

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

ИНСТИТУТ МАШИНОСТРОЕНИЯ
Кафедра « Сварка, обработка материалов давлением и родственные процессы»

15.04.01 Машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Системы автоматизированного проектирования в машиностроении

(направленность (профиль))

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

на тему Разработка и расчет виртуального испытания удара головы манекена о подголовник сиденья автомобиля с использованием САПР

Студент

Р.О. Черкасов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Научный

А.В. Скрипачев

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

руководитель

Руководитель программы канд. техн. наук., доцент Е.Н. Почекуев

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

(личная подпись)

«_____» _____ 20____ г.

Допустить к защите

Заведующий кафедрой д-р. техн. наук., профессор В.В. Ельцов

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

(личная подпись)

«_____» _____ 20____ г.

Тольятти 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1.1 Актуальность работы	5
1.2 Цель работы	6
2 Проведение испытаний по оценке пассивной безопасности автомобильных сидений	7
2.1 Анализ исходных данных	9
2.1.1 Тестирование сиденья по методике EuroNCAP	10
2.1.2 Тестирование сиденья в соответствии с Правилами ЕЭК ООН N17	17
2.2 Анализ известных решений расчета удара головы о подголовник	22
2.3 Задачи исследования	24
3 Определение свойств и параметров конструкции сиденья, влияющих на травмируемость шеи от хлыстовой травмы позвоночника	25
3.1 Методика определения факторов влияющих на результаты испытания	26
3.2 Разработка математической модели сиденья для испытания	29
3.3 Проведение экспериментов и получение данных	40
4 Методика проведение расчета испытания по методике EuroNCAP	53
4.1 Динамическая оценка хлыстовой травмы шеи	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	88
Список использованных источников	91
ПРИЛОЖЕНИЕ	96

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время проблема хлыстовой травмы является актуальной задачей и по результатам независимых испытаний обнаружено, что конструкции сидений различных современных автомобилей имеют проблемы связанные с неэффективной защитой пассажиров от хлыстовой травмы шейного отдела позвоночника. Это является результатом повышенной опасности для людей, которые могут быть подвергнуты риску травмирования во время дорожно-транспортных происшествий.

Несмотря на интенсивные исследования, механизм повреждения, приводящий к осложнениям при хлыстовой травме, остается малоизвестным, однако известно, что нижний отдел позвоночника подвергается чрезмерному разгибанию.

Энергия при ДТП направлена от движущегося автомобиля на автомобиль, который подвергается удару. Столкновение заставляет грудную клетку пассажира двигаться вперед вместе с головой, вызывая тем самым нефизиологические движения шейного отдела и его структур. Шейный отдел позвоночника перемещается вперед с разогнутом положении вместе с согнутой головой от затылка до тела позвонка из-за инерции головы, что приводит к возникновению нефизиологичной S-образной кривой. Происходит полное разгибание шейного отдела позвоночника с последующим сгибанием.

При разработке конструкций следует учитывать фактическую задачу по оптимальным финансовым вложениям денежных средств, поэтому, ввиду столь большой многозадачности, так сложно найти простое и эффективное решение поставленной задачи, которое могло бы решить проблему универсально и наиболее эффективно. В связи с этим возникает необходимость повсеместного и широкого использования различных компьютерных САПР систем для проведения статических и динамических испытаний.

Широкое и активное использование компьютерных технологий в направлении улучшения безопасности позволяет не только существенно сократить расходы на производимые работы, по сравнению с реальными испытаниями, но и находить и исследовать перспективные пути решения поставленных проблем, объективно смоделировать физический процесс динамического испытания и провести эксперимент на оценку безопасности различных автомобильных сидений.

Все элементы конструкции сиденья в большей или меньшей степени влияют на безопасность, поэтому при выполнении всех обязательных требований в отношении правил ЕЭК ООН, для дальнейшего повышения безопасности пассажиров автомобиля, следует рассматривать наиболее вероятные и опасные повреждения, которые могут происходить в дорожно-транспортных происшествиях.

Термин “Хлыстовая травма” используется для описания воздействия на голову повреждающей силы в любой плоскости, которая является причиной травмирования шеи и верхней части позвоночника, в результате столкновения сзади едущего автомобиля в другой. По статистике, чаще всего данная травма происходит при автомобильных столкновениях полученных водителем, либо пассажиром транспортного средства попавшего в аварию при которых происходило резкое ускорение или торможение, однако в редких случаях она так же может возникнуть и при резком боковом отклонении шеи, либо ее повороте. Поэтому немаловажным устройством, обеспечивающим снижение травматичности при столкновениях, следует отметить и подголовник автомобиля, который предназначен не только для обеспечения отдыха и удобства, но и для снижения вероятности получения травмы головы и шейного отдела позвоночника.

Ежегодно в мире хлыстовой травме подвергается более миллиона людей, и она происходит приблизительно в 20% случаев при ДТП из всех.

1.1 Актуальность работы

Исходя из результатов множества проведенных испытаний, для обеспечения эффективной защиты шеи при заднем столкновении может обеспечить простой, правильно спроектированный подголовник сиденья автомобиля. При нахождении оптимальных параметров конструкции станет возможным производить эффективные и недорогие конструкции сидений.

В целях обеспечения высокого уровня безопасности пассажиров находящихся в автомобиле при заднем ударе на уровне конструкции автомобильных сидений, изучение подголовника сиденья и степень влияния различных параметров конструкции на безопасность является актуальной задачей, поэтому данная работа развернуто показывает необходимость проведения исследований и разработки принципиально новых решений.

Исходя из этого, задача нахождения оптимальных параметров конструкции сидений и обеспечении этими параметрами рекомендованных значений по уровню безопасности на этапах проектирования, для инженеров-проектировщиков остается до сих пор актуальной.

1.2 Цель работы

В настоящее время наиболее распространенным испытанием, направленным на оценку уровня защиты шеи пассажира является испытание в соответствии с протоколом EuroNCAP. Использование методик и критериев оценки уровня безопасности данного испытания может послужить основой для изучения механизмов движения шеи во время столкновения сзади. Это может помочь в поиске нахождения путей оптимизации формы, конструкции, а так же, возможно, и для предложения принципиально новых вариантов, при которых подголовник может помочь снизить травмируемость шеи пассажиров, находящихся в автомобиле во время ДТП.

Целью работы является разработка испытания на основе испытания EuroNCAP исходя из требования обеспечения минимально необходимой информации для расчета и проведения виртуального динамического испытания удара головы манекена о подголовник сиденья автомобиля, что является фактически проведением испытания на раннем этапе проектирования сиденья. Данный расчет необходим для выявления основных данных, которые могут помочь развивать идеи по повышению уровня пассивной безопасности пассажиров автомобиля.

Данная работа должна содержать в себе всю необходимую информацию для полноценного изучения проблемы хлыстовой травмы шеи пассажира автомобиля, и послужить основой для представления предложений по повышению безопасности пассажиров, за счет новых идей, которые должны быть подтверждены с помощью созданной виртуальной симуляции испытания подголовников автомобиля.

2 Проведение испытаний по оценке пассивной безопасности автомобильных сидений

Испытания по оценке пассивной безопасности автомобильных сидений проводятся наиболее часто в случаях определения на соответствие полученных конструкций различным законодательным требованиям и научно-исследовательских работах с целью выявления недостатков конструкции и повышения уровня безопасности. В случае невыполнения обязательных требований, принято полагать, что автомобильное сиденье является не безопасным и что при возникновении дорожно-транспортного происшествия резко возникает вероятность получения тяжелых травм пассажиров, которые находятся на данных сиденьях.

Основными потенциальными рисками автомобильного сиденья во время дорожно-транспортного происшествия является следующее:

- 1) сход сиденья со своих регулировочных положений, таких как продольная регулировка, высотная регулировка, регулировка наклона спинки;
- 2) поломка и излишняя деформация конструкции сиденья;
- 3) наличие острых кромок и выступов сиденья;
- 4) низкая эффективность гашения энергии от удара тела человека и его частей.

Данное описание рисков применимо ко всей конструкции сиденья, однако все они могут быть отнесены к подголовнику автомобильного сиденья, которое в настоящее время является неотъемлемой частью сиденья.

Основным риском для человека со стороны неисправного подголовника является высокий риск получения травмы головы и шеи водителя и пассажира автомобиля. Поэтому для обеспечения безопасности пассажиров, разработаны и введены на законодательном уровне требования, которые необходимо соблюдать предприятиям выпускающие транспортные средства.

К основному и наиболее известному испытанию относится испытание сиденья на оценку риска получения хлыстовой травмы шеи, которая более известна под английским термином “Whiplash”. Данное испытание является одним из параметров, который оценивает уровень безопасности водителя и пассажира находящегося в салоне автомобиля и является единственным испытанием, которое обеспечивается непосредственно сиденьем автомобиля в системе оценки безопасности автомобиля по методике EuroNCAP. При оценке риска по данной методике оценивается ряд параметров, которые влияют на степень получения травмы. При получении значений по определяющим параметрам, уровень безопасности сиденья в риске получения хлыстовой травмы оценивается по балльной системе.

С точки зрения повышения уровня безопасности пассажиров, в конструкции сиденья должны быть не только разработаны новые механизмы защиты головы и шеи пассажиров, но и должны быть определены и исследованы все факторы, влияющие на безопасность простого, регулируемого по высоте подголовника. Такой вид подголовника, отличающегося от других более сложных конструкций отсутствием сложных систем безопасности, до сих пор наиболее часто используется в автомобилях бюджетного и среднего ценового диапазона. Исходя из этого, основным способом влияния на безопасность является определение оптимальных значений и параметров подголовника. Актуальной эта тема остается и до сих пор, потому что, судя по результатам оценки современных автомобилей, в настоящее время имеются проблемы с достижением даже средних показателей по безопасности. Поэтому, исходя из текущего положения, на основе законодательных требований и методики проведения испытания, объектом работы становится проведение теста на оценку уровня безопасности сиденья с выявлением факторов, влияющих на безопасность пассажиров, что может позволить повысить уровень безопасности автомобиля, снизить риск травмирования шеи и сберечь здоровье людей.

2.1 Анализ исходных данных

Анализ исходных данных включает обзор существующей литературы и изучение известной информации, касающиеся хлыстового удара головы о подголовник. К данной информации следует отнести нормативные документы, относящиеся к проведению различных испытаний которые предназначены для оценки эффективности безопасности подголовника автомобиля, а так же для определения соответствия основным законодательным нормам.

К основным нормативным документам следует отнести протокол испытаний по тестированию сиденья в соответствии с методикой испытания на хлыстовую травму EuroNCAP и Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения в отношении прочности сидений, их креплений и подголовников Правила ЕЭК ООН N17.

На основе указанных документов в работе должна быть построена база для испытания и определены факторы, влияющие на травмируемость шеи.

2.1.1 Тестирование сиденья по методике EuroNCAP

К основной ссылочной литературе следует отнести протокол испытаний по оценке автомобильных сидений на предмет защиты пассажиров от травм шеи EuroNCAP по европейской программе оценки новых популярных автомобилей в Европе [2]. EuroNCAP оценивает защиту пассажиров автомобилей при лобовом, боковом и заднем ударе, а также оценивает степень безопасности при столкновении передней части автомобиля для пешеходов.

Данный документ представлен на 61 странице и указывает:

- 1) введение по актуальности задачи и описание динамических испытаний;
- 2) ссылочные документы и необходимое оборудование;
- 3) основные определения использующих терминов и устройств, используемых в испытании;
- 4) используемые системы координат салазок и сиденья;
- 5) установку и позиционирование сиденья на салазках;
- 6) описание манекена для измерения точки Н и его позиционирование;
- 7) позиции подголовника и определения связанные с измерением подголовника;
- 8) требования к антропометрическому манекену BioRID;
- 9) требования к испытательным салазкам и их оборудование;
- 10) критерии оценки “хлыстовых травм”;
- 11) приложения.

Процедура проведения испытания по методике EuroNCAP

Общей целью методики оценки хлыстовой травмы на сиденье по EuroNCAP, является стремление к уменьшению хлыстовых травм в реальной жизни. При отсутствии значительного прогресса в изучении механизмов происхождения хлыстовой травмы, на основе двух существующих методик испытаний, была предложена методика теста EuroNCAP, которая является эффективным сочетанием использовавшихся ранее программ оценки IIWPG (международная группа по страхованию случаев хлыстовой травмы) и SRA (дорожная администрация Швеции) методик, а также их дальнейшим усовершенствованием.

Методика проведения испытания

Производительность систем безопасности может регулироваться геометрическими и динамическими характеристиками, поэтому оценка включает в себя статическую и динамическую часть проведения испытания.

Сиденье должно устанавливаться на салазках с соблюдением стандартизированного метода, который необходим для аппроксимирования всей основной геометрии транспортного средства.

Использование в тестировании специальных испытательных салазок, отдельно от всего транспортного средства, является самым простым, экономически выгодным и приемлемым способом проведения испытания для достижения целей методики.

Кронштейны крепления сидений должны воспроизводить установку положения сиденья с правильным углом положения и их расстоянием от пола каждого испытываемого автомобиля. Сиденья настраивают до достижения угла наклона торса манекена $25^{\circ} \pm 1^{\circ}$ в соответствии с точкой Н измеренной устройством HRMD (устройством для измерения подголовника и нахождения точки Н). Точка Н является центром вращения туловища и бедер человека.

Данная точка является базовой при позиционировании манекена и различных замерах.

Тестирование по протоколу в отношении хлыстовой травмы требует проведения тестовых замеров по трем измерениям и указывает максимальные различия положений точки Н между левым и правым сиденьем при каждой установке.

EuroNCAP также оценивает "худший случай" положения подголовника по отношению к голове пассажира. Проверка осуществляется с целью установления, может ли подголовник быть правильно установлен для пассажиров с различными размерами без конкретных действий кроме простых регулировок положений сиденья.

EuroNCAP в своих испытаниях использует три теста с различными степенями сложности для того чтобы предупредить оптимизации к одному из импульсов и для того что бы обеспечить стабильную безопасность сиденья в высшей степени строгости. Эти импульсы охватывают весь диапазон скоростей, при которых может быть высок риск краткосрочного и долгосрочного травмирования, при котором могут возникнуть последствия травмы шеи.

EuroNCAP предписывает во всех испытаниях своей программы использование манекенов семейства BioRID-II либо более поздних их версий который является биологически достоверным манекеном для тестирования при заднем ударе.

При проведении динамических испытаний, подголовник должен быть размещен между вертикальной и горизонтальной крайней позицией, где он может быть зафиксирован автоматически своей системой блокировки.

Три отдельных теста выполняется с использованием одинаковых новых сидений с каждым из трех импульсов.

Схема оценки хлыстовой травмы позвоночника

В тесте EuroNCAP применяется скользящая шкала с системой точек, которые включают в себя по два ограничения для каждого параметра конструкции сиденья. Ограничения значений, представляют собой диапазон эффективности сиденья, который приводится для каждого из семи измеряемых параметров для каждого импульса. Если записанные значения теста находятся между нижним и верхним пределами, то точки рассчитываются с помощью линейной интерполяции.

Результаты ограничены значением 95-ого перцентиля, это значит, что если какое-либо измеряемое значение превышает ограничение, то оно обнуляется. В предварительной оценке хлыстовой травмы максимальный балл по каждому параметру составляет 0,5 балла. Для каждого из импульсов счет ведется по семи параметрам.

EuroNCAP в настоящее время позволяет проводить геометрическое оценивание и рассматривает систему в устойчивом положении до расчета контакта головы с подголовником.

Для доказательства правильного функционирования, такие тесты как расчет повреждения хлыстовой травмы при низкой скорости, динамический результат должен комбинироваться с результатом геометрической оценки.

При статической оценке конструкции положения подголовника можно добавлять либо уменьшать результат максимум на один балл, в зависимости от того, насколько хорошо определено положение подголовника относительно головы. Результат может быть снижен, если наблюдался чрезмерный динамический прогиб спинки сиденья во время высокой тяжести испытаний (минус 3 балла) или в том случае, если есть доказательства неправильного положения манекена на сиденье (минус 2 балла).

Эти модификации были введены для предотвращения выброса из сиденья пассажиров в экстремальных случаях, а так же для случаев преднамеренного использования возможностей манекена для повышения производительности на испытаниях.

Контрольные баллы, полученные в динамическом испытании в сочетании с оценкой и определением (положительным или отрицательным) образуют предварительный результат оценки хлыстовой травмы.

Шкала баллов – Окончательный результат оценки хлыстовой травмы, рассчитанный по четырем тестам, который является финальной оценкой сиденья, показывающий максимальный вклад защиты от хлыстовой травмы взрослых пассажиров в общем рейтинге автомобиля. Баллы масштабируются для того чтобы сбалансировать хлыстовую защиту от прочих различных форм защиты, оцененных в других тестах EuroNCAP. Для графического представления окончательной оценки четырех тестов шкала делится на три цветные полосы.

Результат от 0 до 1,49 баллов окрашен в красный, результат от 1,50 до 2,99 окрашен в оранжевый, и наконец, результат от 3,0 и до 4,0 окрашен в зеленый цвет. Цветные полосы используются в качестве дополнительного индикатора для повышения осведомленности общественности и помощи в понимании хлыстовой защиты.

На заключительном этапе оценки хлыстовой травмы по программе EuroNCAP, критическими аспектами для проведения процедуры являются воспроизводимость позиционирования манекена и степень точности геометрической оценки, технико-экономическое обоснование ездовых границ импульсов, повторяемость измерений манекенов в отношении различных сидений.

Воспроизводимость статических измерений

Процедура анализа включает определение геометрии сиденья и манекена в положении сидя. Статическое измерение имеет значительное влияние на динамический результат теста и общий результат. Повторяемость и воспроизводимость статического определения имеют решающее значение для процесса тестирования с точки зрения ее повторяемости и воспроизводимости с использованием индивидуальных сидений, а также всего производства сидений.

В соответствии с протоколом, главным параметром геометрии удерживающего устройства должна быть высота подголовника, которая достигается после установки сиденья и установки HRMD устройства в установленном по протоколу порядке.

Результаты методики и перспективы

Недавние исследования показали корреляцию между оценкой хлыстовой травмы по методике и реальным результатом травмы. Оба эти исследования показывают, что если сиденье оценивается как "плохое", то оно имеет высокий риск хлыстовой травмы, по сравнению с сиденьем оцененным как "хорошее".

Начальное тестирование по методике EuroNCAP означает, что широкий выбор производимых конструкций сидений широко оценивается по баллам, полученных EuroNCAP. Некоторые новые модели, запускающиеся в производство уже способны достигать в оценке более 3,5 (из 4) баллов.

Практика показывает что в перспективе, производители способны достигать высоких баллов оценки с помощью уже существующих конструкции сидений.

Тестирование EuroNCAP по оценке хлыстовой травмы призывает к большему труду в конструировании автомобилей, с целью предотвращения травмы шейного отдела позвоночника и прочих связанных с ним травм что необходимо, так как механизм хлыстовой травмы не проверяется в обязательном порядке. Начальные тесты показывают, что широкий спектр полученных результатов от 0 до 3,5 баллов, подтверждает, что некоторые конструкции сидений по-прежнему нуждаются в улучшении защиты от получения хлыстовой травмы.

