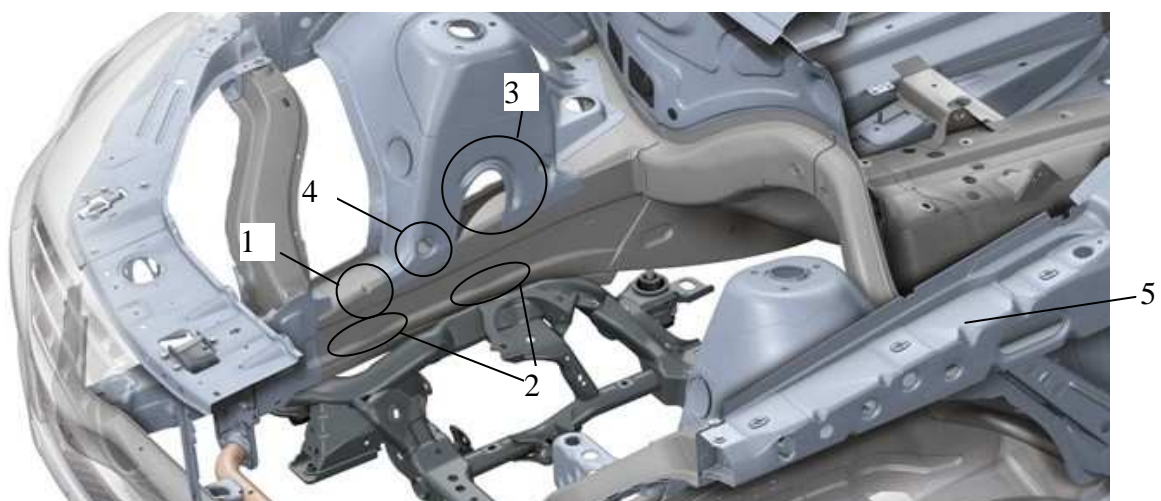
Лонжероны, также как крашбоксы, делают с зонами программированной деформации, но это сложная задача: с одной стороны, лонжерон – несущий элемент, на котором закреплен силовой агрегат и передняя подвеска



а) б)
**Рис. 3.25. Силовая структура передней части автомобилей
Volkswagen Golf (а) и *Audi Q7* (б):**

1 – поперечина; 2 – крашбок; 3 – лонжерон

автомобиля. От жесткости лонжеронов зависит виброустойчивость кузова и управляемость автомобиля. С другой стороны, при лобовом столкновении жесткий лонжерон не загасит энергию удара, а передает ее на силовой каркас салона, что тот не выдерживает. Поэтому лонжерон должен быть одновременно и жестким, и пластичным, что на первый взгляд невозможно (рис. 3.26). На лонжероне выполнено множество заломов и концентраторов напряжений, благодаря которым эта детали «не ломается пополам», а «собирается в гармошку». При этом поглощается значительное количество энергии,



**Рис. 3.26. Места программированной деформации
на лонжероне автомобиля *Mercedes ML* 2011 года:**

1 – залом на ребре лонжерона; 2 – подштамповка, изменяющая форму сечения лонжерона;
3 – ручей программированной деформации; 4 – отверстие–концентратор напряжений;
5 – усилитель крыла переменного сечения

достаточное для обеспечения пассивной безопасности при ударе средней силы.

После сокращения длины лонжерона на 1/3 ему «на помощь» вступает в работу усилитель крыла переменного сечения, который также имеет заломы и концентраторы напряжений (см. рис. 3.26). Лонжерон и усилитель крыла вместе способны выдержать удар большой силы.

От лонжеронов и усилителей крыльев нагрузка должна быть распределена на силовой каркас салона. Эту функцию выполняют стойки А (рис. 3.27)

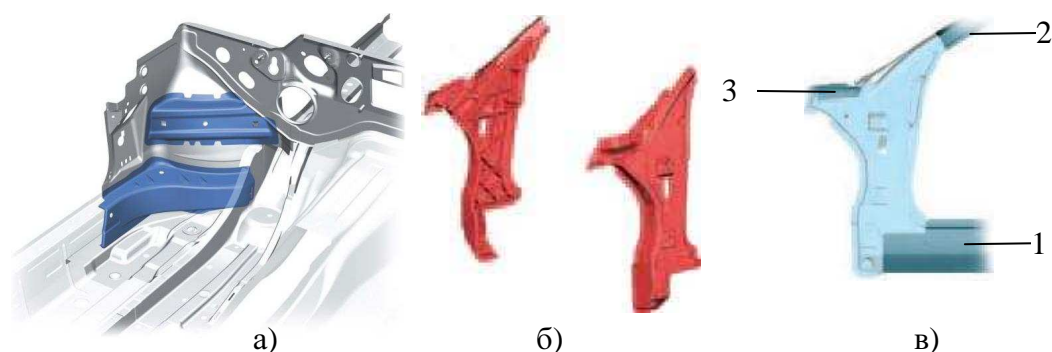


Рис. 3.27. Распределение нагрузки на стойку А силового каркаса салона Audi:
а – распределитель нагрузки лонжерон (усилитель крыла) – стойка А; б – левая и правая стойки; в – силовое взаимодействие стойки А с другими элементами:
1 – порог; 2 – прогон рамы крыши; 3 – усилитель крыла

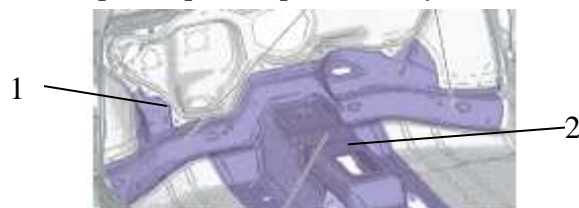


Рис. 3.28. Нижняя передняя поперечина силового каркаса салона Volkswagen Passat B6 (вид снизу спереди):
1 – нижняя поперечина; 2 – центральный туннель

и нижняя поперечина силового каркаса салона (рис. 3.28). Верхняя поперечина моторного щитка играет лишь вспомогательную роль и больших нагрузок не несет.

От стойки А энергия удара перераспределяется на порог (рис. 3.29, а, б) и прогон рамы крыши (3.29, в, г). У автомобилей без крыши порог делают усиленным (четырёхкамерным).