2.1.2 Тестирование сиденья в соответствии с Правилами ЕЭК ООН N17

Европейская экономическая комиссия ООН является одной из пяти региональной комиссий Организации Объединенных Наций, которая служит для правительств региональным форумом для разработки конвенций, норм и стандартов с целью гармонизации действий и облегчения обмена мнениями между государствами-членами. Выполняя эту функцию, ЕЭК ООН обеспечивает гарантии безопасности и качества потребителям, помогает охранять окружающую среду, упрощает процедуры торговли, а также способствует более тесному единению государств-членов внутри региона и их более полной интеграции в мировую экономику [3]

Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении прочности сидений, их креплений и подголовников относятся к Правилам ЕЭК ООН N 17. Данное правило с 2002 года является государственным стандартом Российской Федерации.

В соответствии с данными правилами предприятие-изготовитель, выпускающее транспортное средство обязан соблюдать требования правил ЕЭК ООН. В случае соблюдения данных правил, подается заявка на официальное утверждение с указанием подробного описания типа транспортного средства в отношении конструкции сидений, их крепления и систем регулирования, систем перемещения и фиксирования, подробное описание конструкции сидений и подголовника, чертежи и спецификации, требования к набивочным материалам подголовника. Помимо этого, указывается описания мест крепления подголовника и его крепежных элементов.

Для утверждения и сертификации транспортное средство предоставляется уполномоченной технической службе вместе с дополнительным комплектом сидений с подголовниками.

Требования и испытания для сертификации транспортного средства

В отношении влияния на исход испытания по оценке хлыстовой травмы можно использовать требования, приведенные в правилах R17, необходимо отметить следующие требования, относящиеся к сертификации сиденья, его конструкции и подголовника:

- 1) части подголовника подвергают испытанию на поглощение энергии. В процессе испытания замедление головы не должно превышать значения 80 g в течение 3 мс, и после него не должны выступать острые части и кромки подголовника;
- 2) во время испытания сиденья должны быть надежно закреплены, регулировки должны быть зафиксированы и автоматически фиксироваться в своих положениях; не должно быть поломок и дефектов подголовника и его конструкции; Деформация и поломки допускаются при условии, что они не увеличивают опасность для пассажиров и не превышают регламентированных в требовании значений;
- 3) в процессе испытания не должно происходить разблокирования системы фиксирования, после испытания, необходимо обеспечить возможность разблокирования подголовника и его перемещения для изменения положения сиденья, при этом допускается, что другие устройства регулировки могут быть в нерабочем состоянии. Прочность сиденья с подголовником считают достаточной, если в процессе испытания не произошло поломки сиденья или его спинки.
- 4) части подголовника должны иметь набивку исключаящую возможность контакта головы с элементами каркаса подголовника, а так же должны выполнять требования по острым кромкам. Острые кромки подголовника не должны выступать из набивки от давления модели головы во время испытания;

Методы испытаний сидений на соответствие требованиям

- 1) перед проведением испытаний сиденье отодвигают на одно положение вперед от крайнего заднего положения, а спинку сиденья фиксируют в положение угла наклона 25 градусов; Для сидений, оборудованных подголовниками с регулировкой положения, испытания проводятся в наиболее неблагоприятном положении для испытаний, которое допускает система регулирования;
- 2) Испытание проводится в средней вертикальной плоскости сиденья. Смещенная исходная линия определяется с помощью объемного механизма для нахождения точки Н, путем его приложения к элементу, имитирующему спину с моментом равному $37,3 \text{ даН} \cdot \text{м}$ в продольном направлении назад относительно точки R.

Для проверки эффективности подголовников указанное начальное усилие увеличивают до $89 \text{ даН} \cdot \text{м}$ если до этого не произошло поломки сиденья.

- 3) испытание производится с помощью модели головы имеющей диаметр 165 мм. Модель должна быть расположена перпендикулярно к смещенной исходной линии на 65 мм ниже верхней части подголовника. При этом исходная линия должна оставаться в смещенном положении;
- 4) если наличие проемов препятствует приложению усилия, на высоте 65 мм от верхней части подголовника, то допускается сокращение этого расстояния до тех пор, пока линия приложения усилия не начнет проходить через центральную линию. После этого определяют касательную Y к модели головы, которая параллельна смещенной исходной линии и измеряют расстояние X между касательной Y и смещенной исходной линией. Схема измерения указана на рисунке 1.

- 5) определение высоты установки подголовника происходит при помощи объемного механизма, размещенного на сиденье в нормальном положении. После установки наносится проекция исходной линии объемного механизма и определяется перпендикулярная линия, затем находится касательная линия S к верхней части подголовника и замеряется ее высота от точки R сиденья. Данная высота является высотой подголовника;
- 6) определение ширины подголовника происходит с помощью определения линии перпендикулярной линии S с указанием линии ниже касательной на 65 мм, что определяет участок ограниченный контуром. Шириной в данном случае является расстояние между крайними линиями.
- 7) определение проемов подголовника определяют при помощи сферы диаметром 165 мм, где сфера должна касаться проема в тех поверхностях без приложения усилий. После касания происходит замер расстояния “а”, который определен как расстояние между двумя точками соприкосновения сферы с проемом;
- 8) испытание на поглощение удара для подголовников сиденья используется в отношении тех частей, где может произойти касание модели головы диаметром 165 мм, а так же в зонах 1, 2 и 3:
- А) зона 1 – расположена между вертикальными продольными плоскостями спинки сиденья на расстоянии 70 мм по обе стороны от средней продольной плоскости сиденья над плоскостью, перпендикулярной исходной линии на расстоянии 635 мм от точки R сиденья;
- Б) зона 2 – расположена выше плоскости перпендикулярной исходной линии на расстоянии 440 мм от точки R сиденья;
- В) зона 3 – расположена над горизонтальными плоскостями за исключением поверхностей зон 1 и 2.

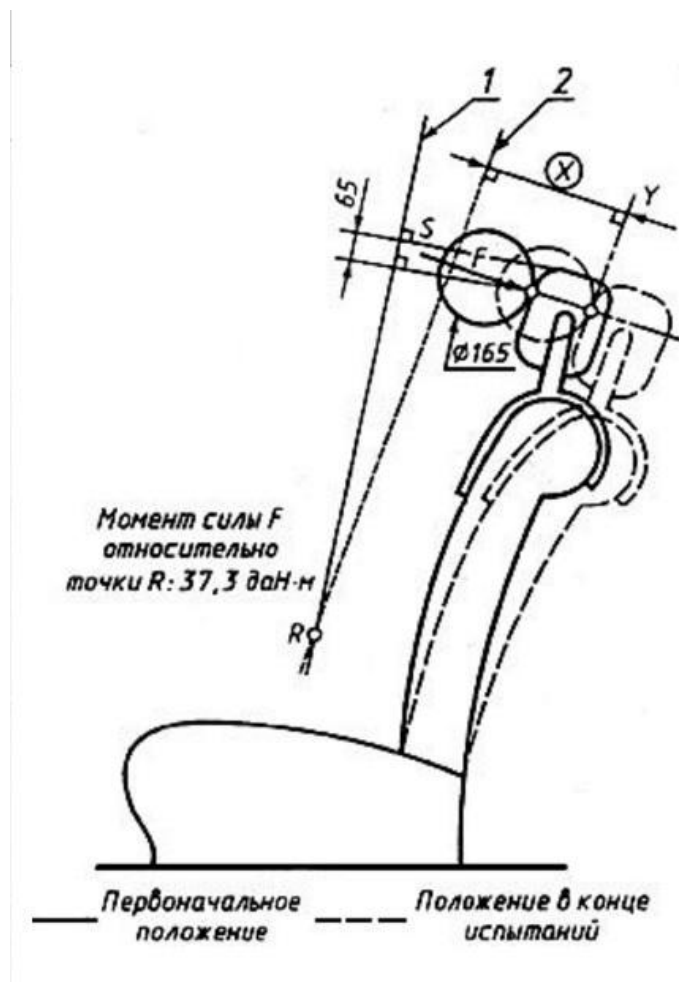


Рисунок 1 – Схема измерения, проводимого при испытании на поглощение энергии

В данных правилах так же присутствуют и другие требования, которые можно отнести как влияющие на исход испытания, однако невыполнение их может привести к фатальным последствиям. Исходя из этого, данные требования в работе не рассматриваются в связи с тем, что они должны быть выполнены на законодательном уровне.

Необходимо отметить, что в случае, если испытанию подвергаются сиденья вновь разрабатываемые, то для начала проведения испытания на оценку эффективности защиты шеи от хлыстовой травмы, должны быть выполнены все требования ЕЭК ООН N17.

2.2 Анализ известных решений расчета удара головы о подголовник

При анализе известных решений, которые были изучены, наиболее часто и ярко представлены результаты проведения испытания одной из ведущих в этом вопросе организации EuroNCAP, которое уже в течение долгого времени проводит множество испытаний различных современных конструкций сидений новых автомобилей. Однако на официальном сайте не представлено рекомендаций по способам обеспечения высоких параметров безопасности, но имеются данные о проведении испытаний в точном соответствии с теми испытаниями, которые проводятся данной организацией [4].

Ввиду высокой популярности оценки новых автомобилей по методике EuroNCAP, уже сами результаты, скорее всего, побуждают автопроизводителей развивать тему повышения безопасности и защиты шеи от получения травм во время заднего удара. Основным видом деятельности исследований полученных результатов, является калибровка и усложнение различных тестов, которые необходимо проходить для получения оценки, поэтому методика EuroNCAP имеет не прямое влияние на развитие уровня безопасности

Если обратить внимание на автопроизводителей, которые обязаны проводить сертификацию подголовников на соответствии требований Правилам ЕЭК ООН N 17, то наиболее вероятно, что предприятия-изготовители сидений имеют данные о рекомендованных значениях. Однако, ввиду высокой конкуренции и сохранения в тайне различных запатентованных разработок, имеются значительные ограничения на публикацию данных подобного рода, которые могли бы систематически обеспечивать накопление сведений для возможности использования коллективно накопленной информации.

Известны научно-исследовательские работы [6], [7], которые проводили исследования хлыстовой травмы в отношении сравнения реальных тестов с виртуальными. Проводились попытки повышения реалистичности испытания [8],[9], где манекен BioRID заменялся на модели манекенов, имеющих структуру шеи соответствующую по физическим и геометрическим свойствам, схожим с шеей реального человека.

Известны публикации [10], в которых производился сравнительный анализ различных конструкций подголовников. Исходя из полученных данных, указано, что наличие различных систем обеспечивающих повышение безопасности шеи при заднем столкновении, хоть и увеличивало степень безопасности [11], но был сделан вывод, что даже простые статичные типы подголовников в настоящее время способны обеспечивать хорошие показатели безопасности. Исходя из этого, становится ясным, что эффективное обеспечение безопасности можно достигнуть путем правильных инженерных решений.

По результатам исследования известных решений, не было найдено полноценного и подробного описания проведения виртуальных испытаний для оценки вероятности травмирования подголовника.

Если попытаться резюмировать общий поиск информации в отношении пассивной безопасности, то можно сделать вывод, что в сети интернет практически нет информации, где было бы представлено подробное проведения испытаний, за исключением обучающих файлов с указанием функций различных специализированных программ, например, таких как LS-PrePost, который используется при расчете подобных испытаний. Исходя из этого, можно сделать вывод, что информация такого рода либо не популярна, либо не выгодна к публикации.

2.3 Задачи исследования

По результатам анализа состояния вопроса выявлено противоречие между потребностями общества к высокому уровню пассивной безопасности автомобилей и возможностями их удовлетворения учитывая требования к эффективному производству. Это означает, что высокие результаты испытания должны обеспечивать высокую степень безопасности пассажиров, но целью производителей является достижение максимальных показателей в испытании при обеспечении минимальных финансовых затрат. Следовательно, для повышения уровня безопасности конструкций автомобильных сидений, наиболее актуально исследование бюджетных решений, которые станут наиболее эффективными и актуальными. Для этого необходимо знать факторы, влияющие на результат испытания и искать способы его повышения.

Исходя из указанного выше, можно сделать следующую гипотезу - Безопасность автомобильных сидений бюджетного сегмента можно повысить, если создать методологическую базу знаний, которая позволит выявить факторы, влияющие на результат испытаний. Полученные факторы, необходимо подтвердить в результате серии испытаний, а эффективность этих факторов и влияние на безопасность должны быть доказаны в виртуальном испытании удара головы о подголовник сиденья автомобиля.

Исходя из полученных выводов, для решения цели диссертации ставятся следующие задачи:

- 1 задача – определить свойства и параметры конструкции сиденья, влияющие на травмируемость шеи от хлыстовой травмы позвоночника;
- 2 задача – провести расчет испытания по методике EuroNCAP.

3 Определение свойств и параметров конструкции сиденья, влияющих на травмируемость шеи от хлыстовой травмы позвоночника

Для определения факторов влияющих на травмируемость пассажиров при задних ударах, необходимо разработать математические модели и провести ряд исследований, которые необходимо провести в различных типовых условиях испытания в соответствии с законодательными требованиями ЕЭК ООН N 17 и EuroNCAP.

После проведения испытания, полученные испытания должны быть оценены, и исходя из этой оценки, необходимо проводить дальнейшие испытания и измененными характеристиками конструкции исследуемого сиденья.

После получения результатов и проведения анализа, должна быть выявлена закономерность и, в результате должны быть получены факторы, которые влияют на исход испытания на безопасность.

Полученные данные необходимо проанализировать и выявить оптимальные значения с целью разработки рекомендаций обеспечивающих высокий уровень безопасности на этапах проектирования сиденья.

3.1 Методика определения факторов влияющих на результаты испытания

Для обеспечения проведения работы должна быть определена методика, в соответствии с которой будет проходить ход работы.

В качестве начальной задачи, должна быть поставлена задача конкретного исследования, поэтому изначально нужно определить объекты для проведения научно-исследовательской работы. Для этого, ставится задача аппроксимации конструкции сиденья, для чего нужно определить основные теоретические факторы, влияющие на результат испытания. Данные факторы, влияющие на травмируемость сиденья, изначально не определены, поэтому для упрощения задачи принимается, что все факторы, которые можно разделить на три группы:

К первой группе следует отнести элементы сиденья, которые являются элементами непосредственного контакта с головой пассажира и явно могут влиять на результат испытания. К данной группе относятся:

- 1) эластичные свойства набивки подголовника;
- 2) геометрические параметры подголовника – высота, размеры, наклон;
- 3) конструктивные параметры подголовника – расположение и тип каркаса.

Ко второй группе следует отнести элементы сиденья, которые не являются явными, но являются в некотором роде определяющими. К этой группе следует отнести следующие элементы:

- 1) эластичные свойства набивки спинки сиденья,
- 2) геометрические свойства спинки сидения,
- 3) Металлический каркас сиденья.

К третьей группе следует отнести элементы, которые являются как не явные и не оказывающие особого влияния на результаты испытания. К этой же группе следует отнести элементы, которые обязаны соответствовать правилам ЕЭК ООН N17. К третьей группе относятся следующие элементы:

- 1) эластичные свойства набивки подушки сиденья,
- 2) Салазки сиденья и механизм наклона спинки,
- 3) различные фиксаторы положения и ремни безопасности,
- 4) прочие элементы сиденья не перечисленные выше.

В целях данной научно-исследовательской работы, вторая и третья группы не рассматриваются исходя из сложности воспроизведения детальной конструкции каждого отдельного сиденья, что затруднит возможность проведения сравнительного анализа, а так же низкое влияние данных элементов на результаты испытания. Однако, способы сравнения и проведения анализа аналогичны проведению работ с первой группой элементов конструкции сиденья.

Для обеспечения работы необходимо создать методику проведения испытания, по которой будет осуществлена данная работа.

Для начала работы должна быть найдена и определена информация которая должна содержать сведения, указывающие на теоретические основы и описания испытания, данные о хлыстовой травме, т.е. первоначальный сбор информации.

Для возможности осуществления анализа факторов влияющих на результаты, необходимо собрать первоначальные данные, необходимые для начала работы. К таким данным следует отнести данные для создания математической модели сиденья и его окружения, теоретические данные, необходимые для проведения виртуальных испытаний, а так же наличие программные средства, на которых будут проводиться испытания.

После сбора и систематизации всех необходимых данных, должна быть создана математическая модель сиденья и необходимое окружение для работы. Для созданных математических моделей необходимо провести необходимые калибровочные испытания, а так же собрать в единое целое всю информацию, необходимую для выполнения виртуальных испытаний на компьютере.

После калибровки конструкции сиденья должно быть проведено виртуальное испытание в соответствии с требованиями ЕЭК ООН N17 и методикой EuroNCAP.

После проведения указанных работ должен быть произведен сбор полученной информации, проведение анализа данных и выводы по работе. Должны быть произведены выводы по работе, внесены замечания и предложения, необходимые для дальнейшего изучения проблемы хлыстовой травмы.

3.2 Разработка математической модели сиденья для испытания

Для проведения серии испытаний с участием сидений, необходимо с достаточной точностью воспроизвести материалы, из которых состоит автомобильное сиденье и его внешнюю форму.

Для определения и задания материалов в математические модели, укрупнено, выбрано автомобильное сиденье ВАЗ-2190, которое изображено на рисунке 2. Данное сиденье выбрано для проведения испытания из-за его доступности и простой конструкции.



Рисунок 2 – Сиденье автомобиля ВАЗ 2190

Само сиденье можно теоретически разложить на две большие группы материалов, которые необходимо учитывать при расчете испытания на задний удар:

1) изделия из стали - из стали изготавливаются каркасы подушки и спинки, салазки сиденья, различные стойки, проволочные держатели набивки, пружины. Детали из стали предназначены для поддержания формы (внешней геометрии изделия) ограничения подвижности, опор для связей элементов и креплений сиденья к кузову. Изделия из данного материала должны быть прочными и устойчивыми;

2) изделия из пенополиуретана (ППУ) – Из данного материала изготавливаются набивки подголовника, спинки и подушки сиденья. Изделия из ППУ предназначены для обеспечения требуемой формы внешней геометрии, поддержания положения пассажиров, обеспечения приемлемого уровня комфорта. Изделия из данного материала предназначены для поглощения энергии и обеспечения требуемой жесткости.

Необходимо отметить, что обивочные материалы представленные тканями и полимерными материалами, в испытании на задний удар не участвуют что обусловлено низким влиянием на исход испытания.

Для разработки математической модели сиденья были измерены геометрические параметры сиденья, после чего строились математические модели.

Следует отметить, что, как и указывалось выше, данная модель является аппроксимированной версией реального сиденья, которая включала в себя набивки подушки и спинки, а также каркас подголовника. Внешняя форма сиденья была максимально возможно повторена. Структурные части сиденья, такие как каркас сиденья были воспроизведены условно для ограничения движения эластичных набивок сиденья.

Полученная математическая модель сиденья изображена на рисунке 3.

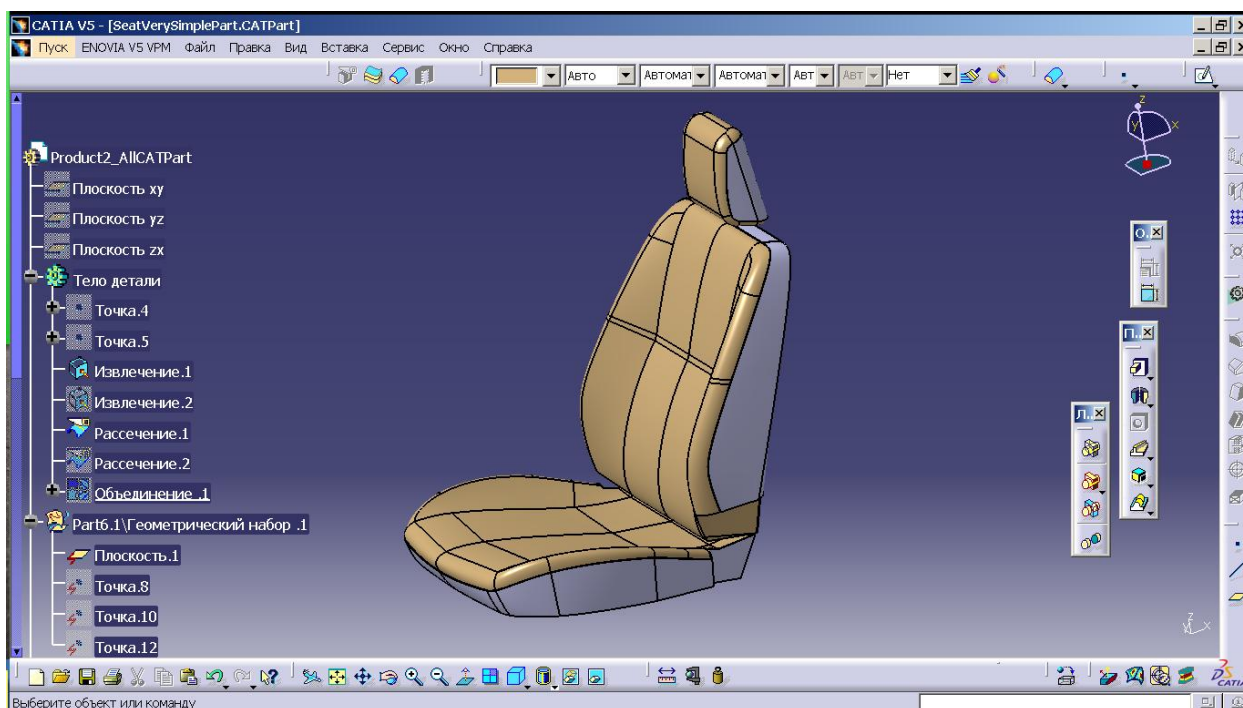


Рисунок 3 – Математическая модель сиденья ВАЗ 2190.

Разработка КЭМ сиденья

В связи с тем, что свойства набивки сиденья являются одним из главных факторов, влияющих на результат испытания, одной из главных задач в разработке математической модели сиденья, является разработка модели эластичного пенополиуретана теплого формования, из которого изготавливаются набивки подушки, спинки и подголовника. Для схождения параметров проектируемого материала набивки с реальным необходимо определить свойства набивки, задать их в математическую модель и провести испытания на сходимость с реальным образцом. Эластичный пенополиуретан представляет собой искусственный пористый, ячеистый материал, где наиболее распространенным режимом деформации является сжатие. Особенность материала заключается в спененных закрытых ячейках наполненных газом, которые образуются внутри материала при изготовлении пены.

Моделирование набивки сиденья осуществлялось в программном комплексе LS-DYNA с помощью препроцессора LS-PrePost. Материал выбранный для набивки 057-MAT_LOW_DENSITY_FOAM , который представлен как хорошо согласующийся с характеристиками реальными полиуретановыми пеноматериалами и имеет способность восстанавливать первоначальную форму после снятия нагрузки.

Для приближения сходимости результатов с реальным испытанием, необходимо задать материал со свойствами, которые будут соответствовать набивке реального сиденья. При моделировании материала следует учитывать 3 зоны в отношении сжатия от напряжения, возникающего от нагрузки на материал, как указано на рисунке 4

Можно выделить 3 следующие зоны графика:

Зона 1 – увеличиваются напряжения и возрастает деформация,

Зона 2 – материал деформируется практически без увеличения напряжений,

Зона 3 – резкое возрастание напряжений при незначительном увеличении деформаций.

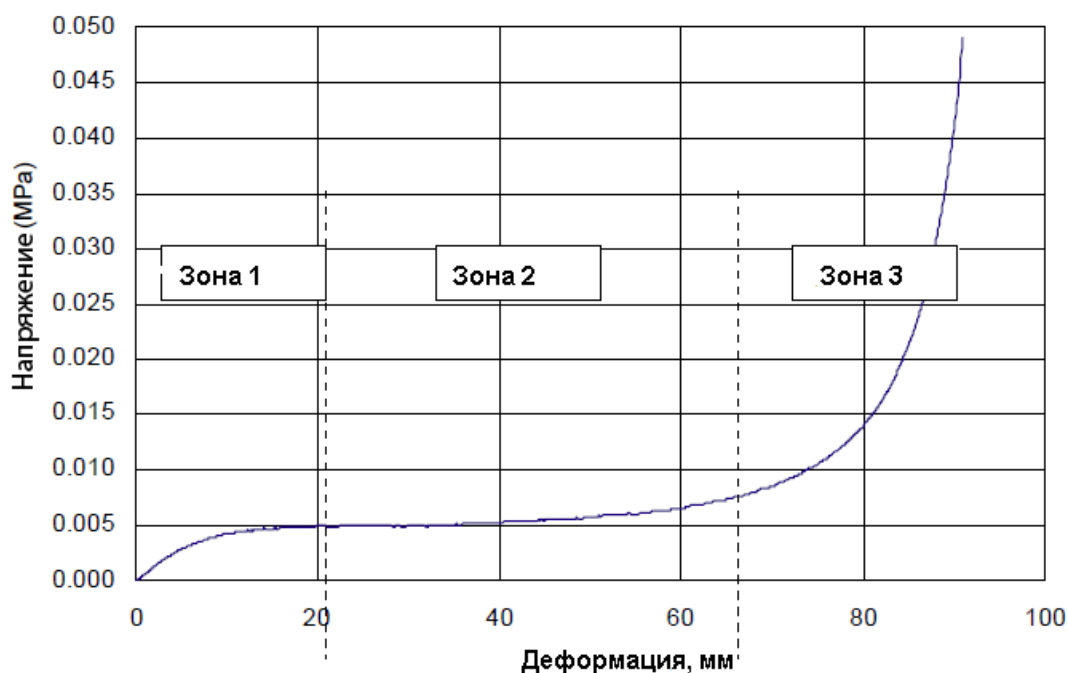


Рисунок 4 – Три типичные зоны деформации в пене

Начальный регион, в котором наблюдается увеличение напряжения и возрастание деформации (Зона 1) указывает на деформацию без значительного увеличения напряжения). (Зона 2) является следующей зоной уплотнения набивки, после чего идет резкое увеличение напряжений при незначительном увеличении деформации (Зона 3). Это поведение соблюдено и для крупных пен кроме того что относительный размер каждого из этого региона будет варьироваться в зависимости от матрицы и морфологии поверхности.

В качестве аналога для задания свойств был использован эластичный пенополиуретан теплого формования с открытыми порами с плотностью 60 кг/м³. Для уточнения параметров материала набивки необходимо создать имитацию сдвливания, что может в конечном итоге помочь приблизить полученные параметры с целевыми. Поэтому необходимо провести испытание на определение зависимости напряжения от сжатия, которая должна быть задана графиком в препроцессор LS-Prepost.

Материалы моделируются заданием характеристик плотности материала, модуля упругости и зависимости напряжение/деформация. Поскольку необходимо, чтобы набивка восстанавливала первоначальную форму после удара, в разработанных моделях была использована модель материала MAT_057-LOW_DENSITY_FOAM.

Для задания свойств набивки, были заданы следующие параметры:

RO (Плотность вещества) = 6.00e-008 (60 кг/м³)

E (Модуль Юнга) = 0.01 ГПа (10 МПа)

LCID задается кривая деформации от нагружения

TC:=Tension cut-off stress.1.000+020

HU:=Hysteretic unloading factor – остается 1 по умолчанию

DAMP:=Viscous coefficient указываем 0.35

Натурное испытание сжатия набивки

Натурное испытание предназначено для получения данных, необходимых для задания графика напряжения от деформации в целях задания соответствия свойств набивки в электронных математических моделях. В промышленных целях, данное испытание должно производиться согласно ГОСТ 26605-93 “Полимерные эластичные ячеистые материалы. Определение зависимости напряжение-деформация при сжатии и напряжении сжатия”

Для испытания был вырезан образец размером 50х50х50 мм, который устанавливается на твердую площадку. После произведения нагружения различными весами отслеживается степень деформации объекта в процентном соотношении. В качестве инструмента для определения нагрузки на материал используется линейка и кухонные весы, показанные на рисунке 5.



Рисунок 5 - Образец для испытаний и весы для замера массы.

В качестве нагрузки использовалась вода, которая заливалась в тару, установленную на площадку. При доливании воды в тару нагрузка на куб изменялась. В процессе проведения испытания производилась запись нагрузки и изменение высоты площадки.

После нагружения куба до 2400 грамм, что соответствовало деформации 65%, был произведено построение графика. Результат измерений указан на таблице 1

Таблица 1 – Результаты замеров нагружения куба

Приложенная нагрузка на куб, г.	Высота куба, мм	Деформация от приложенной нагрузки, %
0	75	0
500	70	10
800	65	20
1000	60	30
1200	55	40
1400	52,5	45
1600	50	50
2000	45	60
2400	42,5	65

Основываясь полученных на результатах, произведено построение графика данных зависимости нагружения от деформации. Полученная кривая на графике соответствует трем зонам, описанным в теоретических данных. График указан на рисунке 6.

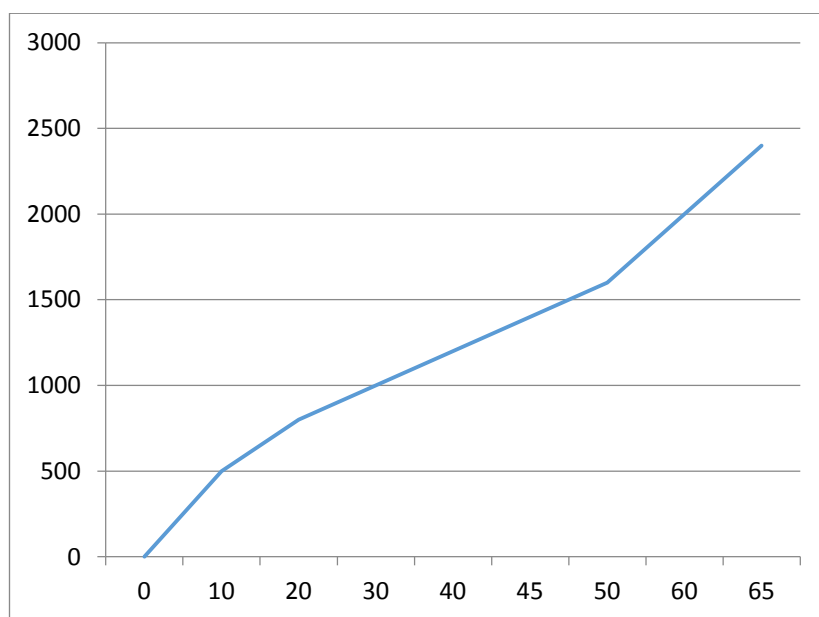


Рисунок 6 - Зависимость нагрузки от деформации

Исходя из полученных данных, рассчитать напряжения по формуле 1:

$$\sigma = F \cdot 1000 / A \quad (1)$$

где F – Нагрузка, Н; A - Площадь поперечного сечения куба, мм².

По полученным данным строим график указывающий зависимость напряжения от деформации в соответствии с рисунком 5.

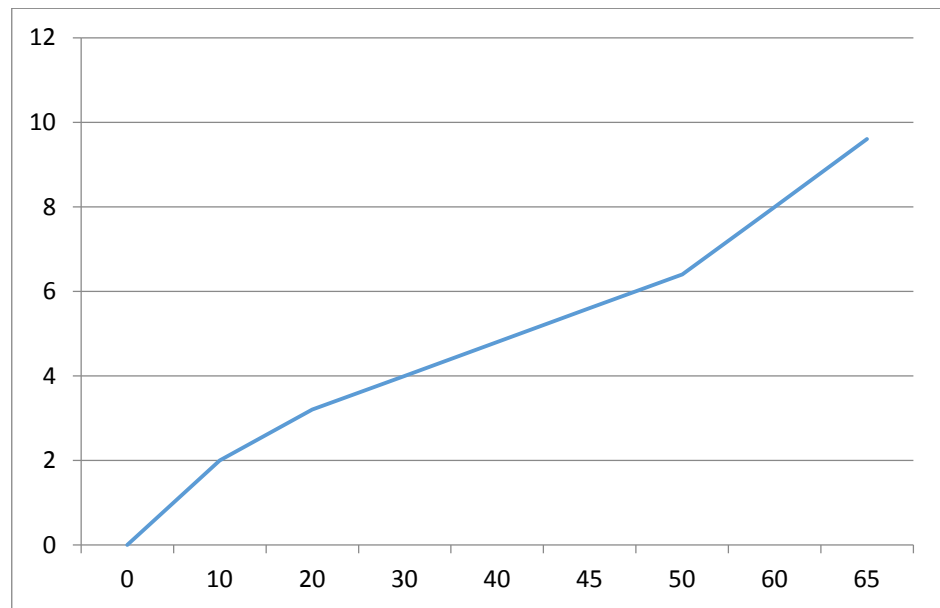


Рисунок 5 – Зависимость напряжение/деформации

Испытание набивки сиденья

Виртуальное испытание производится для создания согласованной математической модели набивки с реальным образцом для обеспечения точности и реалистичности при виртуальном испытании. Исходя из результатов натурного испытания, известен реальный график зависимости напряжения от деформации. Данный график позволяет определить значения, к которым необходимо стремиться при создании виртуальной модели набивки сиденья.

Получившиеся данные графика записываются в соответствии с согласованной системой измерения и задаются в препроцессоре LS-PrePost в качестве графика напряжение/деформация по ранее определенным значениям в соответствии с таблицей 2.

Таблица 2 – График зависимости напряжение / деформация

Деформация	Напряжения ГПа
0	0
0,1	1e-6
0,2	3.2e-6
0,3	4e-6
0,4	4.8e-6
0,45	5.6e-6
0,5	6.4e-6
0,6	8e-6
0,65	9.6e-6

Полученные данные указываются в виде графика, где по оси абсцисс задается деформация, а по оси ординат – напряжения.

Для отработки характеристики набивки сиденья и приведение ее параметров в необходимые значения, в CAD-системе CATIA V5 создается математическая модель образца пенополиуретанового куба с размерами 50x50x50 мм, соответствующий реальному образцу. Данный образец будет подвергаться сдавливанию с целью уточнения физических свойств материала. Исходная математическая модель куба указана на рисунке 6.

Верхняя пластина должна сдавливать объект с определенным напряжением. В качестве заделки указывается опорная поверхность в виде заделки основания образца для испытаний. Нагружение на объект производится на верхнюю часть куба массой 1.2 кг. В соответствии с натурным испытанием, от приложения данной нагрузки куб деформируется на 40%. Для задания нагрузки выбрана верхняя грань объекта и указывается, что данная нагрузка должна быть достигнута с 0 до 1.2 за 10 мс и длительность испытания длиться 100 мс.

Целью данного испытания является анализ соответствия деформации при заданной нагрузке с целью уточнения полученных значений для приближения к полученным значениям, полученные при натурных испытаниях.

Результат испытания – от усилия 12 Н куб деформировался 20 мм, что является подтверждением сходимости свойств виртуальной набивки и реальной. Полученные результаты указаны на рисунке 7.

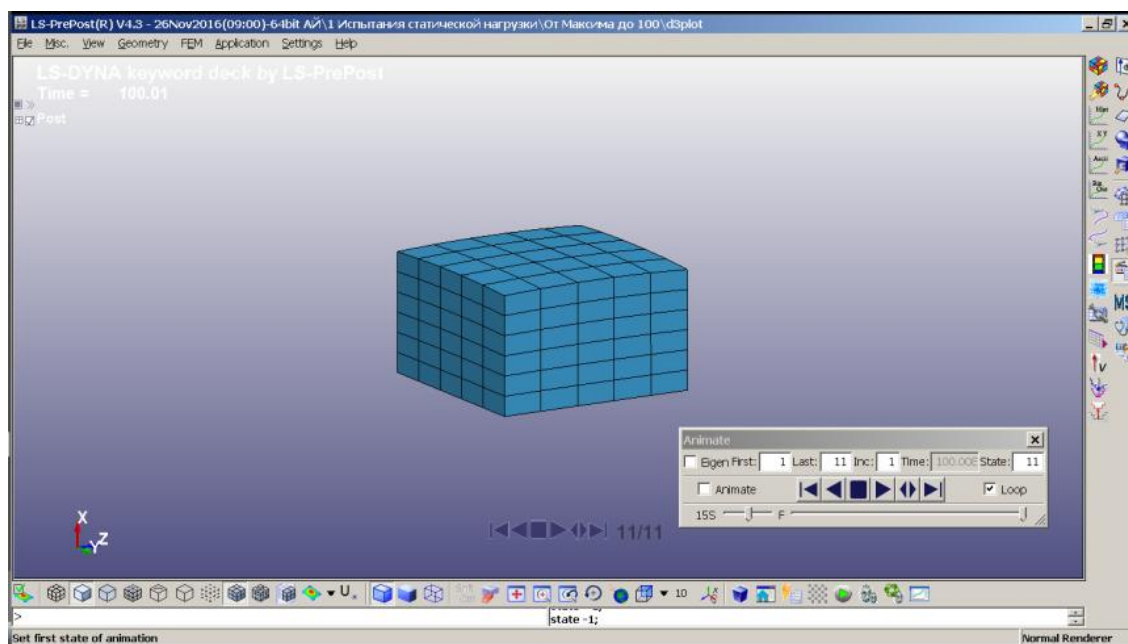


Рисунок 6 – Куб после приложения нагрузки в 12 Н

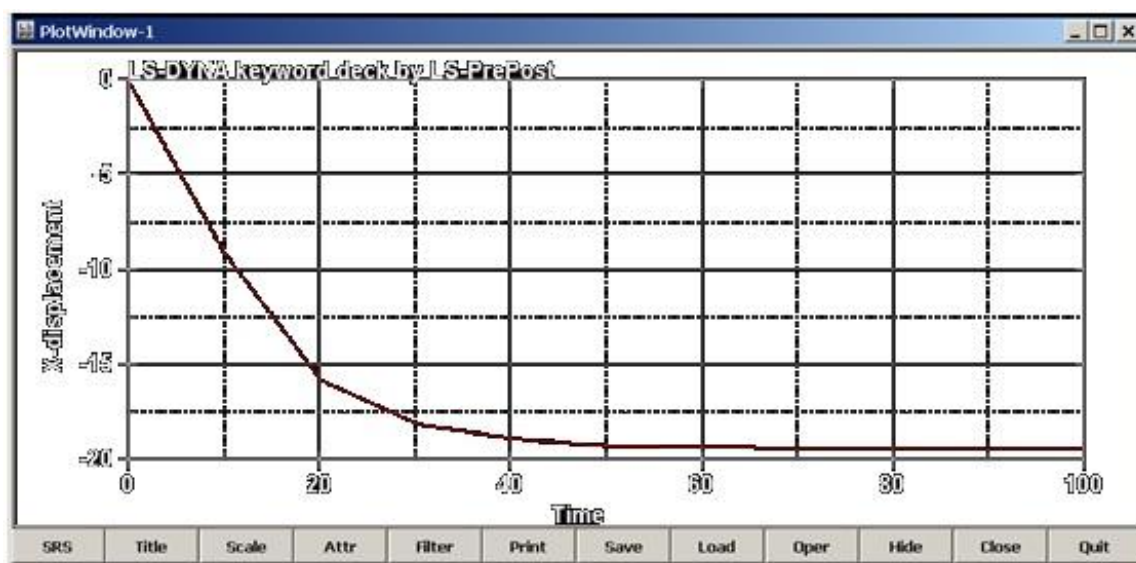


Рисунок 7 – Деформация куба от приложения нагрузки, мм

3.3 Проведение экспериментов и получение данных

Определение координаты посадки манекена

Для проведения испытаний с сиденьями используется базовая точка сиденья Н, которая является центром вращения бедра тела человека, которая расположена в центре тазового отдела. Данная точка является ключевой при испытаниях с сиденьями и показана на рисунке 8.