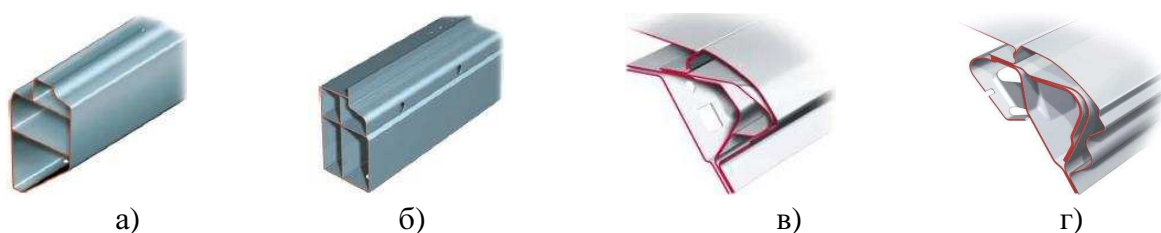


Рис. 3.29. Сечения элементов силового каркаса салона:
а – трехкамерный порог Audi A8 (седан); б – четырехкамерный порог Audi TT (кабриолет);
в, г – прогон рамы крыши соответственно Audi A3 и A6

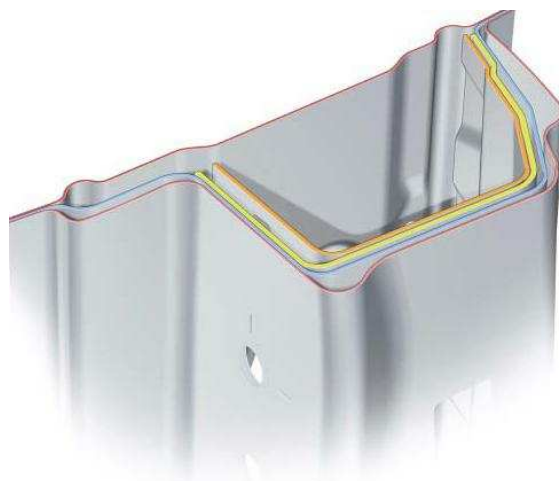


Рис. 3.30. Сечение стойки *B* автомобиля *Audi A6*

Стойка *B* связывает между собой середины порога и прогона рамы крыши, добавляя им прочности (рис. 3.30).

Стойка *B* играет главную распределительную роль при боковом ударе. Так как при ударе сбоку салон меньше всего защищен, то стойка *B* выполняется из самой прочной стали, что есть в каркасе салона. Благодаря этому стойка способна распределить энергию удара на порог, прогон рамы крыши и центральную поперечину пола салона. От порога нагрузка передается на переднюю, среднюю и заднюю поперечины каркаса салона, а через прогон на поперечины рамы крыши. Таким образом, энергия передается сразу всему силовому каркасу салона. Поглотители энергии (крашбоксы) здесь, к сожалению, разместить негде, а энергию гасить надо и, поэтому, таким поглотителем является сам порог, а также армированный до центрального тоннеля пол вдоль порога. Немного деформироваться от бокового удара может только нижняя часть каркаса салона. В верхней части каркаса салона зон деформации нет.

При опрокидывании автомобиля нагрузку воспринимают стойки *A*, *B* и *C* совместно с рамой крыши, включающей прогоны и три поперечины.

3.4.2. Энергопоглотители (крашбоксы)

Крашбоксы – это заменяемые (при ремонте) конструктивные элементы силовой структуры кузова или рамы автомобиля, предназначенные для поглощения энергии удара, направленной вдоль оси элемента, путем множественной деформации в заранее предусмотренной последовательности (программируемая зона деформации).

Основным конструктивным решением, позволяющим крашбоксам поглощать значительную часть энергии удара, чаще всего является ступенчатое изменение размеров его сечения (рис. 3.31). Место изменения сечения снижает устойчивость элемента (с точки зрения устойчивости стержня от про-

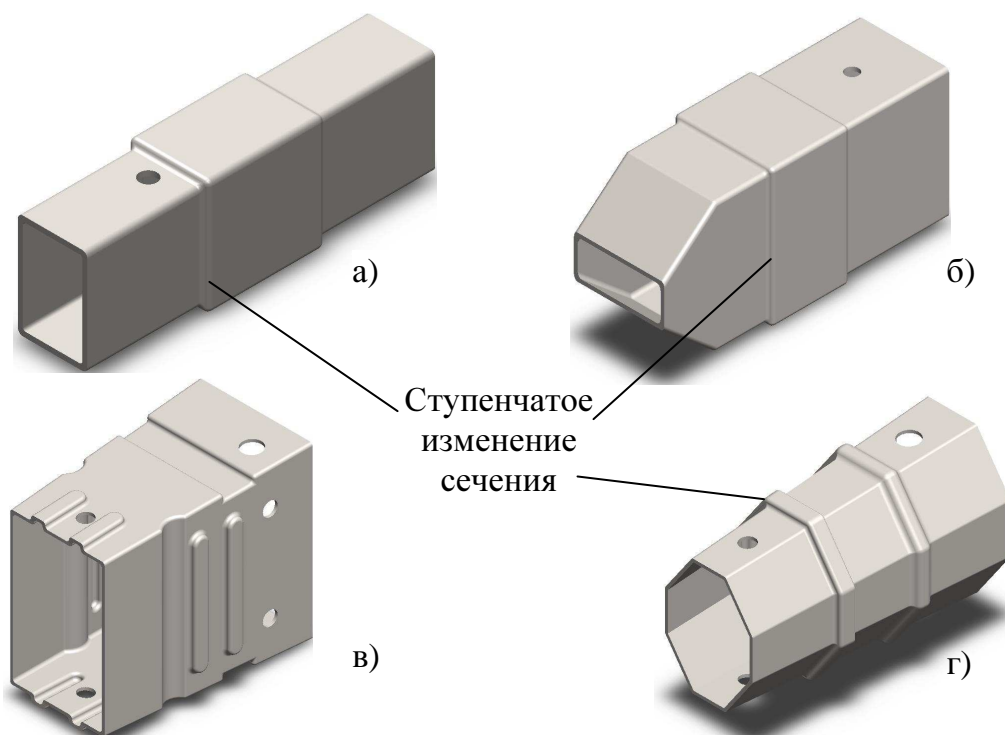


Рис. 3.31. Крашбоксы (энергопоглощающие элементы) автомобилей:
 а) Volkswagen Golf V, б) Volkswagen Tiguan; в) Mazda 2, г) Volvo S40

дольной нагрузки) и в этом месте образуется складка, размеры которой по мере действия нагрузки постепенно нарастают, деформируются все новые и новые участки крашбокса (рис. 3.32, б). При потере устойчивости нарастающей деформации подвергается один участок конструктивного элемента – он ломается (скалывается). Но ступенчатые конструктивные элементы снижают жесткость элемента, как балки, и поэтому не применяются на лонжеронах. Несколько повысить жесткость позволяет разнесение ступеней на смежных плоскостях (см. рис. 3.31, в).