Вместе с точкой Н одновременно определяется и точка R, которая является теоретической точкой, определенной заводом – изготовителем. Точка R должна соответствовать замеренной точке Н с допустимыми отклонениями в пределах квадрата со сторонами в 50 мм.

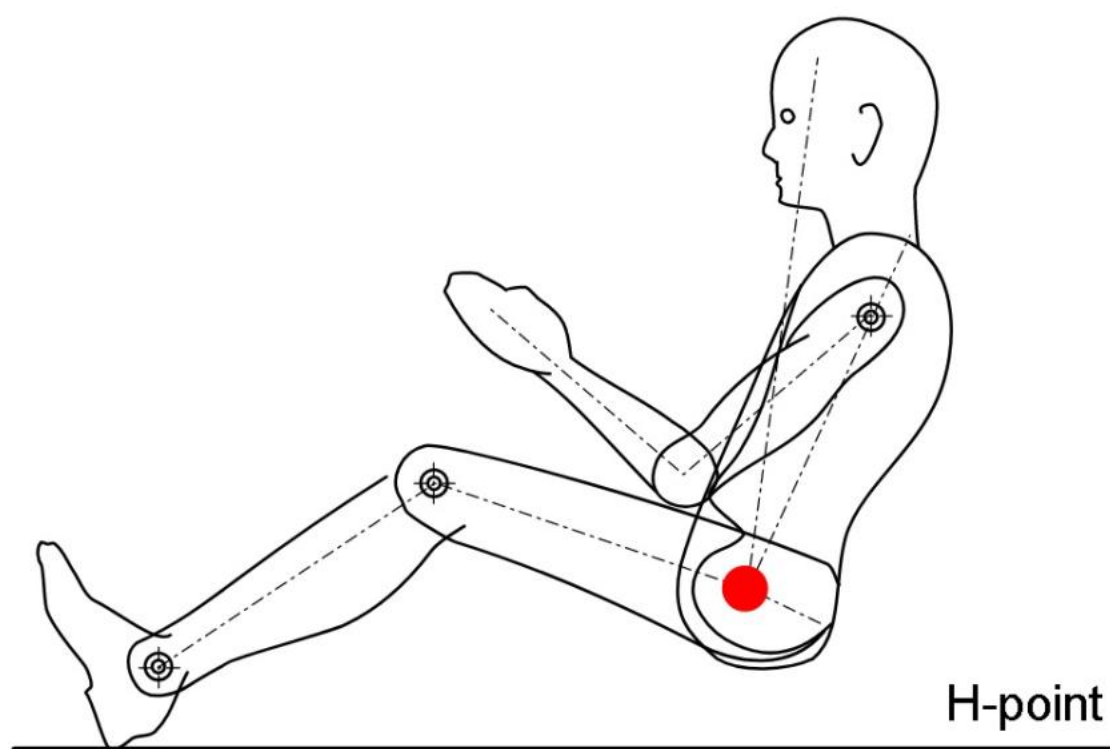
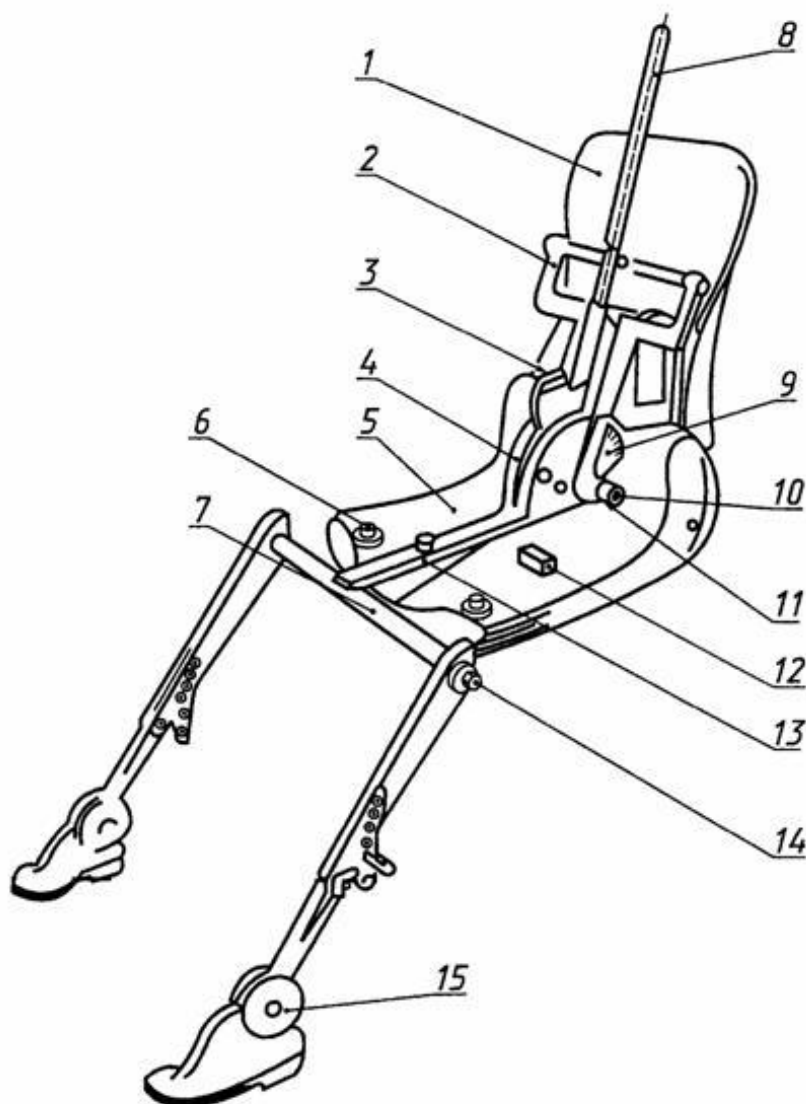


Рисунок 8 – Графическое положение точки-Н для определения на манекене

Для нахождения точки *H* используется специальное устройство для определения точки *H*, представленный на рисунке 9.



1 - спинка; 2 - кронштейн для спинных грузов; 3 - уровень угла наклона спинки; 4 - круговой сектор наклона бедра; 5 - основание; 6 - кронштейн для набедренных грузов; 7 - Т-образный коленный шарнир; 8 - штырь; 9 - круговой сектор наклона спинки; 10 - визирные метки точки *H*; 12 - уровень поперечной ориентации; 13 - кронштейн бедра; 14 - круговой сектор сгиба колена; 15 - круговой сектор сгиба ступни.

Рисунок 9 - Схема объемного механизма определения точки *H*

Объемный механизм для определения точки Н является реальным механизмом, который предназначен для нахождения точки Н в сиденьях автомобиля.

Данный механизм имитирует туловище и бедра человека, которые проходят и крепятся в точке Н. Из данной точки проходит штырь 8, который указывает на положение угла наклона спинки 1 переднего сиденья. Так же, помимо измерения угла наклона спинки сидения и наклона бедер имеются круговые секторы 14 и 15 для измерения угла наклона сгиба колена. Вес манекена, заданный грузами соответствует весу взрослого мужчины и соответствует 75 кг. Грузы расположены в местах соответствия распределения массы реального человека.

После определения точки Н считается, что эта точка далее является фиксированной по отношению к сиденью и перемещается вместе с ним.

Помимо точек R и Н, требуется так же уточнить такие параметры как фактический угол наклона туловища, которые обозначается как угол между вертикальной линией, проходящий через точку Н и линией туловища.

Разработка математической модели механизма для определения точки Н

Для проведения испытания для нахождения точки Н была разработана математическая модель объемного механизма для определения точки Н массой 60 кг, который представлен на рисунках 10. Данная модель была разработана на основе чертежей, находящихся в сети интернет.

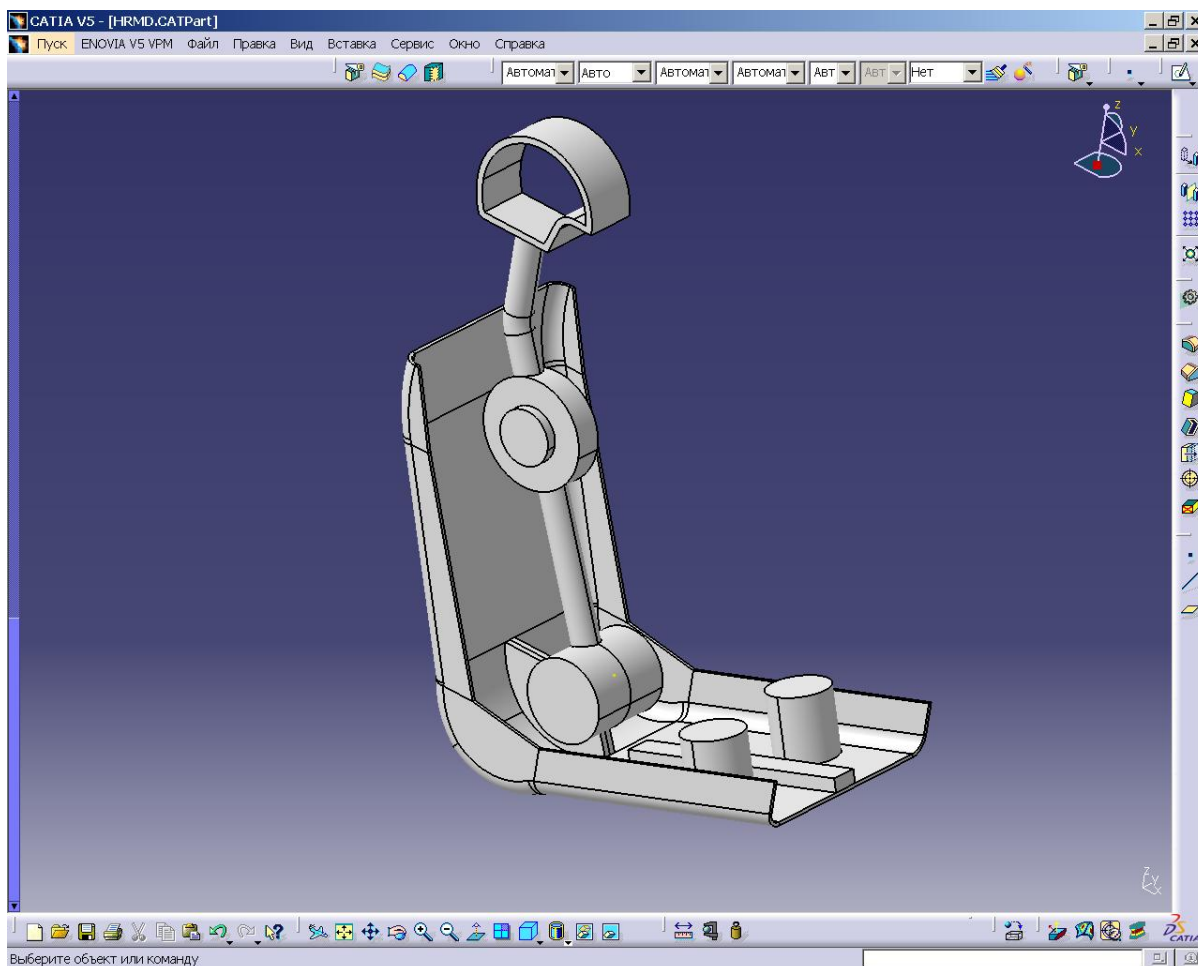


Рисунок 10- Объемный механизм для нахождения точки Н

Данный механизм разработан в соответствии с изображениями и имеет схожие с оригинальными массовые и габаритные характеристики. Центр тяжести механизма располагается аналогично центру тяжести реального человека сидящего на сиденье автомобиля. Положение центра тяжести на модели изображено на рисунке 11.

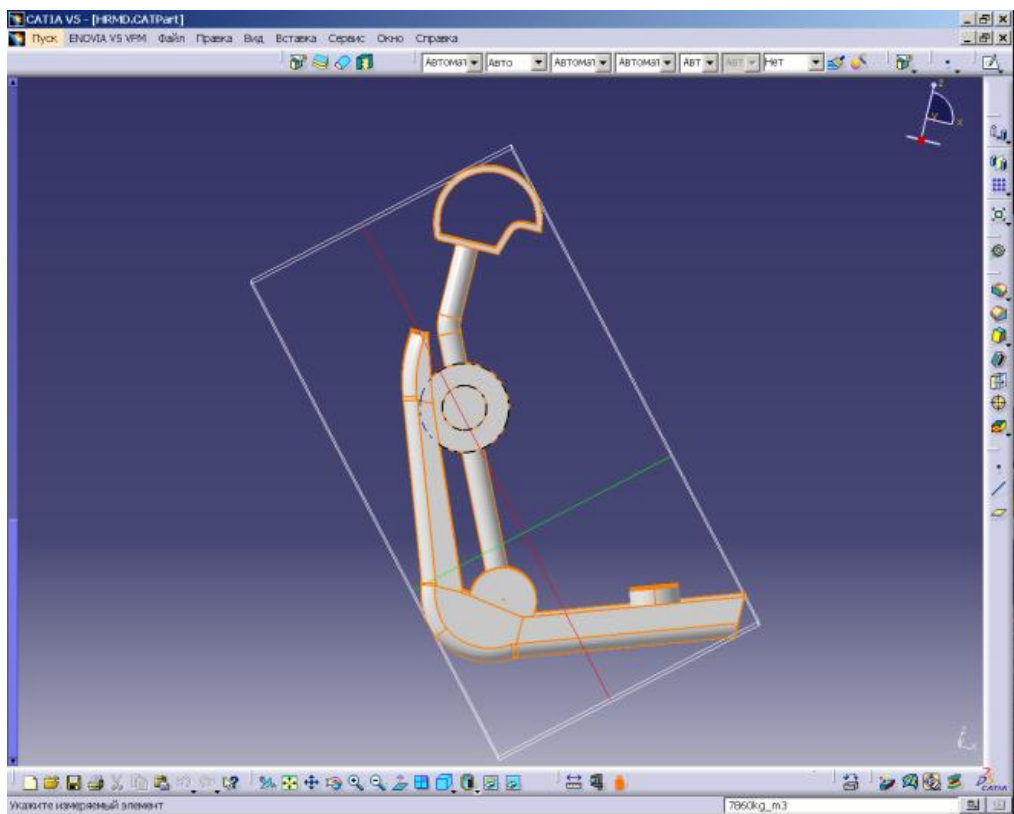


Рисунок 11 – Центр тяжести механизма для определения точки Н.

Далее, на основе математической модели была создана конечно-элементная модель механизма изображенная на рисунке 12.

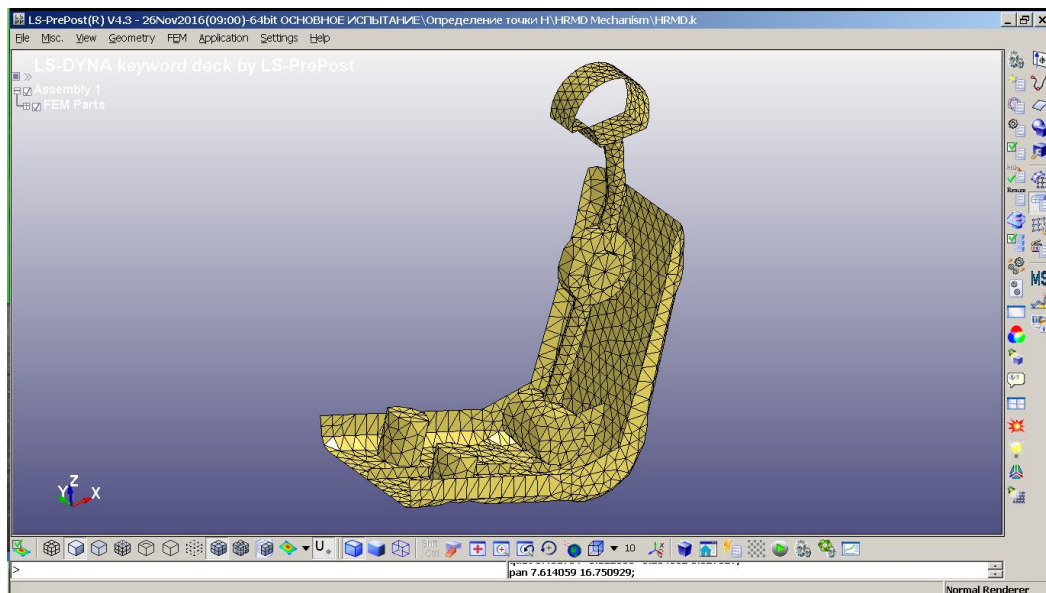


Рисунок 12 – Конечно–элементная модель объемного механизма для определения точки Н.

Порядок определения точки Н и фактического угла наклона туловища

В целях нахождения искомых значений, для проверки и нахождения точки Н в виртуальных испытаниях используется манекен объемного механизма для определения точки Н, что соответствует правилам ЕЭК ООН R17 и .EuroNCAP. В данном испытании определяется положение точки Н на манекене, в результате его позиционирования на сиденье, где от своей массы, манекен должен промять набивку сиденья и оказаться в месте, которое и будет определяться как базовое.

В отличие от реального испытания с объемным механизмом, где не представляет сложности перемещение и установка манекена на сиденье автомобиля, в виртуальном испытании, данное действие является ключевым для определения правильного положения точки Н.

Исходя из особенности позиционирования манекена в виртуальной среде, общий смысл проведения испытания в виртуальном испытании сводится к тому, что необходимо сделать попытку имитации установки механизма для определения точки Н. В этом случае, необходимо обеспечить правильное положение манекена, которое бы имитировало реальную посадку человека. Правильная посадка в сиденье должна иметь плотную приближенную таз манекена к задней части подушки сиденья, обеспечивая положение пассажира в продольной оси и полное прилегание позвоночного столба спины на всю поверхности спинки сиденья, что определяет угол наклона спины пассажира.

Таким образом, основным вопросом при правильном позиционировании манекена является обеспечение методики, которая указывала бы на способ правильной посадки манекена на сиденье.

Определение точки Н

Перед проведением испытания необходимо отрегулировать положение спинки переднего сиденья в положение наиболее близкое к положению угла наклона 25 градусов, что можно произвести в математической модели сиденья.