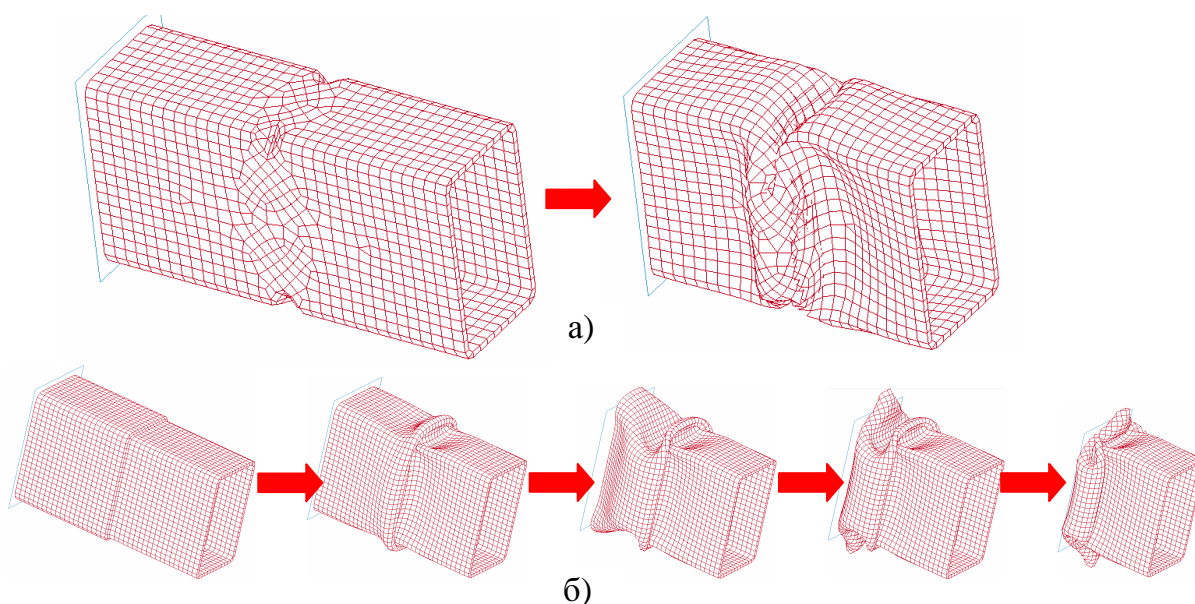


Рис. 3.32. Моделирование деформации крашбоксов:
 а – с заломами на ребрах; б – переменного сечения

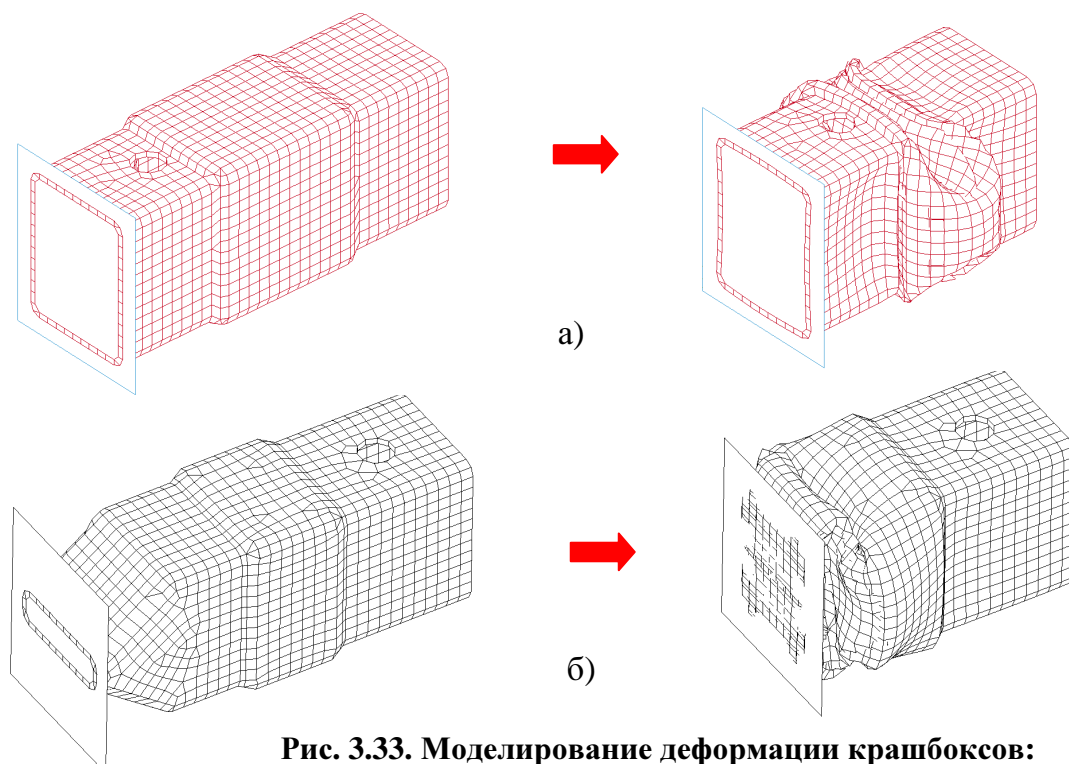


Рис. 3.33. Моделирование деформации крашбоксов:
 а – *Volkswagen Golf V*; б – *Volkswagen Tiguan*

Наиболее эффективным конструктивным решением, обеспечивающим приемлемую жесткость «балки» и достаточную энергоемкость, являются заломы на ребрах тонкостенной балки (см. рис. 3.31, а). При такой конструкции крашбокса на узкой плоскости образуется складка внутрь, а на широкой – наружу. Этот крашбокс сохраняет жесткость вплоть до начала образования складок.