Для проведения испытания по замеру точки Н необходимо:

- 1) определить и зарегистрировать точку-Н на манекене,
- 2) в препроцессоре произвести позиционирование саггитальной плоскости манекена с центральной (средней) плоскостью сиденья,
- 3) сместить тело манекена до обеспечения минимального зазора между спиной манекена, подушкой и спинкой сиденья,
- 4) расположить симметрично от центральной линии ступни и ноги манекена (при их наличии) в естественное положение, которое соответствует положению ног между рабочими педалями автомобиля на опоре для ног,
- 5) приложить нагрузку к нижней части и торса манекена через задание начальных условий, что бы установить давление на спинку сиденья. Нагрузка должна быть направлена вдоль центральной плоскости сиденья попеременно, с шагом 25 Н, пока после устранения нагрузки положение манекена не достигнет устойчивого положения,
- 6) произвести замеры стартового положения манекена: положение точки Н, угол наклона торса;
- 7) произвести расчет модели;
- 8) проанализировать результаты и повторять п. 5. до получения устойчивых результатов по позиционированию манекена на сиденье;
- 9) зафиксировать положение точки-Н манекена и угол наклона спинки;
- 10) проанализировать расхождение угла наклона спины манекена, от предыдущего положения. Отклонения выше 5 градусов не допускаются.

В случае отклонения свыше 5 градусов, необходимо произвести корректировку угла наклона спинки сиденья и произвести испытание по определению точки-Н заново.

В связи с испытанием полной модели сиденья, было осуществлено задание жестких, недеформируемых элементов, где в целях упрощения модели сталь и его свойства заменяются жесткими телами, который задается в препроцессоре LS-PrePost. В качестве материала на модели начального уровня задается MAT_020-RIGID, и в карте задаются свойства близкие к стали:

RO (Плотность вещества) - 7.83×10^{-6} (7800 кг/м³)

E (Модуль Юнга)=207 ГПа (207000 МПа)

PR (Коэффициент Пуассона) - 0.3

Следует отметить, что при выборе предпочтения жестким телам следует исключать различные изменения формы элементов от нагрузок. Поэтому, в данном случае жесткие тела определяют элементы, которые ограничивают подвижность деформируемых элементов набивки сиденья.

Для проведения испытания была произведена КЭ модель сиденья в сборе с механизмом для определения точки Н, как изображено на рисунке 13.

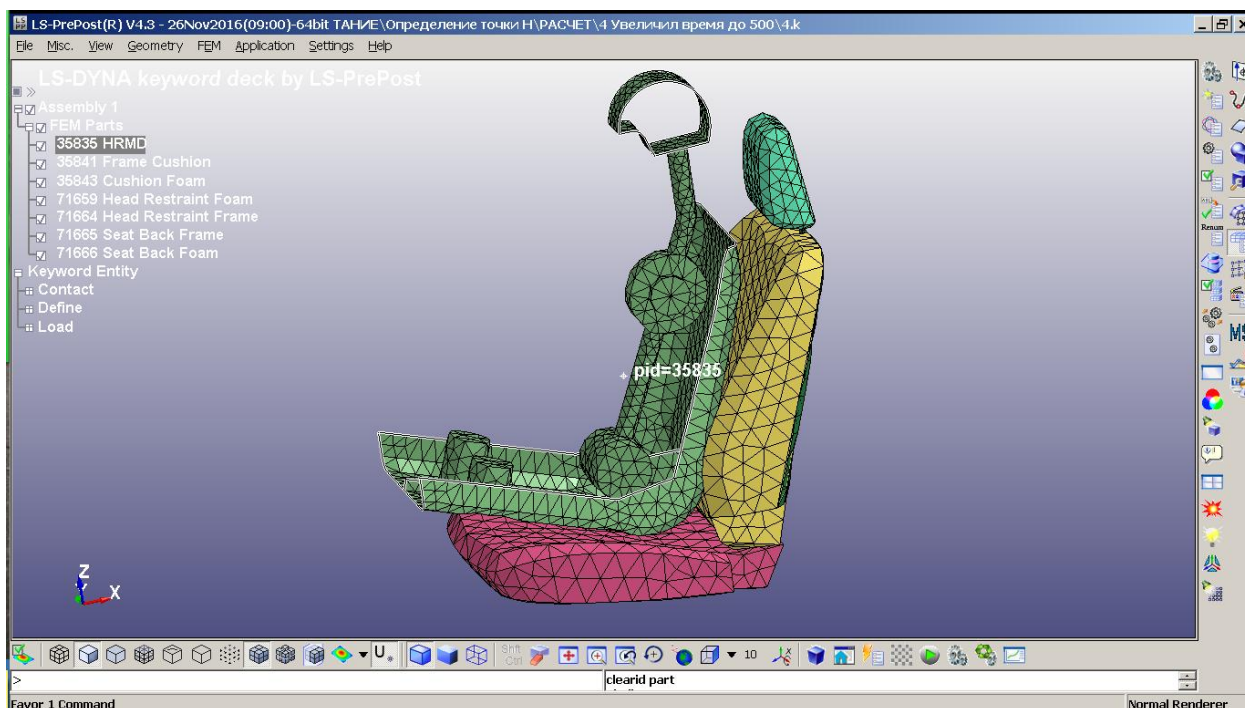


Рисунок 13 – Позиционирование элементов перед испытанием.

Для обеспечения возможности смещения механизма, манекен расположен на сиденье с зазором, что позволяет объемному механизму под своим весом промять набивку сиденья и сместиться в положение от силы тяжести, формы набивок сиденья и его наклона.

В качестве исходных данных, было задано падение манекена под своим весом с ускорением свободного падения. Для сиденья были использованы полученные ранее данные по набивке и каркасу сиденья. В качестве начальных данных к нижней части манекена была приложена нагрузка 25 Н.

Длительность испытания равнялась 500 мс.

Для уточнения положения точки Н объемного механизма были проанализированы перемещения контрольной точки с использованием раздела History с оценкой изменения по узлам (Nodal). Смещения точки было оценено через раздел X-displacement и X- displacement, как указано на рисунке 14.

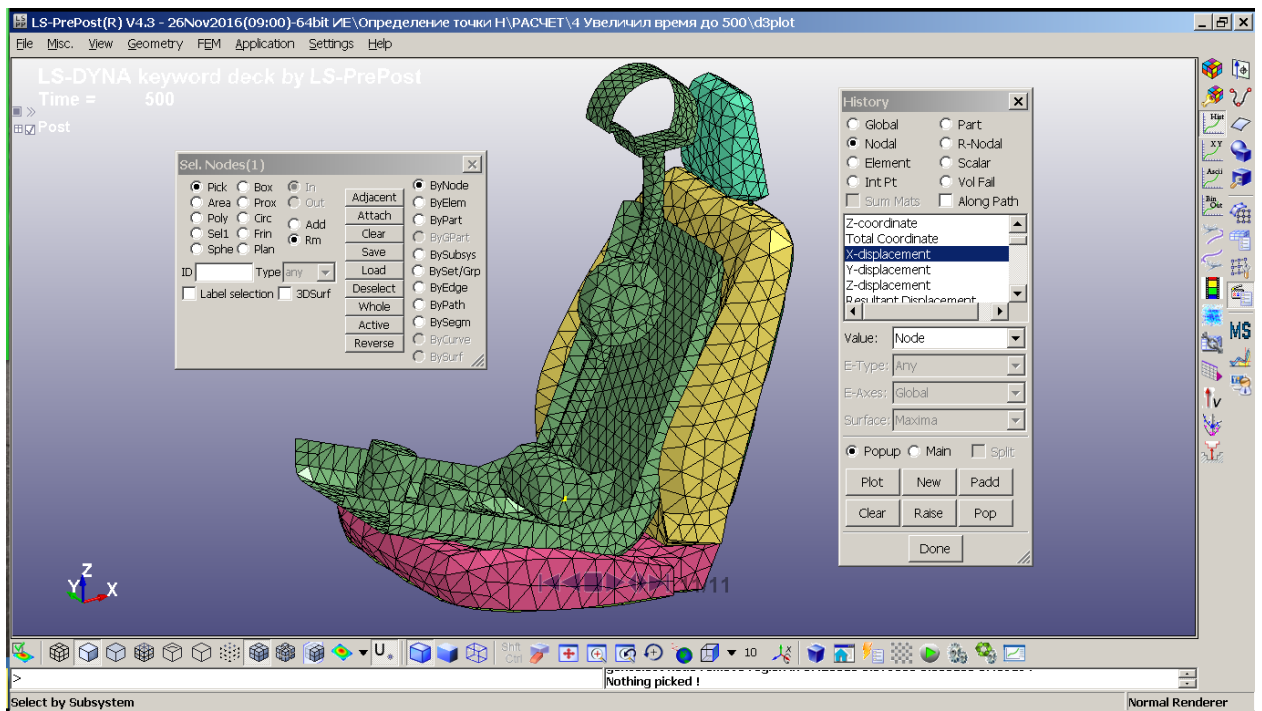


Рисунок 14. Оценка перемещения контрольной точки

Полученные графики данных по изменению указанных координат изображены на рисунках 15 и 16 соответственно:

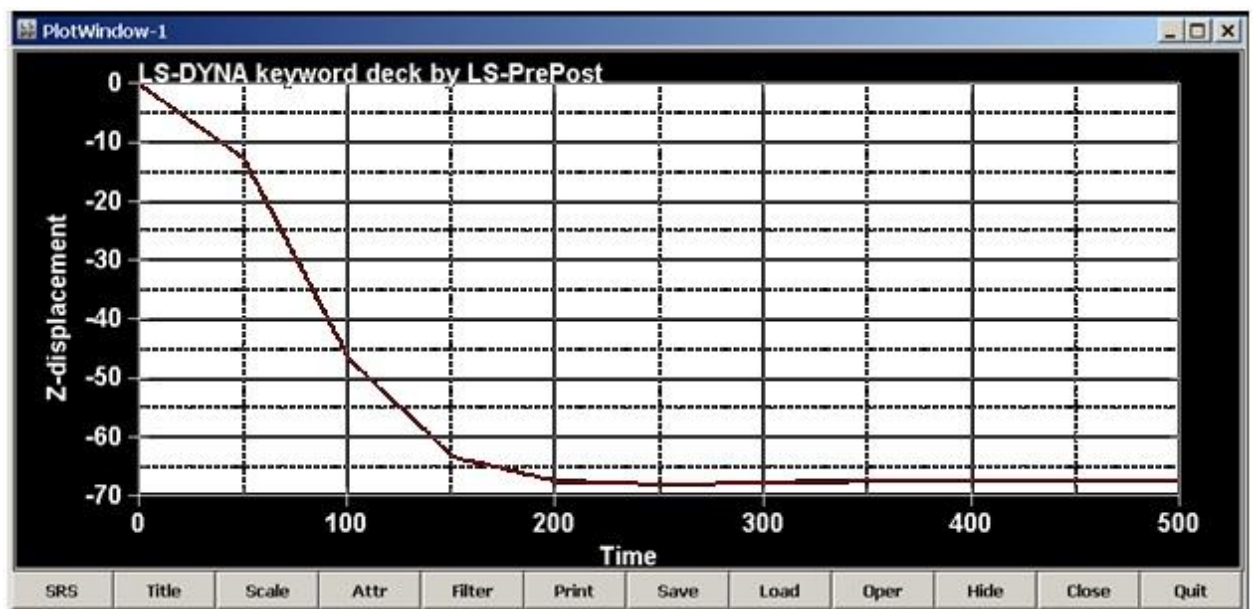


Рисунок 15 – Перемещение точки механизма по оси- Z.



Рисунок 16 – Перемещение точки механизма по оси- X.

Анализируя данные графики можно судить о следующем:

- 1) график перемещения узла по оси-Z указывает, что начиная с 200 мс произошло значительное сдавливание набивки, что остановило дальнейшее падение объемного механизма.
- 2) график перемещения узла по оси-X указывает, что начиная со 100 мс, происходит контакт объемного механизма с сиденьем, из-за чего механизм смещает в положительном направлении (в сторону задней части сиденья) на 25 мм. Смещение механизма происходит вплоть до 250 мс, после контакта механизма со спинкой сиденья, механизм, из-за упругих свойств набивки выталкивается в обратном направлении. Результирующие перемещения узлов в набивке сиденья указаны на рисунке 17.

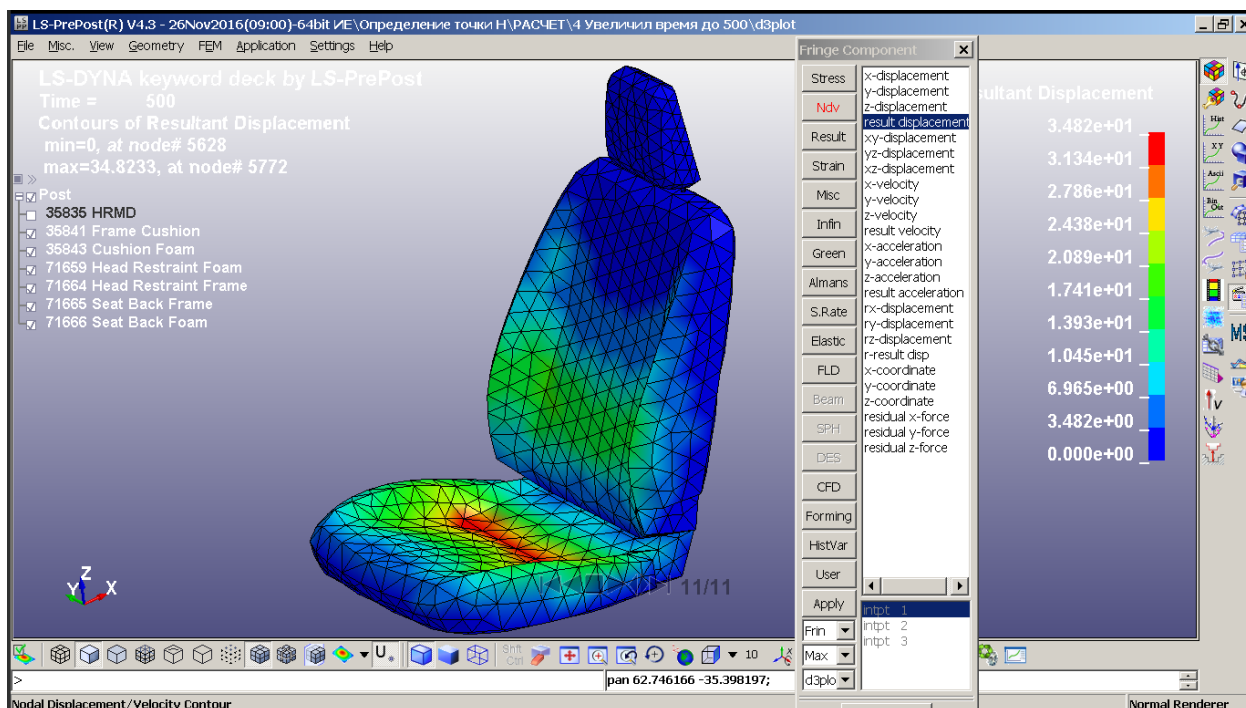


Рисунок 17 – Результирующие узловые перемещения набивки, мм

Таким образом, в результате данного испытания было произведено позиционирование манекена в корректное положение на сиденье автомобиля.

Полученные координаты в испытании составляют:

$$X=1265 \text{ мм} \quad Y=-330 \text{ мм} \quad Z=305 \text{ мм}$$

Данные координаты точки Н будут использоваться для позиционирования манекена на сиденье автомобиля.

Фиксирование деформаций и выводы по испытанию

С учетом сжатия набивки подушки сиденья, для облегчения расчетов необходимо выполнить процедуру продавливания набивки сиденья от веса манекена. Данная процедура представляет собой фиксирование и использование в дальнейшем положения набивки, измененное в результате давления от веса манекена, что в дальнейшем не вызывает необходимости пересчета положения набивки от статического давления манекена.

Для сохранения результатов используется функция экспортирования результата “Output” с использованием формата “Dynain ASCII”.

В результате испытания, получены следующие результаты:

- 1) получена деформация набивок сиденья для корректного позиционирования манекена на сиденье для испытаний;
- 2) получены целевые координаты точки Н для позиционирования манекена.

В процессе испытания было обнаружено, что полученных значений графика напряжение/деформация для набивки из натурного испытания оказалось недостаточно в виду больших нагрузок и кинетической энергии.

Для задания корректного поведения удара потребовалось ввести значения, превышающие натурные измерения до достижения удовлетворительной модели поведения набивки.

4 Методика проведение расчета испытания по методике EuroNCAP

Методика проведения испытания сиденья на основе EuroNCAP заключается в наборе сведений, которые необходимы для внедрения полученных сведений диссертации в процесс проектирования сиденья. На основе данной методики указывается описание и суть изменений с учетом внедрения сведений из работы диссертации в методике EuroNCAP.

Теоретически, практическое значение данная методика может иметь наибольшую эффективность в момент проектирования конструкции сиденья, когда происходит закладывание свойств сиденья и его характеристик. Данная методика хоть и усложняет процесс проектирования, но упрощает задачу выявления общей конструкции на необходимый уровень безопасности, что позволит значительно сократить затраты на переработку конструкции и получение максимальных баллов по оценке испытания EuroNCAP.

Данная методика представляет собой сокращенную и адаптированную в работе методику на основе испытаний EuroNCAP и не предполагает использования дополнительного оборудования, кроме компьютерных программных продуктов. Однако, следует отметить, что при непосредственной разработке сидений, реальные испытания необходимы для исключения ошибок в инженерных расчетах.

Для проведения испытания в соответствии с протоколом испытания EuroNCAP используется МКЭ модель манекена для краш-тестов BioRID II. Данный манекен является подходящим инструментом для разработки систем безопасности транспортных средств. Модель манекена BioRID II позволяет изучить параметры для улучшения подголовника и конструкции сидений.

Моделирование испытания по методике EuroNCAP производится на основе аппаратных средств, которые должны быть разработаны и подтверждены с точки зрения обеспечения реалистичными данными,

способными давать адекватную оценку во время проведения испытания. Для упрощения испытания и повышения его точности, полная система испытания должна быть разбита на подсистемы и компоненты.

Моделирование и имитация манекена, как и всего испытания, должна быть проведена на соответствие требованиям оценки EuroNCAP, а геометрия каждого компонента, подсистемы и полной системы получена с помощью комбинации методов CAD и CAE анализа.

Для проведения испытания должен быть использован краш тест-манекен BioRID-II манекен, применяемый для тестирования при заднем ударе для оценки подголовника. Для того, чтобы построить имитационную модель на основе Метода Конечных Элементов (МКЭ), необходимо определиться с получением всех необходимых исследуемых данных от оборудования.

На первом этапе по созданию виртуального испытания, необходимо взять геометрию манекена. На основе полученных данных о манекене в процессе создания виртуального окружения должна быть создана геометрическая сетка данных МКЭ. В качестве следующего шага, функциональные характеристики подборок должны быть проанализированы с помощью отдельных испытаний.

В случае BioRID II манекена, должны быть определены поведения различных элементов и особенно характеристики их материалов. В позвоночнике реального (не виртуального) манекена находится несколько предварительно напряженных элементов сделанных из гиперэластичного материала, поэтому, важно использовать не только поведение материала, но также и задавать правильное начальное условие для проведения испытания. Исходя из того что модель манекена BioRID II является загруженной конструкцией, то все установки, относящиеся к манекену загружаются в основную расчетную модель вместе с манекеном.

Методология проведения испытания

Весь процесс испытания делится на три основных этапа:

- 1) перевод геометрии в CAD данные;
- 2) наполнение расчетного файла исходными данными;
- 3) расчет модели.

Перевод геометрий данных САПР

Начало заполнения файла заключается в импортировании CAD данных (компьютерной 3D модели). В эти данные следует отнести математические модели сиденья и опоры для ног манекена.

Для обеспечения возможности позиционирования используется манекен в виде математической модели на основе реального манекена BioRID II, который может быть найден в виде бесплатного приложения в LS-Dyna.

Позиционирование манекена происходит с помощью приложения Dummies position, в котором возможно размещение манекена в необходимую координату, изменения наклона и положения ног, рук и остальных конечностей.

Помимо импортирования манекена и геометрии сиденья, в модель с помощью приложения Seatbelt Fitting в программе LS-Prepost производится обозначение точек крепления и установка ремней безопасности.

Наполнение расчетного файла исходными данными

Чтобы воспроизвести поведение манекена в МКЭ моделировании, необходимо определить характеристики материалов и его функциональные узлы. Прежде всего, должен быть охарактеризован материал, поэтому некоторые аппаратные тесты с различными материалами, такими как силиконовое туловище и конечности и бамперы позвоночника проводились на маятнике, используемом для идентификации динамического поведения

материалов при различных скоростях деформации и компонентах, таких как пружины на позвоночнике были протестированы в отношении их поведения.

Материал сиденья задается свойства стали, который задается для деталей каркаса сиденья, для опоры для ног задается материал недеформируемый rigid.

Для всего сиденья и опоры для ног задается движение исходя из определяющей кривой по графику движения, определенного в карте испытания.

Для набивок сиденья задан материал эластичного пенополиуретана, со свойствами, которые соответствовали полученным оптимальным исследованиям, а так же стандартное среднее значение.

Для испытания задается контакт указывающий соприкосновение элементов, а так же указывается график движения сиденья, который соответствует импульсному движению в соответствии с указанием импульса по методике EuroNCAP. Конечный вид модели представлен на рисунке 18.

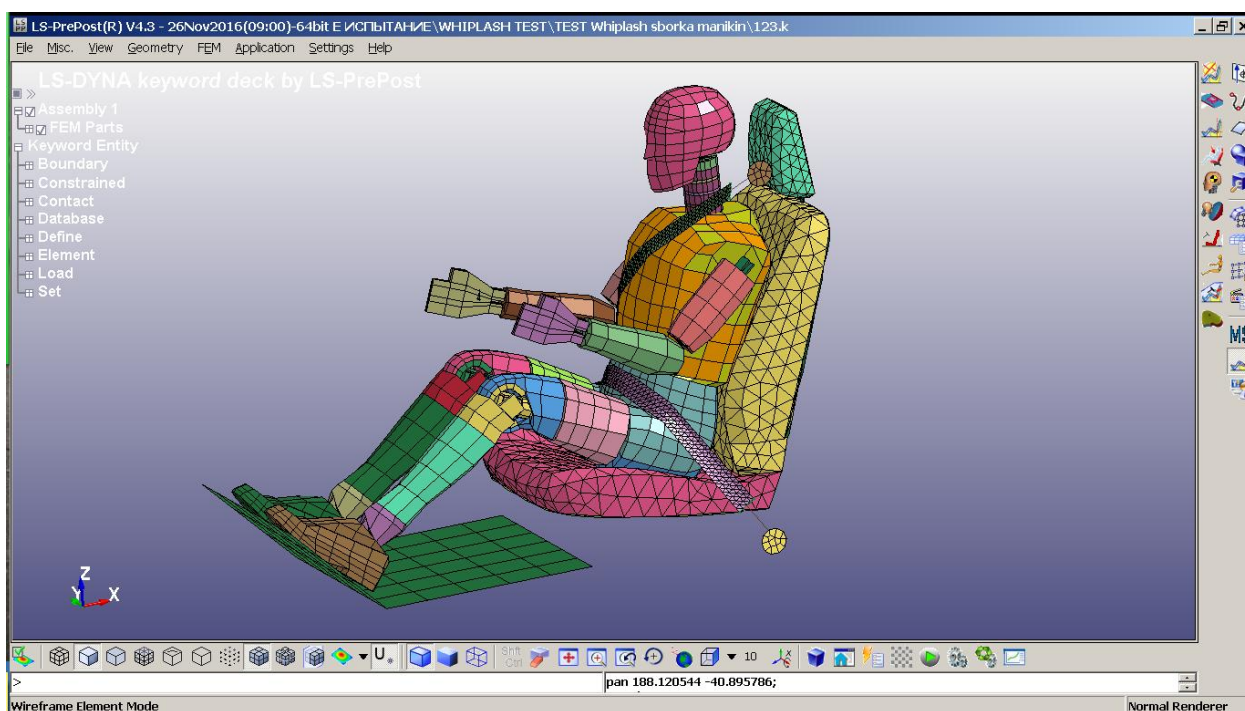


Рисунок 18 – Конечный вид элементов участвующих в испытании

Расчет модели

Для проверки манекена, должны быть проведены испытания на предписанный калибровочный тест одновременно с туловищем и автомобильного сиденья и всего манекена, где так же должно быть проведено численное моделирование. Оно должно показать в первоначальном испытании, что все данные имеют хорошее соответствие в сравнении с реальным манекеном.

Само по себе, необходимо чтобы BioRID II-манекен мог воспроизводить в построенном виртуальном окружении типичную кинематику движения настоящего человека, поэтому это само по себе является довольно сложной задачей, и в связи с этим, отдельно для манекена должно быть проведено следующее:

Для проверки модели на системном уровне по трем тестам должен быть выбран калибровочный тест, который назначают для калибровки манекена в назначенных условиях нагрузки.

Данные тесты представляют собой:

- 1) испытания хода туловища. Эти тесты должны проводиться с определенной конфигурацией, где должен быть подключен регулируемый подголовник. Ускорение должно быть ориентировано на трапеции в форме импульса процедуры EuroNCAP в отношении испытаний сидений;
- 2) ездые испытания с манекеном и всем сиденьем. Чтобы проверить поведение модели в реалистичном окружении, тестирование данных салазок включает в себя наличие целого манекена на сиденье.

В цель проекта входит использование МКЭ модели манекена основанного в электронном окружении, поэтому модель является соответствующей следующим требованиям:

- 1) геометрия модели должна быть соответствующей;
- 2) компоненты должны воспроизводить характеристики реальных данных;
- 3) динамическое поведение модели в целом должно воспроизвести поведение реальных данных;
- 4) в манекене BioRID II важно осуществить предварительное напряжение в подсистеме позвоночника, поэтому имитационные модели должны быть подготовлены для имитации предварительного напряжения шеи, подражая процессу сборки реального манекена.

Эти результаты должны быть использованы для создания модели для нахождения состояния равновесия.

Проверочные тесты на системном уровне

После этого должен быть построен процесс проверки на разных уровнях сложности данных моделей МКЭ с удовлетворением прогнозов по качеству по отношению к манекенам кинематики и критериям травмы.

Рассчитанный тип испытания должен коррелировать с экспериментальными результатами и должен показывать лучшие результаты по сравнению с результатами расчета сиденья использующего неоптимизированные параметры сиденья.

Величина пиков за весь период симуляции манекенов, должна соответствовать точности при повторных виртуальных испытаниях.

В целом сравнение моделирования и тестирования должно показать, что модель сможет воспроизвести динамическое поведение виртуального манекена удовлетворительным образом.

После расчета испытания, проводится анализ полученных данных, который указывает на то что результаты оптимизированных компонентов показывают лучший результат оценки риска получения хлыстовой травмы испытания по EuroNCAP.

Установка и позиционирование сиденья

Перед подготовкой к испытаниям предоставляются данные по базовой установке сиденья, где сиденье выставляется в положение точки Н для манекена 50% перцентиля со следующими координатами: $x=1265$; $y=-330$; $z=305$; Угол наклона спинки установлен со значением в 25 градусов.

Для точного воспроизведения пола автомобиля выбирается базовая точка конструкции сиденья в качестве центра отверстия передней левой наружной салазки с координатами: $x=1000$; $y=-555$; $z=110$; где требованием является фиксированность точки относительно всего автомобиля независимо от регулировки сиденья.

Наклонная опора для ног

Наклонная опора для ног представляет собой горизонтальную секцию для размещения ног манекена соединенная с секцией под углом в 45 градусов.

Зазор между передней поверхностью сиденья и задней поверхностью наклонной опоры для ног не должен превышать 100 мм.

Целевое положение поверхности для опоры ног определяется по точке опоры пятки, установленной на основании выполненных измерений по точке Н. В случае с сиденьем автомобиля 2190 и манекена 50 перцентиля, точка опоры пятки имеет координаты: $X=500$; $Y=-170$; $Z=0$.

Установка сиденья на салазки.

Сиденье с полом автомобиля, должно быть установлено в соответствии с позиционированием его в автомобиле, определенных на основе физических измерений. Наклонная опора при этом крепится к опоре.

Так как опоры сиденья должны быть жесткими и недеформируемыми, а сопряжение опоры и сиденья должно быть приближено к сопряжению с полом

автомобиля, то присутствие в компьютерной модели опор и их сопряжений необязательны в испытании.

Положение сиденья

В соответствии с тем, что в испытаниях используется Манекен BioRID, представляющий собой манекен взрослого мужчины среднего телосложения, для испытаний принимается манекен 50% перцентиля. Для испытаний положение сиденья устанавливается в среднее положение диапазона хода направляющей и среднее положение по высоте.

Регулировки, определяющие обеспечение установки сиденья 2190 представлены регулировкой продольного хода сиденья и регулировкой угла наклона спинки. Дополнительные способы регулировки, влияющие на изменение положения сиденья, отсутствуют.

Положение подголовника во время испытаний

В соответствии с протоколом EuroNCAP регулируемый подголовник с фиксацией регулировок выставляется в положение для испытаний, которое соответствует средней фиксированной позиции между крайним верхним и крайним нижним положением.

Под крайним нижним положением понимается опущенный подголовник ниже крайней фиксируемой позиции, а под крайним верхним положением понимается подголовник в крайней верхней фиксируемой позиции.

Конструкция подголовника сиденья 2190 имеющего обозначение 2190-6818010 имеет регулировку хода в трех фиксируемых положениях на расстоянии 16 мм. Подголовник изображен на рисунке 19.

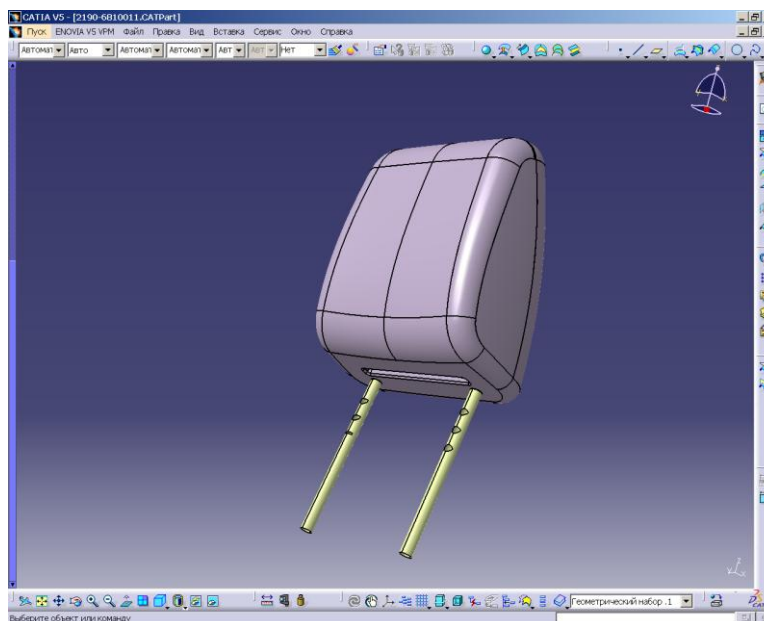


Рисунок 19 - Подголовник сиденья 2190

Подголовник имеет дополнительный ход в крайнее нижнее положение – При выходе из фиксируемого положения, подголовник возможно опустить еще ниже на 15 мм, до контакта обивки подголовника с пластиковыми направляющими подголовника. Измерение показано на рисунке 2 и составляет 15мм.

После нахождения хода подголовника и его крайних положений, становится возможным определить положение подголовника в среднем положении: 48мм ход подголовника + 15мм доп. ход до крайнего положения = 63мм.

Соответственно, для выставления подголовника в среднее положение необходимо выставить его на расстоянии 31.5 мм $63\text{мм}/2=31.5 \text{ мм}$.

Это означает что подголовник выставленный в крайней верхней фиксируемой позиции (соответствующему нижнему фиксируемому положению) находится на высоте $15+16=31 \text{ мм}$ т.е. нижнему фиксируемому положению подголовника, которому соответствует положение на рисунке 20, что соответствует среднему положению по высоте.

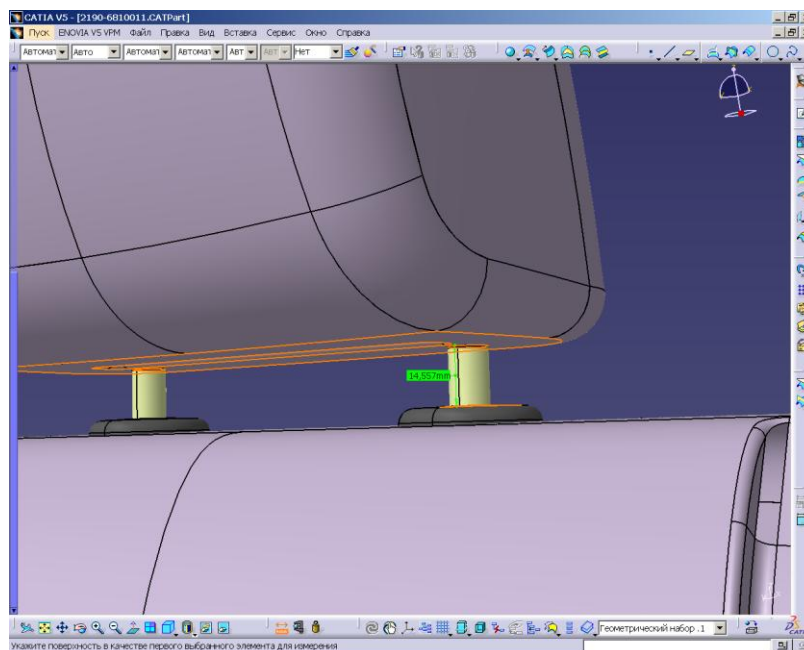


Рисунок 20 – Измерение расстояния до крайнего нижнего положения

Таким образом, с помощью CAD-системы CATIA V5, была определена геометрическая середина высоты подголовника и в результате всех требований по положению сиденья, создается математическая модель сиденья (смещенное в среднее положение) с опорой для ног.

Ремни безопасности

Во время испытания используется типовой трехточечный поясной/плечевой ремень безопасности, который должен быть перекинут через туловище, ключичный и тазовый отдел манекена.

Для возможности крепления ремней безопасности должны быть определены эффективные точки крепления ремней безопасности, которые представляют собой точки, не изменяющие своего положения.

Определив точки в системе координат, получаем следующие значения для размещения их в модели:

1) точка на замке сиденья

$X = 1300$; $Y = -80$; $Z = 210$;

2) точка нижней части боковой стойки кузова (Стойки В)

$X = 1430$; $Y = -640$; $Z = 90$;

3) точка верхней части боковой стойки кузова (Стойки В)

$X = 1500$; $Y = -580$; $Z = 920$.

В качестве требований к несущей конструкции крепления предполагается, что она должна быть жесткой и недеформируемой.

Измерение геометрии подголовника с помощью устройства HRMD

Согласно протоколу оценки Euro NCAP с целью оценки геометрических параметров, для расчета баллов за геометрию должно быть измерено:

1) расстояние от устройства замера до подголовника, с точностью до мм при первом контакте градуированной линейки с подголовником;

2) высота от верхней части подголовника до измерителя высоты.

Измерения производятся с помощью объемного механизма для определения точки Н, которое используется для измерения статической геометрии подголовника автомобиля.

Данное устройство оборудовано наконечником для измерения высоты подголовника и градуированной линейкой в задней части модели головы для измерения расстояния от затылка до подголовника.

Наконечник для измерения высоты дает горизонтальную проекцию, на уровне верхней части головы, чтобы обеспечить базисную линию для измерения по вертикали до верхней части подголовника.

Градированная линейка для измерения расстояния от затылка до подголовника моделирует задний профиль головы и шеи и дает горизонтальную проекцию, чтобы обеспечить измерение по горизонтали до подголовника. Математическая модель устройства HRMD представлена на рисунке 21.

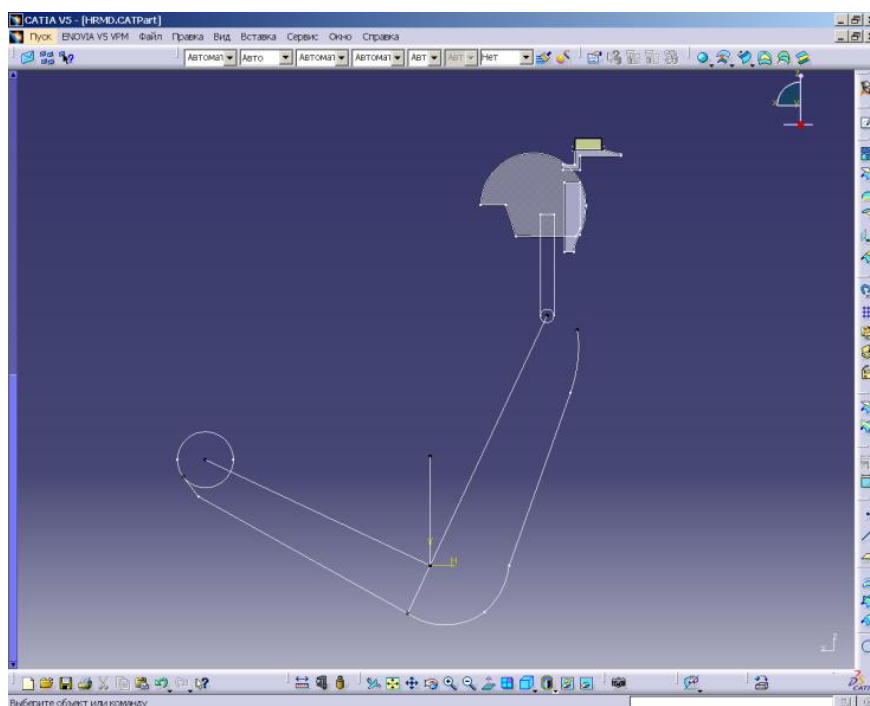


Рисунок 21 – Устройство для измерения геометрии HRMD представленное в математической модели

Измерение расстояния до подголовника

С целью оценки геометрических параметров, для расчета баллов EuroNCAP, необходимо произвести измерения геометрических параметров подголовника, которые являются одним из основных параметров определяющих безопасность подголовника. Высокая степень важности уровня высоты подголовника объясняется тем, что положение головы и верхней части позвоночника высоких людей может при заднем столкновении привести к серьезным травмам и их усугублению, если подголовник окажется ниже запрокидываемой части головы.

Здесь необходимо так же отметить, что с точки зрения международных правил ЕЭК ООН №17 Высота положения подголовника ограничена и составляет в среднем положении подголовника 800 мм от точки Н, определенному по углу наклона спинки сиденья, поэтому производитель обязан соответствовать минимальным требованиям.

Перед измерением геометрических параметров подголовника необходимо убедиться в том, что сиденье выставлено в соответствии с требованиями протокола, устройство для измерения геометрии подголовника HRMD корректно выставлено и что подголовник установлен в правильное положение в соответствии с пунктом 2.4.

После этого устройство HRMD устанавливается на сиденье в соответствии с положением точки Н, установленное устройство показано на рисунке 22.