Заломы на ребрах широко применяются в силовых конструкциях кузова: лонжеронах, крашбоксах, усилителях крыльев (рис. 3.34, а, а также см. рис. 3.26). Заранее подготовленные складки (точнее ее зародыш) применяют

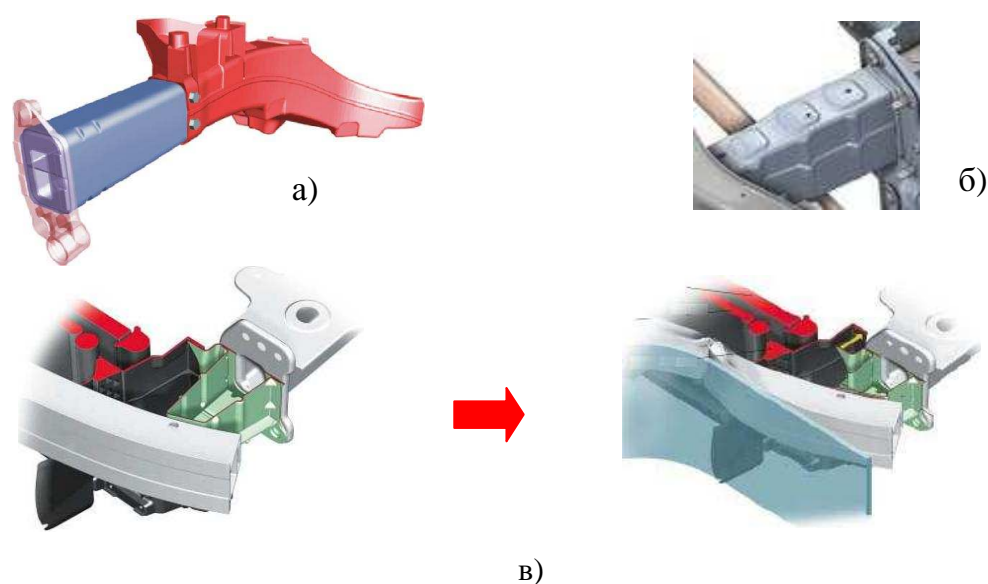


Рис. 3.34. Крашбоксы с заломами *Audi A2* (а), с готовыми складками *Mercedes ML* (б) и *Audi A3* (в)

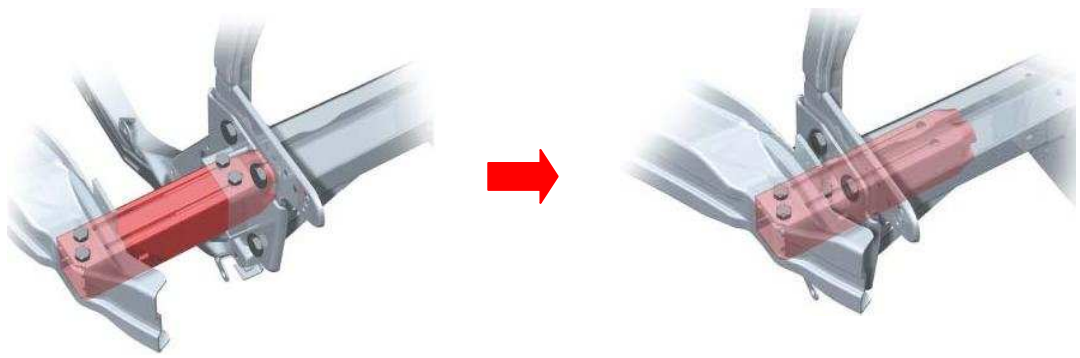


Рис. 3.35. Телескопический крашбокс Audi A6

только в крашбоксах (рис. 3.34, б) или на не основных элементах конструкции (см. рис. 3.26, поз. 3).

Телескопический крашбокс является еще одним вариантом (рис. 3.35). Главное его достоинство простота конструкции. Телескопические крашбоксы позволяют реализовать гашение энергии при больших перемещениях. Винты, установленные на одном из концов крашбокса, при ударе взрезают его строго по направляющим, отштампованным вдоль главной оси элемента. При этом сила сопротивления практически постоянна.

Энергопоглотители разных конструкций можно комбинировать между собой, размещая их параллельно или последовательно.

При проектировании автомобилей подрамники агрегатов рассчитывают на выполнение функции крашбоксов. Например, в рамном автомобиле *Volkswagen Crafter* силовой агрегат и передняя подвеска смонтированы на отсоединяемом при лобовом столкновении подрамнике. При этом срезаются винты в средней части подрамника, а его задняя часть выполняет функцию крашбокса (рис. 3.36).

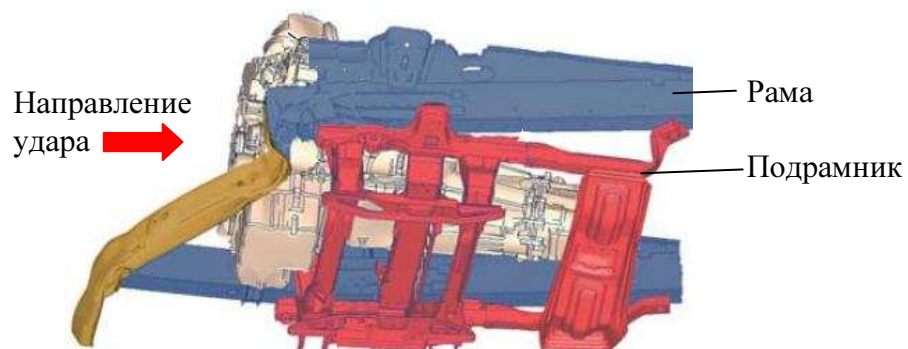


Рис. 3.36. Отсоединяемый подрамник Volkswagen Crafter (вид снизу слева)

В последнее время стали уделять все больше внимания безопасности пешеходов. Ведущие производители автомобилей справились с задачей и теперь при прохождении испытаний в независимых организациях эти автомобили стабильно зарабатывают за безопасность пешеходов максимальный бал.

Проблемы остаются только производителей крупных легковых автомобилей: удар пешеходу приходится очень высоко и он не перелетает через

крышу, а отбрасывается вперед по ходу движения автомобиля. При этом ускорения оказываются недопустимо высокими.

При решении проблемы столкновения пешехода с невысокими автомобилями необходимо последовательно решить несколько задач:

- не допустить затягивания пешехода под автомобиль;
- смягчить удар по ногам;
- смягчить удар грудной клетки и головы о капот и ветровое стекло;
- не допустить или смягчить удар по приводу щеток стеклоочистителей.

Для решения первой задачи применяют специальные планки под усилителем бампера автомобилей с несущим кузовом или первой поперечиной у рамных автомобилей (рис. 3.37). Эта упругая балка, поставленная очень низ-

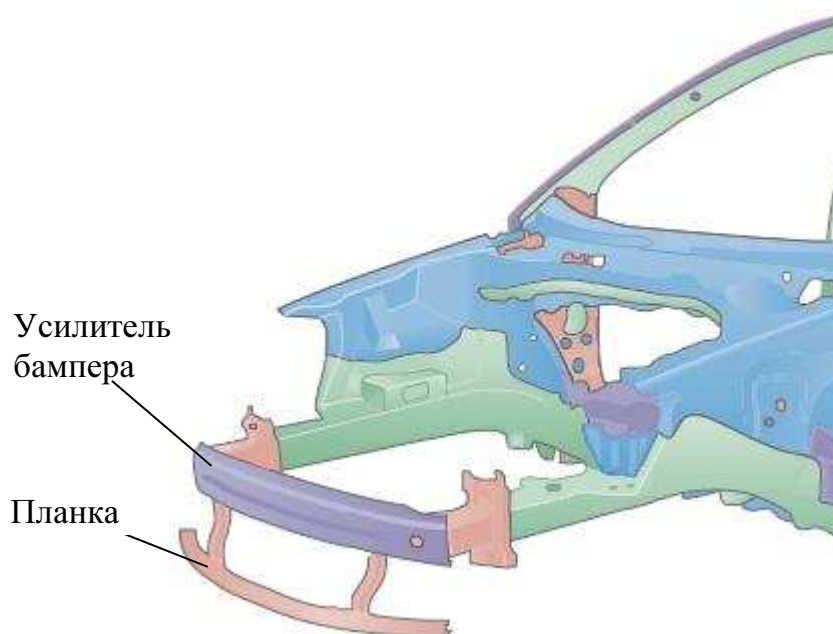


Рис. 3.37. Планка «спасения» пешехода

ко у земли, «не пропускает» под автомобиль ноги пешехода.

Для смягчения удара по ногам бампер изготавливают из тонкой пластмассы без каких-либо острых углов (именно поэтому стали вне закона «кенгурятники»). Внутри бампера помещен пенополиуретановый, пенопластовый или из подобных материалов наполнитель. Именно этот наполнитель смягчает удар по ногам (рис. 3.38), а планка «подбрасывает» ноги пешехода вверх и он падает на капот.

Для смягчения удара об капот его приподнимают. Дело в том, что капот, как натянутый батут прекрасно гасит энергию удара об него грудной клеткой или головой. Но под капотом, как правило, с минимальным зазором (в угоду аэродинамике автомобиля) расположены жесткие агрегаты. Деформация капота ограничена. Удар не смягчен. Датчики распознают столкновение именно с человеком и дают команду исполнительным механизмам (пиропатронам) команду приподнять заднюю кромку капота. При этом ломают-

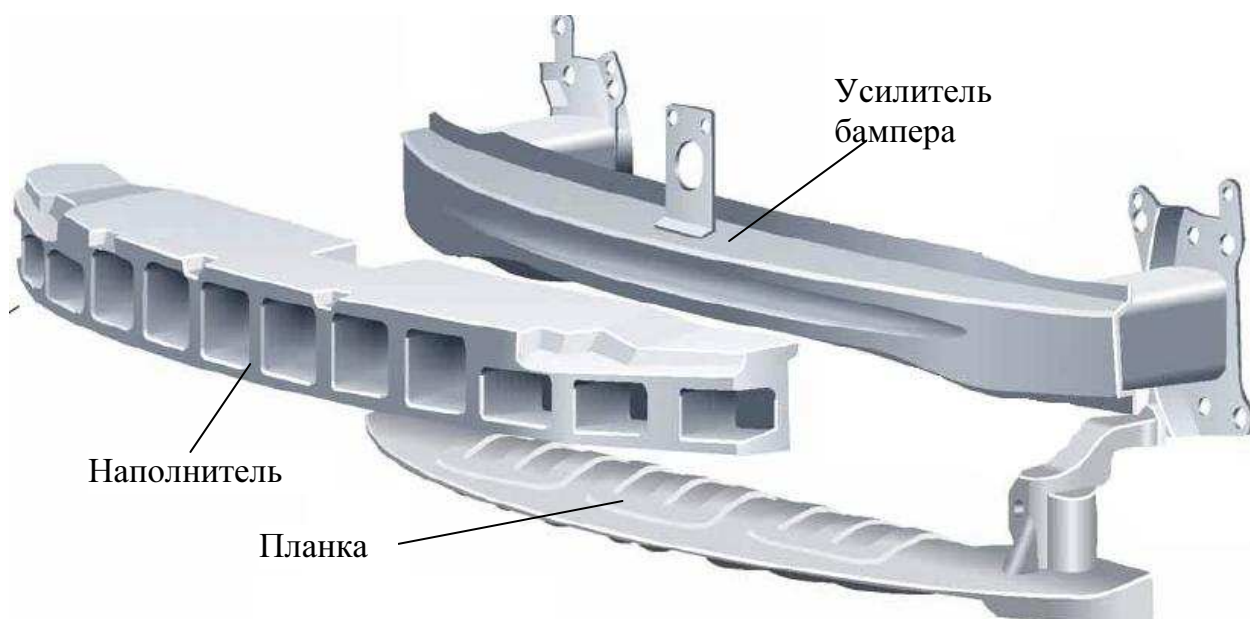


Рис. 3.38. Устройство переднего бампера легкового автомобиля

ся в заранее определенных местах шарниры капота (рис. 3.39, а).