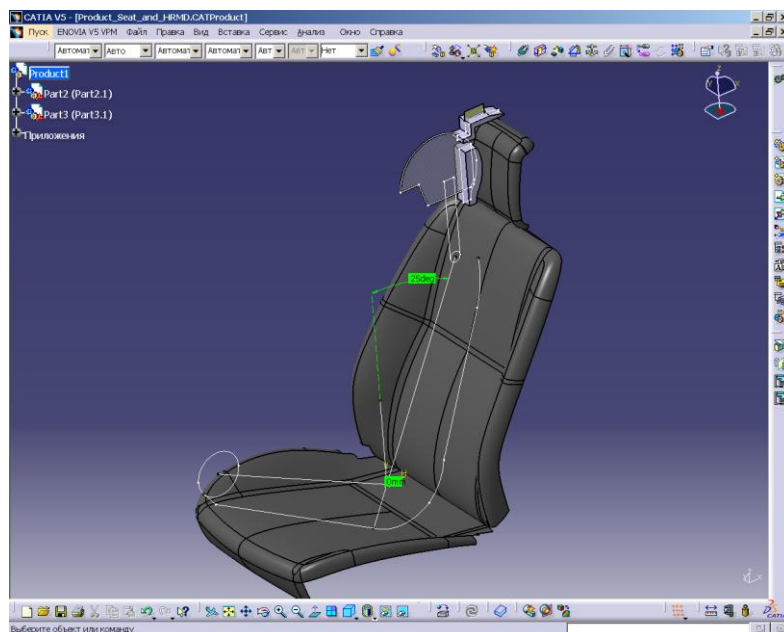


Рисунок 22 – Размещение устройства HRMD на сиденье 2190

Для оценки геометрии подголовника необходимо произвести следующие действия:

1) измеряется расстояние от устройства HRMD до подголовника с точностью до миллиметра, при первом контакте градуированной линейки с подголовником. Результат измерения равен 37 мм и указан на рисунке 23;

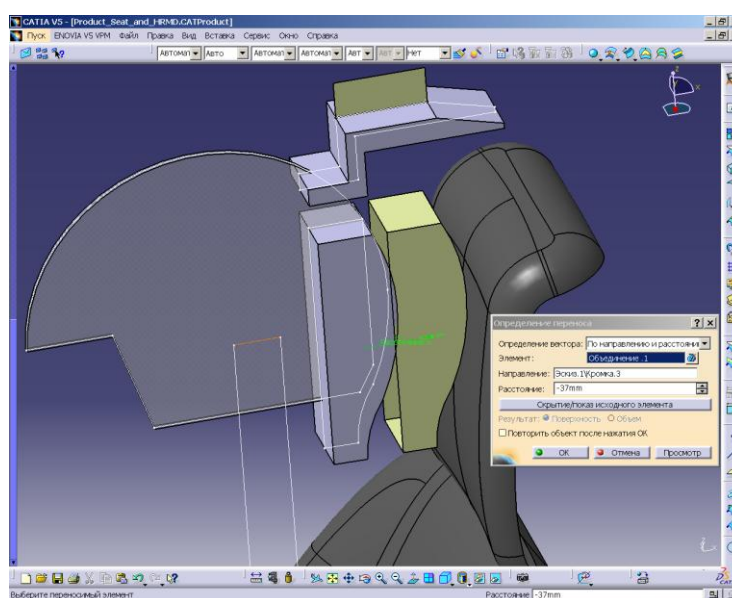


Рисунок 23 – Измерение горизонтального расстояния.

2) измеряется высота от верхней части подголовника до измерителя высоты. Результат измерения равно 53мм и указан на рисунке 24.

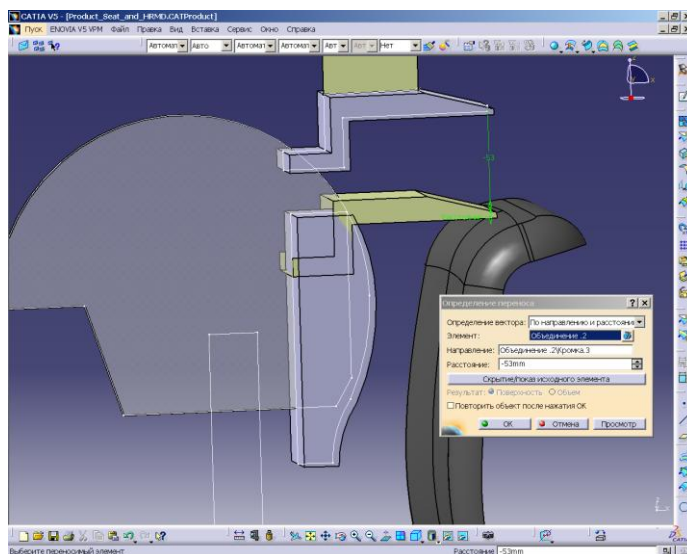


Рисунок 24 – Измерение горизонтального расстояния

3) подголовник опускается в крайнее нижнее положение и с помощью линеек измерьте расстояние от HRMD и высоту с точностью до миллиметра для оценки наиболее худшего положения подголовника. Для этого необходимо опустить подголовник на 15 мм вдоль оси движения подголовника, т.е. вдоль стоек. В результате измерения получаем горизонтальное расстояние в 36 мм, и вертикальное расстояние в 66мм, указанные на рисунках 25 и 26.

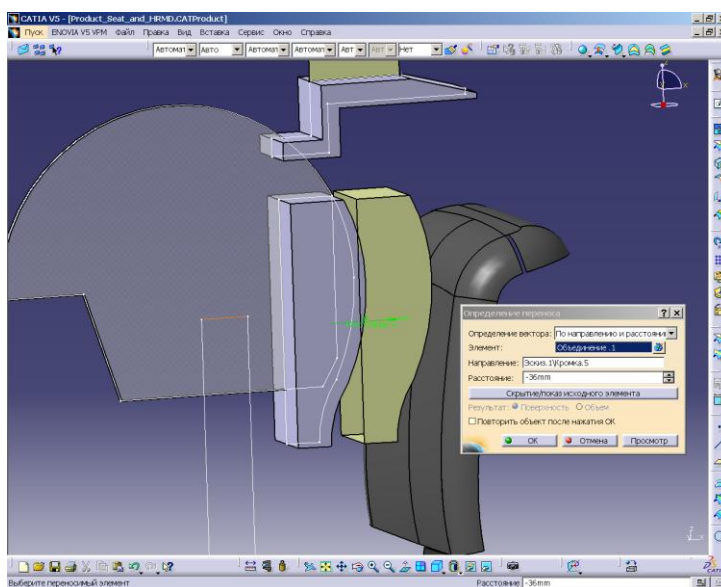


Рисунок 25 – Измерение горизонтального расстояния

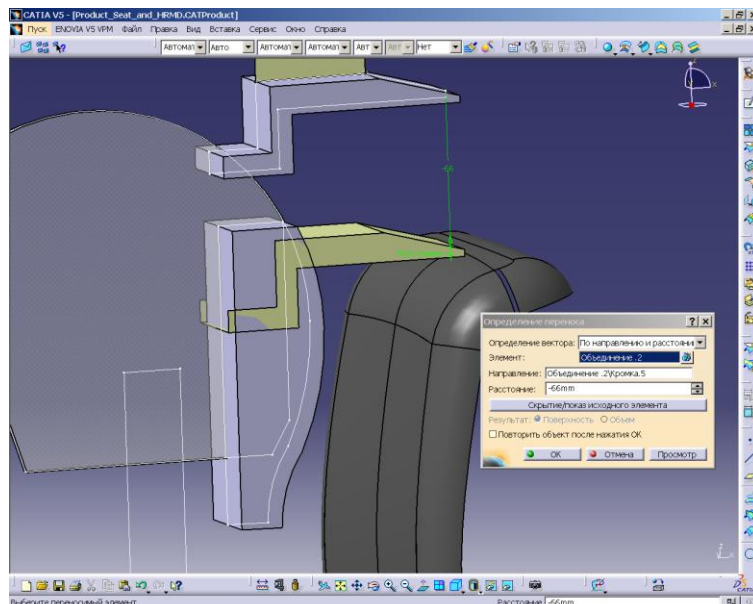


Рисунок 26 – Измерение вертикального расстояния

Результаты испытания оцениваются в соответствии с рисунком 27.

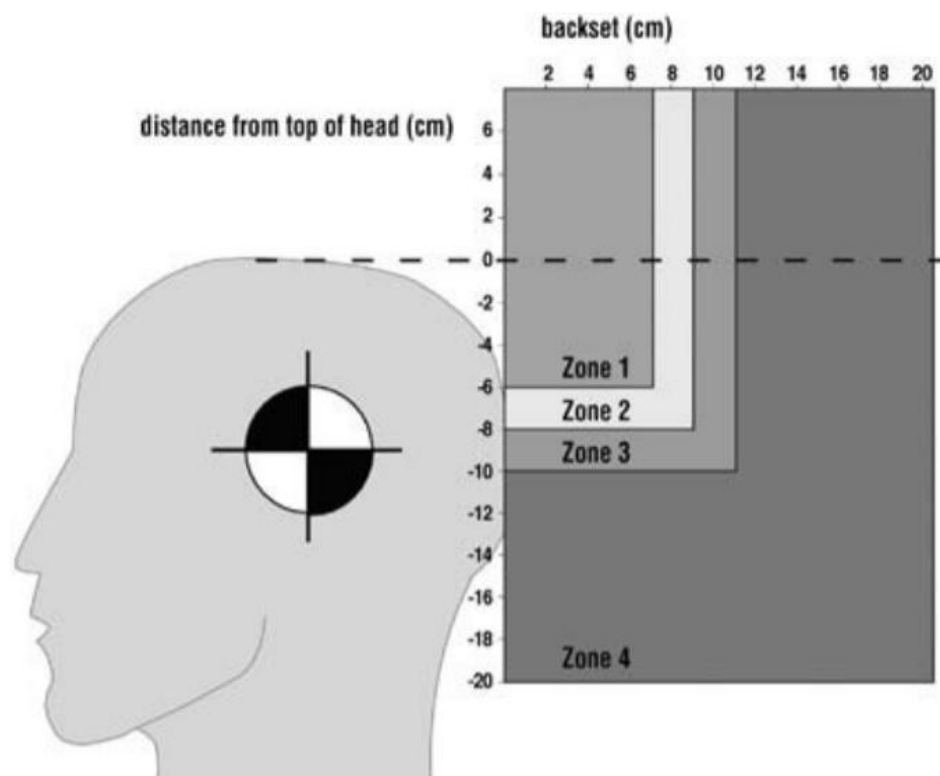


Рисунок 27 – Оценка статических замеров подголовника.

По результатам испытания, за статическую оценку сиденье набирает 1.5 балла

Позиционирование манекена BioRID

В соответствии с данным разделом производится размещение манекена BioRID на предустановленном сиденье, на него надевается ремень безопасности.

Для обеспечения возможности размещения манекена BioRID, необходимо преобразовать CAD-модель в формат IGES и импортировать ее в программном продукте LS-PrePost V3.2.

Манекен BioRID, получен с ресурса LSTC.com. доступ к данным файлам предоставлен Тольяттинским Государственным Университетом; Позиционирование манекена, представляющий собой к-файл, производится через программный продукт LS-PrePost V3.2.

Динамические испытания

Динамическое испытание предназначено для моделирования типичного заднего столкновения, в котором ударяемый в заднюю часть автомобиль сначала стоит на месте или движется вперед с очень малой скоростью. Поэтому для данных испытаний рекомендуется использовать салазки ускорения с манекеном, сидящим лицом по направлению движения.

Динамические характеристики, отработка удара и анализ полученных результатов проверяются путем создания упрощенной установки где размещен позвоночник, торс и голова манекена на мини-салазках, которые ударяются ударником.

Для подтверждения соответствия объектов испытания и соответствия их протоколу проведения динамического испытания по методике EuroNCAP, к испытанию предъявляются требования, которых необходимо придерживаться во время измерения и оценки испытания.

Требования к сбору и обработке данных

Результаты измерений принимаются во внимание для оценки до момента времени, в который голова отскакивает от подголовника, или на 300-сотой миллисекунде после $T=0$ (в зависимости от того, что произойдет сначала).

До начала испытаний должна быть выполнена коррекция нуля, где нуль (ускорение/усилие/моменты) определяется средним значением параметра в статическом режиме до ввода коррекции по времени. Эти данные должны записываться в течение значительного времени до $T=0$ так, чтобы фаза ускорения/замедления салазок была исключена.

Требования к испытательным салазкам

Чтобы согласовать разные типы салазок и различные взаимозависимости между движением салазок и записью данных испытания, время испытания индексируется в соответствии с приложением IV. Торможение салазок не должно происходить раньше 300-той миллисекунды, начиная с $T=0$.

Требования к позиционированию BioRID при испытаниях с использованием салазок замедления

Голова манекена, позвонок T1 и салазки должны иметь одинаковую скорость ± 0.1 м/с при $T=0$.

В качестве первоначальной схемы испытания при $T=0$ затылок манекена и позвонок T1 должны находиться в одинаковом положении (± 5 мм) относительно подголовника.

Индексирование времени испытания. Чтобы упорядочить индексы времени в лабораторных протоколах испытаний салазок с различными уровнями запуска $T=0$, необходимо использовать методику индексирования, приведенную в приложении IV.

Импульс ускорения. Контрольные значения ускорений и ударные спецификации приведены в пункте 10. Ускорения салазок измеряются соответствующим акселерометром, установленном на платформе салазок.

Полученные данные записываются в соответствии с методическими рекомендациями стандарта SAE J211 – Измерительное оборудование для ударного испытания.

Прежде чем установить соответствие импульса ускорения техническим требованиям, необходимо вычесть из результата измерения ускорения любое смещение сигнала в статическом режиме, а все данные отфильтровать.

4.1 Динамическая оценка хлыстовой травмы шеи

В динамической оценке участвует восемь параметров, которые определяются по показаниям датчиков манекена с использованием контрольных точек на объекте испытания.

- 1) период контакта с подголовником (T-HRC (начало), T-HRC (конец)),
- 2) ускорение T1 по оси X (“T1”),
- 3) перерезывающее усилие (“Fx”) в верхнем участке шеи,
- 4) растягивающее усилие (“Fz”) в верхнем участке шеи,
- 5) Скорость обратного хода головы,
- 6) Критерий травмирования шеи (NIC),
- 7) Критерий Nkm
- 8) Отклонение спинки сиденья в динамике

Начисление баллов для каждого конструктивного параметра проводится с применением скользящей шкалы, в которой имеется два предельных значения. Лучший показатель с высокими требованиями, выше которого присваивается максимальное количество баллов, и худший показатель с низкими требованиями, ниже которого не присваивается ни одного балла.

Если значение находится между двумя пределами, итоговое количество баллов рассчитывается при помощи линейной интерполяции. Максимальная оценка для каждого параметра – 0,5 балла, для каждого испытания максимально возможное количество баллов – 3. Сумма по итогам трех испытаний может составлять 9 баллов. Максимально возможное количество баллов в результате проведения трех испытаний с различными импульсами и проверки геометрии равно 11 баллам – 4 балла в пересчете

Критерии оценки хлыстовой травмы шеи

После проведения испытания, производится оценка полученных результатов на основании оценивающих параметров. Оценка производится исходя из требований в виде критерия в каждом виде испытания, где указаны нижний, верхний пределы и предел обнуления. Критерий импульса высокой степени тяжести представлен на рисунке 28.

Критерий	Единицы	Нижний предел	Верхний предел	Предел обнуления	Максимальное количество очков
Время начала контакта головы с подголовником (T-HRC)	мс	53	80	92	Лучший результат 0,5
Ускорение T1 по оси X (T1)	g	12,50	15,90	17,80	
Перерезывающее усилие (Fx) в верхнем участке шеи	H	30	210	364	0,5
Растягивающее усилие (Fz) в верхнем участке шеи	H	470	770	1024	0,5
Скорость отскока головы (V)	м/с	4,1	5,5	6,0	0,5
Критерий травмирования шеи (NIC)		13,00	23,00	25,50	0,5
Критерий Nkm		0,22	0,47	0,78	0,5
Отклонение спинки сиденья в динамике	°	32°			Не начисляются

Рисунок 28 – Критерии оценки для импульса высокой степени тяжести

Следует отметить, что исходя из оценки сиденья на ранней стадии проектирования сиденья, критерий отклонения спинки сиденья не учитывается, поэтому, в случае с диссертационной работой, оценка производится по 7 параметрам.

Период контакта с подголовником

T-HRC (начало) , T-HRC (конец)

Период контакта с подголовником должен быть установлен с помощью специального метода с использованием контактного переключателя на поверхности подголовника и задней части свода черепа антропометрического манекена.

Период контакта с подголовником T-HRC (начало) это момент (рассчитанный от $T=0$) первого контакта задней поверхности головы манекена и подголовника, при этом продолжительность непрерывного контакта составляет более 40 мс. При оценке время T-HRC округляется до ближайшей миллисекунды.

Незначительные перерывы в период контакта с подголовником (до 1мс) допускаются, однако данный факт должен быть отслежен, чтобы удостовериться, что перерывы в контакте не являются следствием таких биомеханических явлений, как наклон манекена, деформация подголовника или спинки сиденья или обратный ход головы во время неструктурного контакта с подголовником.

Для определения следующих критериев также должен быть установлен момент окончания контактакта с подголовником T-HRC (конец), который определяется как момент времени, когда голова манекена впервые теряет контакт с подголовником на этапе обратного хода, при этом продолжительность разрыва контакта составляет более 40 мс.

Данный параметр получается исходя из данных файла `gsforc`, где сохраняются результаты работы команды
*CONTACT_FORCE_TRANSDUCER_PENALTY. Результаты испытания показаны на рисунке 29.

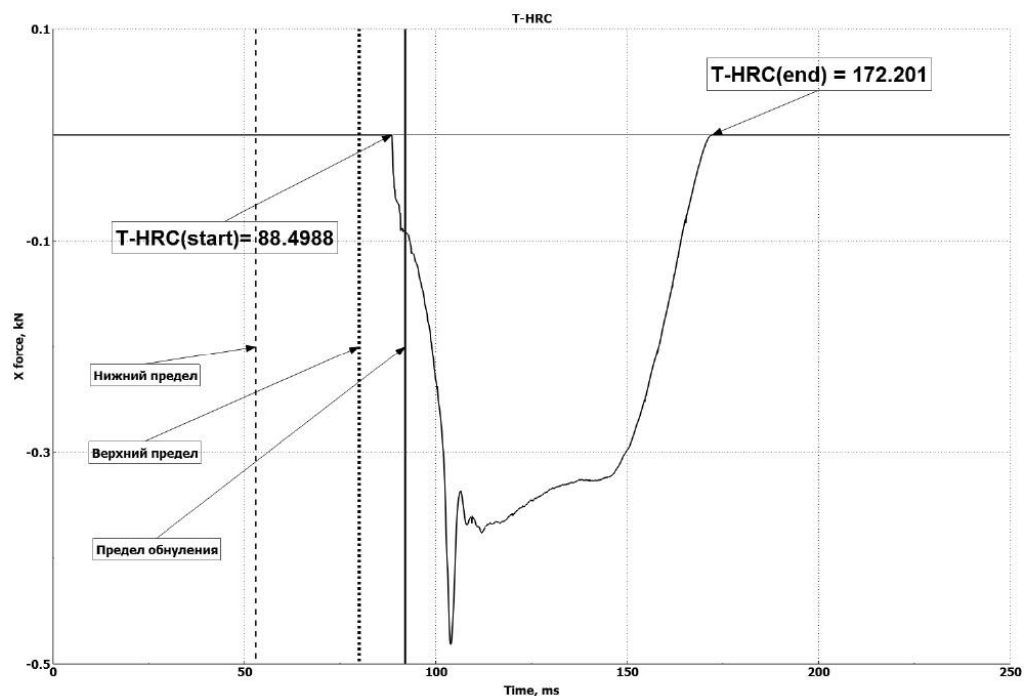


Рисунок 29 – График T-HRC

В рассатриваемом примере контакт головы с подголовником наступил на 88 мс и завершился на 172 мс. Это означает что непрерывный контакт головы с подголовником длился 84 мс. Исходя из превышения требования не более 80 мс, по этому критерию получено 0 баллов.