Применение опоры капота в открытом положении вместо упора-амортизатора (гидроподъемника) также снижает травмоопасность автомобиля при наезде на пешеходов: при столкновении опора капота может прогибаться, чего не происходит с амортизатором.

«Подпрыгивающий» капот вносит свой вклад в предотвращение или

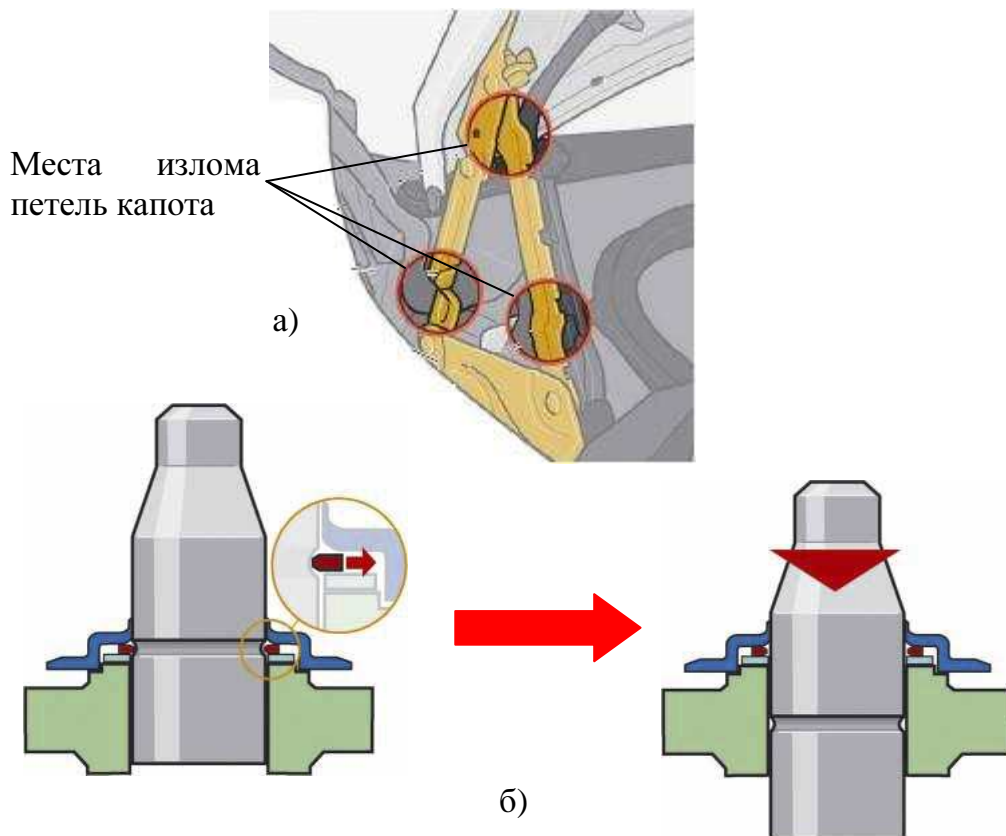


Рис. 3.39. Меры по снижению травм пешеходу (Volkswagen Golf 2009 г.):

а – излом петель капота; б – утапливающийся вал привода стеклоочистителя

смягчение удара пешехода головой о ветровое стекло и привод щеток стеклоочистителей. Если все-таки удар о последний проходит, то вал привода «проваливается», смягчая удар (рис. 3.39, б). Кстати сами щетки в последнее время стали делать без металлического каркаса именно из соображений безопасности пешехода.

3.5. Материалы несущих систем

В современных автомобилях все чаще стали применять легкие материалы, пришедшие из авиации. Например, капот и некоторые другие детали серийных автомобилей уже делают из алюминия. Рубашку блока цилиндров *BMW Z4*, контактирующую с охлаждающей жидкостью и сами гильзы цилиндров отливают из химически стойкого алюминия, а остальной объем – из не стойкого к коррозии, но еще более легкого магния.

Все чаще применяют композиционные материалы. Например, для облегчения капота *BMW* в скором времени будут делать из композитных материалов с картонным (!) наполнителем (рис. 3.40).

Однако, силовые элементы кузова делают из углепластика только в единичном производстве спортивных автомобилей, например, *F1* – пока этот материал чрезвычайно дорог в производстве из-за большой трудоемкости изготовления.

В массовом производстве доминирующим материалом силовой структуры кузова является сталь. Но и ее свойства в зависимости от ее состава и технологии производства различаются на порядок. Так, например, в структуре кузова *Volkswagen Passat CC* 2009 года используется сталь с пределом прочности от 140 до 1000 МПа (рис. 3.41). Причем, самый высокий предел прочности имеют:

- усилитель переднего бампера;
- наружная обшивка прогонов крыши;
- наружная обшивка стоек *B*;
- внутренняя обшивка порогов;
- передняя нижняя поперечина силового каркаса салона;

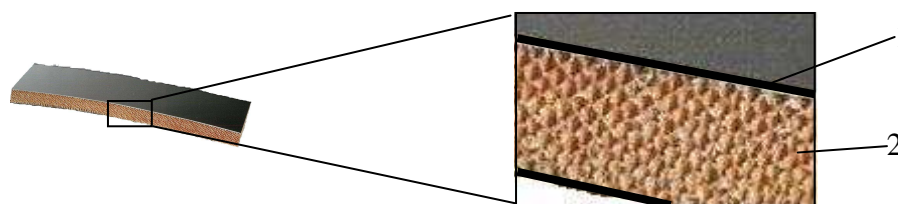


Рис. 3.40. Панель из композиционного материала:

1 – прочный жесткий тонкий материал, например, углепластик (на рисунке), сталь; 2 – наполнитель, например, вспененный полимер, алюминий, картон (на рисунке – перспективный капот *BMW*)

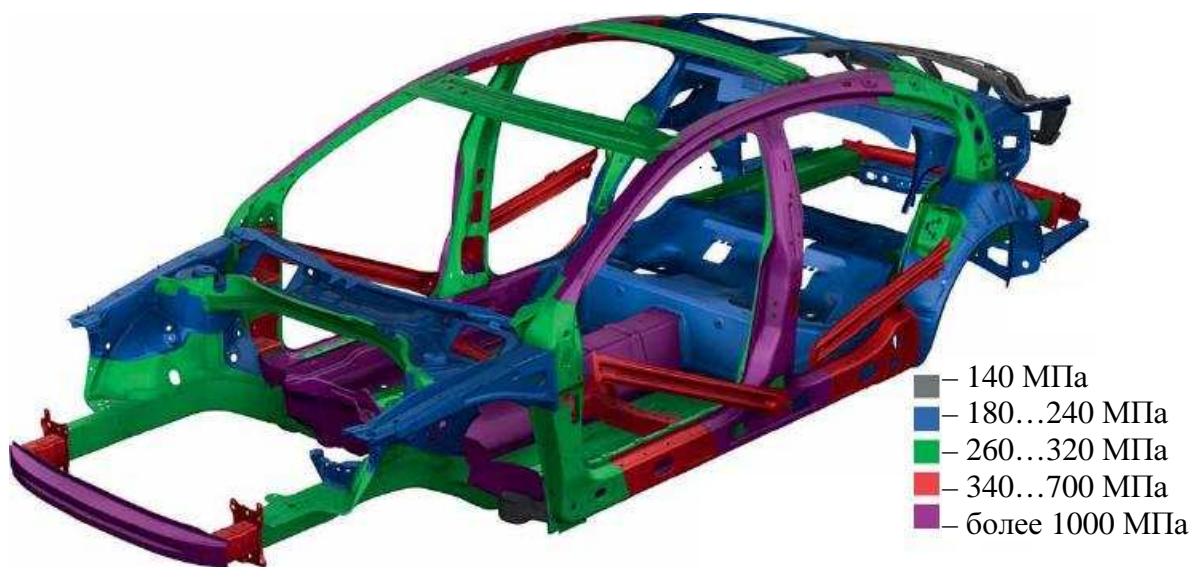


Рис. 3.41. Предел прочности различных элементов силовой структуры кузова *Volkswagen Passat CC*

- центральный туннель.
- Повышенную прочность (340...700 МПа) имеют:
 - крашбоксы;
 - наружная обшивка порогов;
 - внутренняя обшивка стоек *A*;
 - внутренняя обшивка верхней части прогонов крыши;
 - срединный короб стоек *B*;
 - центральная нижняя поперечина;
 - усилитель заднего бампера;
 - усилители дверей.

- Нормальную прочность (260...320) имеют:
 - лонжероны;
 - наружная обшивка стоек *A*;
 - поперечины рамы крыши;
 - средняя поперечина моторного щитка;
 - внутренняя обшивка стоек *B*;
 - наружная обшивка стоек *C*;
 - пол салона.

Пониженной прочностью (180...240 МПа) обладают усилители крыльев и верхняя поперечина моторного щитка и многие детали в задней части кузова.

Неответственные детали, например, каркас крышки багажника, изготавливают из мягкой стали.

3.6. Контрольные вопросы

1. Что входит в понятие «удерживающие системы»?
2. Каковы принципы обеспечения пассивной безопасности?
3. Классификация ремней безопасности.
4. Что такое «исходная зона»?
5. В каких случаях допускается применение двухточечных ремней безопасности?
6. Что такое инерционные ремни безопасности?
7. Что такое преднатяжитель ремня безопасности?
8. Разновидности преднатяжителей ремней.
9. Что такое ограничитель усилия на ремне безопасности?
10. Когда активируются преднатяжители?
11. Как работает шариковый преднатяжитель?
12. Как работает тросовый преднатяжитель?
13. Как работают ремни безопасности со встроенными надувными элементами?
14. Основные этапы и тайминг процесса столкновения?
15. Какие подушки безопасности применяют?
16. Как работает двухступенчатый пиропатрон подушки безопасности?
17. В каких случаях какие и как долго работают подушки безопасности?
18. Каким образом предотвращается пожар в результате короткого замыкания в электропроводке?
19. Классификация детских удерживающих систем?
20. Какие правила регламентируют требования к детским удерживающим системам?
21. Какие системы применяют для детей II и III весовых групп?
22. Какие системы удержания головы применяются?
23. Что регламентирует Глобальное правило № 7?
24. Что такое хлыстовая травма?
25. Что такое система *HANS* и как она работает?
26. Принципы обеспечения безопасности рулевого управления.
27. Принципы обеспечения безопасности педального узла.
28. Из каких зон состоит кузов современного автомобиля?
29. От каких ударов пассажиры менее всего защищены?
30. Что такое силовой каркас салона?
31. Что такое крашбокс?
32. Каким образом крашбоксы влияют на пассивную безопасность автомобиля?
33. Какие конструктивные элементы крашбоксов обеспечивают их

функционирование?

34. Последовательность вступления в работу силовых элементов при ударах разной силы?

35. Где расположены зоны программируемой деформации при боковом ударе?

36. Какие компоненты составляют каркас безопасности легкового автомобиля?

37. Какие особенности поглощения энергии удара у рамных автомобилей?

38. Какие средства применяются для защиты пешеходов при столкновении с автомобилем?

39. Какие материалы применяются в несущих системах автомобилей?

Предметный указатель

- Антиблокировочная система 11
- Баланс тормозной
- Безопасность активная 6
 - пассивная 21
 - послеаварийная 24
- Выключатель аккумуляторной батареи 63
- Детские удерживающие системы 65
- Диски см. колеса
- Исходная зона 54
- Крашбокс 74, 77
- Критерий травмирования головы *HPC* 29, 32
 - – бедра *FFC* 32
 - – грудной клетки *ThCC* 31
 - – шеи *NIC* 30, 31
 - сжатия голени *TCFC* 31
- Курсовой стабилизации система 18
- Колеса (диски) 10
- Ограничитель усилия на ремне безопасности 58
- Педальный узел 71
- Плечо обкатки 14
- Подрамник 80
- Преднатяжитель замочный 55
 - катушечный 55
 - реечный 57
 - роторный 56
 - тросовый
 - шариковый 56
- Подушки безопасности 53
- Показатель по мягким тканям *VC* 31, 34
 - отклонения ребер *RDC* 32
 - травмирования брюшной секции 34
 - – голени *TI* 32
 - – таза *PSPF* 34
- Ремни безопасности 53
 - – преднатяжители 53
 - – ограничители усилий 53
- Рулевая колонка 70
- Системы удержания головы 67

Тормозная система основная	10
– – запасная	11
– – распределения сил	11
Удерживающие системы	53
Угол развала колес	13
– схождения колес	13
– наклона шкворневой оси поперечный	14
– – – – продольный	14
Шины	8
– несущая способность	9
– скоростные свойства	9
– сопротивление уводу	9
– стабилизирующее свойства	10
– сцепные свойства	7

Справочник терминов

ABS – Антиблокировочная система тормозов – не допускает блокировки колес при торможении, что улучшает устойчивость и управляемость. Под блокировкой понимается падение угловой скорости контролируемого тормозящего колеса более 10...50 % (в зависимости от настроек системы) по сравнению с угловой скоростью воображаемого не тормозящего колеса.

BA –усилитель экстренного торможения – система, распознающая аварийную ситуацию по скорости и силе нажатия водителем педали тормоза. BA «дожимает» и удерживает педаль тормоза до срабатывания ABS.

City Safety – система предупреждения водителя об опасном сближении с и торможения автомобиля в условиях городского трафика.

EBD – система распределения тормозных сил по осям – регулятор давления в заднем контуре тормозной системы современного автомобиля.

ESP – система курсовой стабилизации автомобиля – система, распознающая с помощью датчиков отклонение вектора движения автомобиля от заданного водителем вектора и воздействующая на исполнительные тормозные механизмы какого-либо из колес для выправления и стабилизации курса движения.

ISOFIX – это система соединения детских удерживающих систем с транспортными средствами, оснащенная двумя жесткими корпусными креплениями, двумя соответствующими жесткими крепежными элементами на детской удерживающей системе и приспособлением, ограничивающим свободу углового перемещения детской удерживающей системы (страховочный трос)

Активная безопасность – это совокупность свойств автомобиля, не допускающих его аварийное столкновение с подвижным или неподвижным препятствием, а также опрокидывание транспортного средства.

Внешняя пассивная безопасность – безопасность пешехода при столкновении с автомобилем.

Внутренняя пассивная безопасность – безопасность водителя и пассажиров.

Исходная зона – это пространство между двумя вертикальными продольными плоскостями, расположенными на расстоянии 400 мм друг от друга, симметрично точке *H* испытательного манекена, которое определяется поворотом модели головы из вертикального в горизонтальное положение, при этом в исходном положении макушка головы должна быть расположена

на высоте 840 мм от точки H , а центр поворота головы смещен вперед от точки H на 127 мм.

Крашбоксы – это заменяемые (при ремонте) конструктивные элементы силовой структуры кузова или рамы автомобиля, предназначенные для поглощения энергии удара, направленной вдоль оси элемента, путем множественной деформации в заранее предусмотренной последовательности (программируемая зона деформации).

Несущая способность шины – это максимальная вертикальная нагрузка, которую шина может нести достаточно долго.

Пассивная безопасность – совокупность свойств автомобиля, обеспечивающих безопасность участников движения при ДТП.

Расчетная максимальная нагрузка на шину – меньше максимально допустимой (несущей способности) на треть.

Слик – протектор шины без прорезей и ламелей. Применяется на гоночных автомобилях в сухих условиях.

Торможение на миксте – торможение в условиях, когда сцепление шин одной из сторон автомобиля больше сцепления шин с другой стороны. В более широком смысле это понятие учитывает неравномерность тормозных сил, вызванное несимметричной развесовкой автомобиля по бортам, неодинаковой силой и скоростью срабатывания тормозного привода, неодинаковой работой подвески (амортизаторов), перераспределением сил с борта на борт в повороте.

Точка H (принадлежит манекену) – центр вращения туловища и бедра объемного механизма определения точки H , установленного на сиденье автомобиля при сертификационных испытаниях.

Точка R (принадлежит сиденью) – некая точка над подушкой сиденья, которую определяет завод-изготовитель автомобиля и теоретически совпадающая с точкой H .

Энергопоглотители см. крашбоксы.

Библиографический список

1. Хусаинов А. Ш. Эксплуатационные свойства автомобиля. / А. Ш. Хусаинов. – Ульяновск: УлГТУ, 2011. – 115 с.
2. Технический регламент о безопасности колесных транспортных средств. Утвержден постановлением Правительства Российской Федерации от 10 сентября 2009 г. № 720. Оpubл. 23.09.09.
3. Кравец В. Н. Теория автомобиля: учеб. Пособие / В. Н. Кравец. – Нижний Новгород: НГТУ, – 2007. – 368 с.
4. Тарасик В. П. Теория движения автомобиля: Учебник для вузов. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 478 с.
5. Автомобильный справочник *Bosch*. М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2002. – 896 с.
6. Бронштейн И. Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, – 1981. – 704 с.
7. Jazar R. N. *Vehicle Dynamics: Theory and Application*. – NY: Springer, 2008. – 1015 p.
8. Pacejka H. B. *Tyre and vehicle dynamics*. – Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005. – 621 p.
9. Reimpell J. *The Automotive Chassis: Engineering Principles* / J. Reimpell, J.W.Betzler. – Oxford: Butterworth-Heinemann, 2001. – 456 p.
10. Genta G. *Automotive chassis. Volume 1: Components design* / G. Genta, L. Morello. – Springer, 2009. – 621 p.
11. Genta G. *Automotive chassis. Volume 2: System design* / G. Genta, L. Morello. – Springer, 2009. – 825 p.

Учебное издание
ХУСАИНОВ Альберт Шамилевич
КУЗЬМИН Юрий Александрович

Пассивная безопасность автомобиля

Редактор Н.А. Евдокимова

Подписано в печать . . . 2011. Формат 60×84/16.

Бумага тип. № 1. Печать трафаретная. Усл. печ. л.

Тираж 100 экз. Заказ

Ульяновский государственный технический университет
432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.
Типография УлГТУ, 432027, г. Ульяновск, ул. Сев. Венец, д. 32.