Ускорение T1 по оси X

Манекен BioRID оснащен парой акселерометров, расположенных на первом грудном позвонке (T1), по одному с каждой стороны от датчика нагрузки нижнего шейного отдела. Каналы снимаемых данных должны фильтроваться на 60 классе частотных характеристик (CFC), как это определено в стандарте SAE J211. Затем из двух отфильтрованных сигналов должен быть получен средний канал T1 (t), в соответствии со следующей формулой:

$$T1(t) = \frac{T1_{left}(t) + T1_{right}(t)}{2}, \quad (2)$$

Где $T1_{left}(t)$ = канал ускорения, измеренный левым акселерометром T1,

$T1_{right}(t)$ = канал ускорения, измеренный правым акселерометром T1.

Из этого среднего канала T1 должна быть получена максимальная величина (T1max), с учетом только части данных от T=0 до T-HRC (конец), в соответствии с формулой:

$$T1_{max} = \text{Max} [T1(t)], \quad (3)$$

$T\text{-HRC(конец)}.$

В соответствии с протоколом, для получения используются данные в нижнем отделе шеи. Данные этих узлов расположены в файле nodout. При загрузке ускорения в направлении оси – X и проведении фильтрации фильтром CFC 60.

В данном ускорении ось ординат измеряется в мм/мс², а ось абсцисс в мс, что соответствует времени. После фильтрации получаем график ускорения исследуемых узлов, который изображен на рисунке 30.

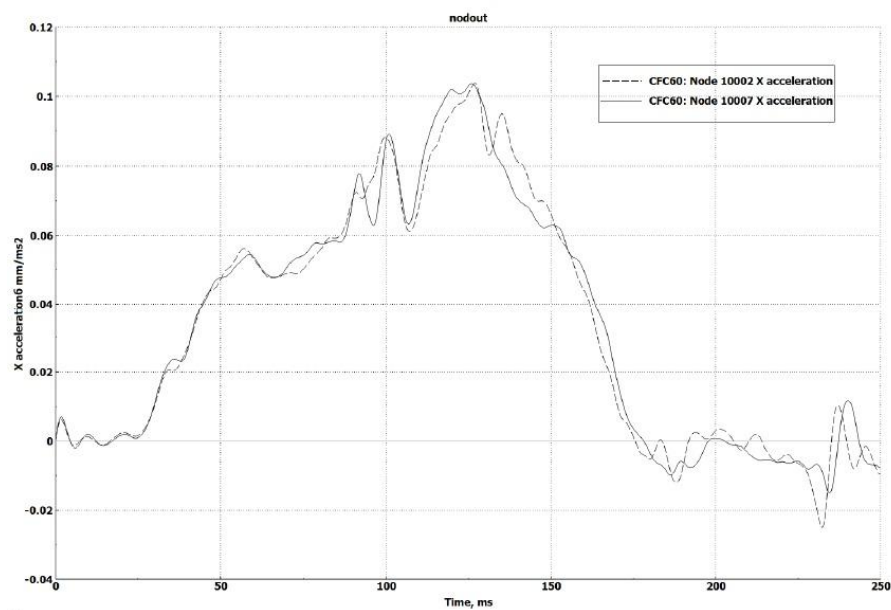


Рисунок 30 – Графики ускорений исследуемых узлов после фильтрации

После получения отфильтрованного графика, значения параметра ускорения T1, получается с помощью построения средней кривой и конвертирования единицы измерения оси координат из мм/мс² в g. Полученный график изображен на рисунке 31.

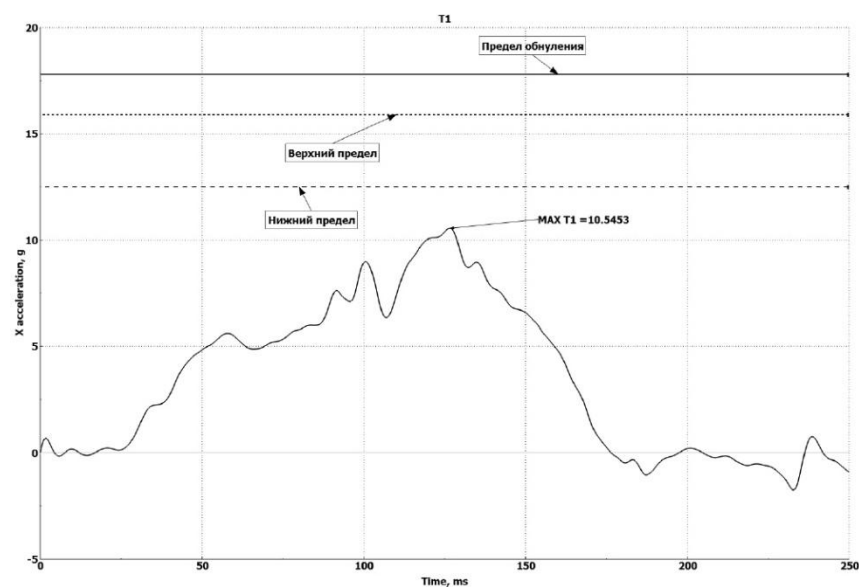


Рисунок 31 – График ускорения T1

Исходя из данного графика максимальное ускорение T1 равно 10,55g, что дает 0,5 очков по данному критерию.

Перерезывающее усилие (“F_x”) и растягивающее усилие (“F_z”) в верхнем участке шеи

Датчик нагрузки, расположенный на верхнем участке шеи манекена BioRID, регистрирует и перерезывающее усилие, и растягивающее усилие. Если измерительная аппаратура настроена в соответствии со стандартом SAE J211, положительное перерезывающее усилие должно соотноситься с движением <<в обратном направлении от головы>>, а положительное растягивающее усилие должно соотноситься с растяжением головы вверх, создавая при этом растягивающее усилие в шее. Сначала оба канала F_x и F_z должны быть отфильтрованы на 1000 классе частотных характеристик. Затем для каждого усилия следует определить пиковые значения F_x max и F_z max, принимая во внимание только часть данных от T=0 до T-HRC(конец), по следующим формулам:

$$F_{x\max} = \text{Max} [F_x(t)] \text{ } T\text{-HRC(конец)} \quad (4)$$

$$F_{z\max} = \text{Max} [F_z(t)] \text{ } T\text{-HRC(конец)} \quad (5)$$

Данные критерии снимаются с датчика, находящегося в голове манекена представляющий собой балочный элемент. График перерезывающего усилия представлен на рисунке 32. График растягивающего усилия представлен на рисунке 33.

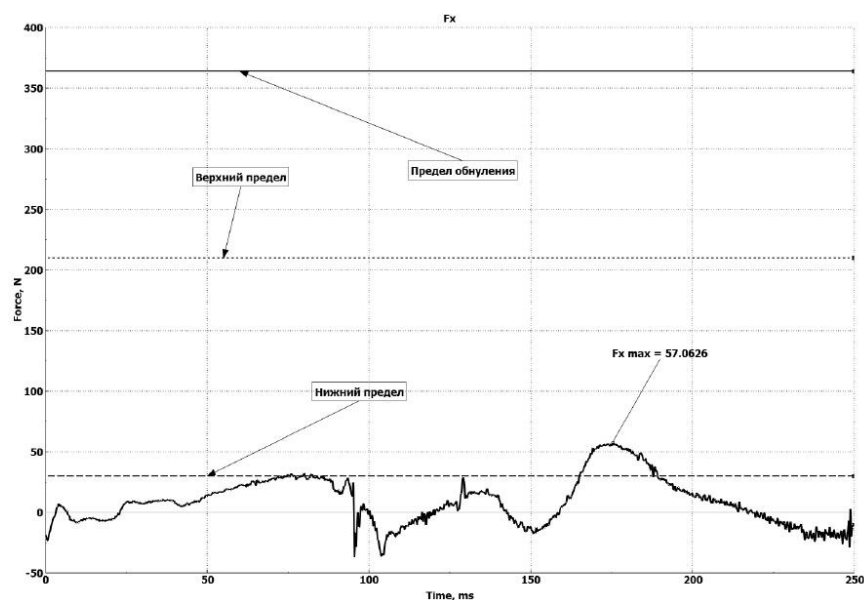


Рисунок 32 - График перерезывающего усилия

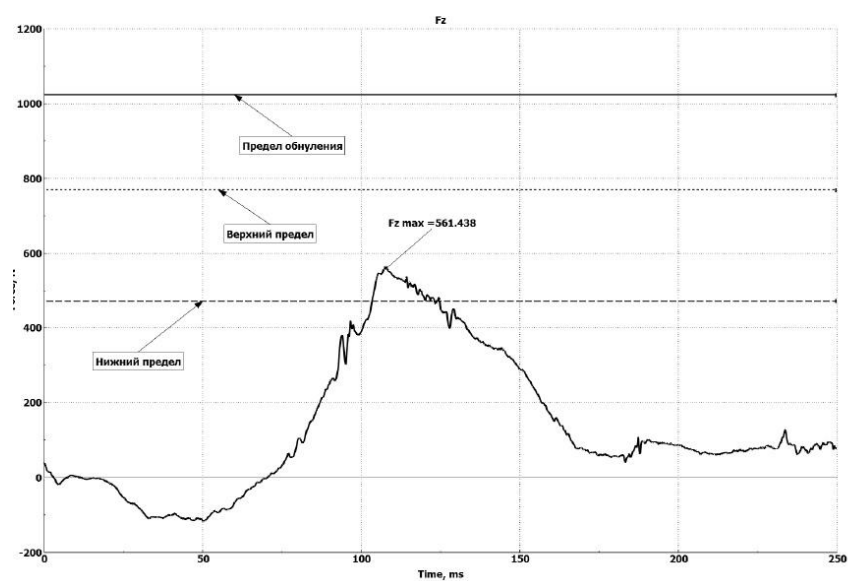


Рисунок 33 – График растягивающего усилия

Как видно из данных рисунков, максимальное перерезывающее усилие равно 57 Н что является в обоих случаях ниже , максимальное растягивающее усилие равно 561 Н. В обоих случаях значение больше нижнего, но меньше верхнего предела, поэтому после перерасчета, получаем 0,425 балла для перерезывающего и 0,347 балла для растягивающего.

Скорость обратного хода головы

Скорость обратного хода головы (в горизонтальном направлении, или в направлении оси X) должна определяться путем отслеживания цели.

Определение скорости обратного хода головы происходит в соответствии с пунктом протокола, где скорость обратного хода головы является разностью мгновенной скорости центра головы и мгновенной абсолютной скорости салазок. Исходя из этого, первоначально строятся графики скорости салазок и скорости отскока головы из данных podout.

Точки вывода скоростей представлены на рисунке 34, где N100000 координата головы, а N1000000 координата салазок.

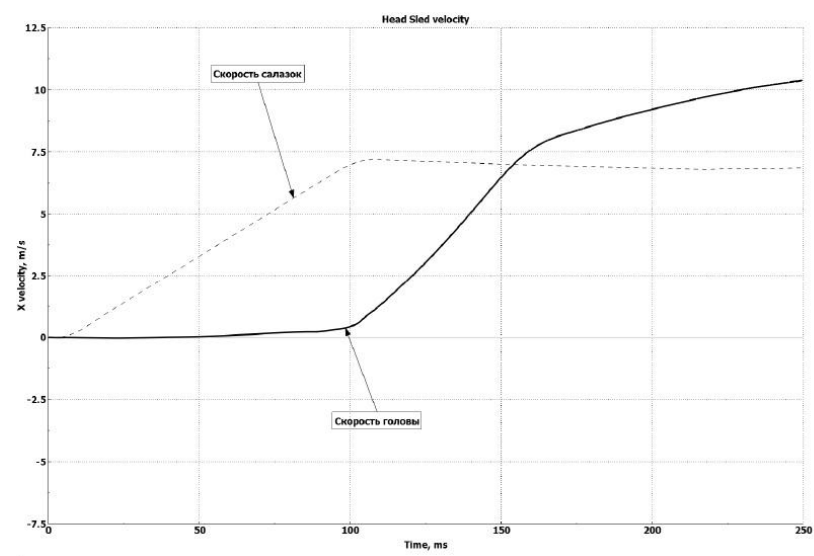


Рисунок 34- Графики скорости головы и салазок

После команды вычитания (subtract) строится график скорости обратного хода головы, который изображен на рисунке 35. Как видно из этого графика, максимальная скорость равна 3,5 м/с, что оценивается 0,5 баллам по данному критерию.

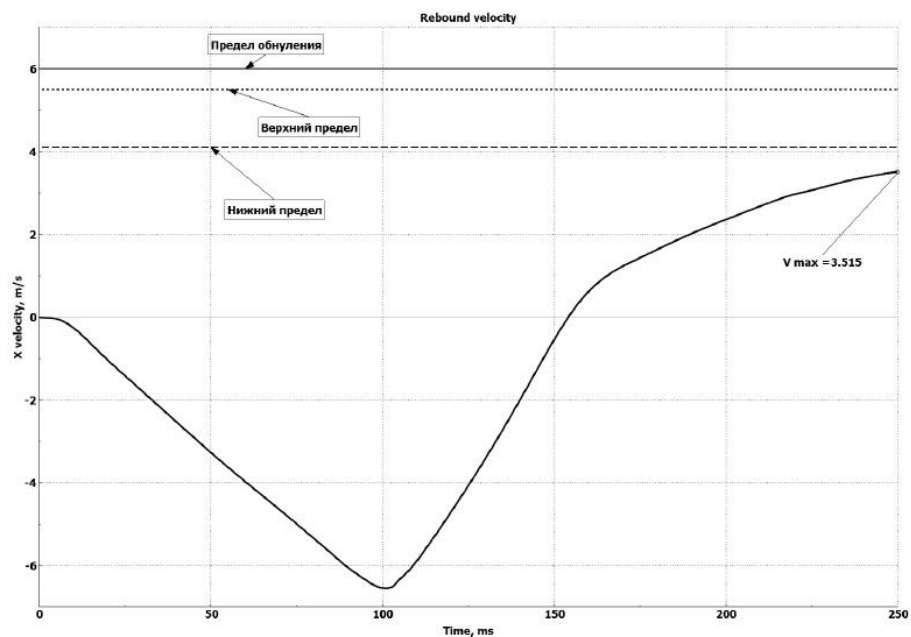


Рисунок 35- График скорости обратного хода головы

Критерий травмирования шеи (NIC)

Критерий травмирования шеи (Neck Injury Criterion) базируется на относительном горизонтальном ускорении и скорости затылочного сустава относительно T1. Для расчета NIC необходимы два канала данных: ускорение головы по оси X и среднее ускорение T1 по оси X.

Каждый канал сначала должен быть преобразован из “g” в “м/с²”, а ускорение головы по оси X отфильтровано на 60 классе частотных характеристик. Канал среднего ускорения T1 по оси X, (рассчитанного ранее) является результатом объединения двух каналов, отфильтрованных на 60 классе частотных характеристик и производится расчет данного среднего канала.

“Относительное ускорение по оси X” (γ^{OTH}_x) между головой и T1 находится путем вычитания значения “Ускорения головы по оси X” (γ^{OTH}_x) из значения “Ускорения T1 по оси X” (γ^{T1}_x).

Данный канал рассчитывается следующим образом:

$$\gamma^{OTH}_x = \gamma^{T1}_x - \gamma^{ГОЛ}_x \quad (6)$$

Относительная скорости по оси X'' (V^{OTH}_x) между головой и T1 вычисляется путем интегрирования канала относительного ускорения по отношению ко времени по следующей формуле:

$$\gamma^{OTH}_x(t) = \int \gamma^{OTH}_x \quad (7)$$

Затем рассчитывается канал NIC, как сумма значения относительного ускорения, умноженного на 0.2, и квадрата относительной скорости. Расчет производится по следующей формуле:

$$NIC(t) = 0.2 * \gamma_{отн\ x}(t) + [V_{отн\ x}(t)]^2 \quad (8)$$

Из данной траектории находится максимальное итоговое значение NIC (NICmax), при этом учитывается только часть данных от T=0 до T-HRC(конец). Расчет производится по следующей формуле:

$$NIC_{max} = Max[NIC(t)] \quad (9)$$

$$T-HRC(конец)$$

Необходимо зарегистрировать данное максимальное значение и момент времени, в который оно достигнуто.

Для расчта NIC необходимы следующие каналы данных: скорость головы по оси X и среднее ускорение T1 по оси X.

Вычисляем относительное ускорение которое является разностью между ускорением головы и ускорением T1 по оси X. Единицы измерения переводятся в м/с². Полученный график изображен на рисунке 36.

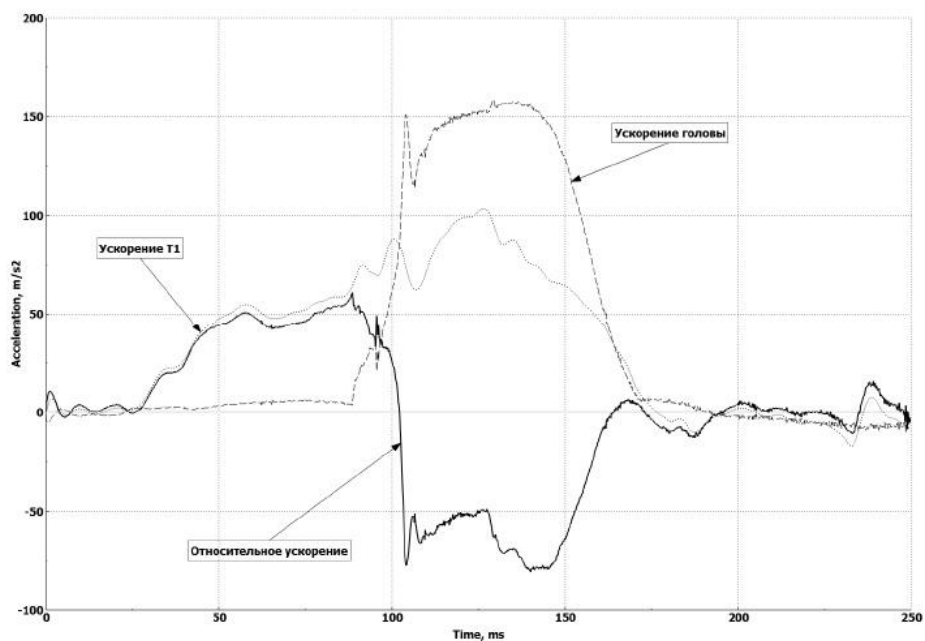


Рисунок 36 – Графики ускорения головы, T1
относительного ускорения по оси X

Аналогично получается график скоростей головы и T1, который изображен на рисунке 37.

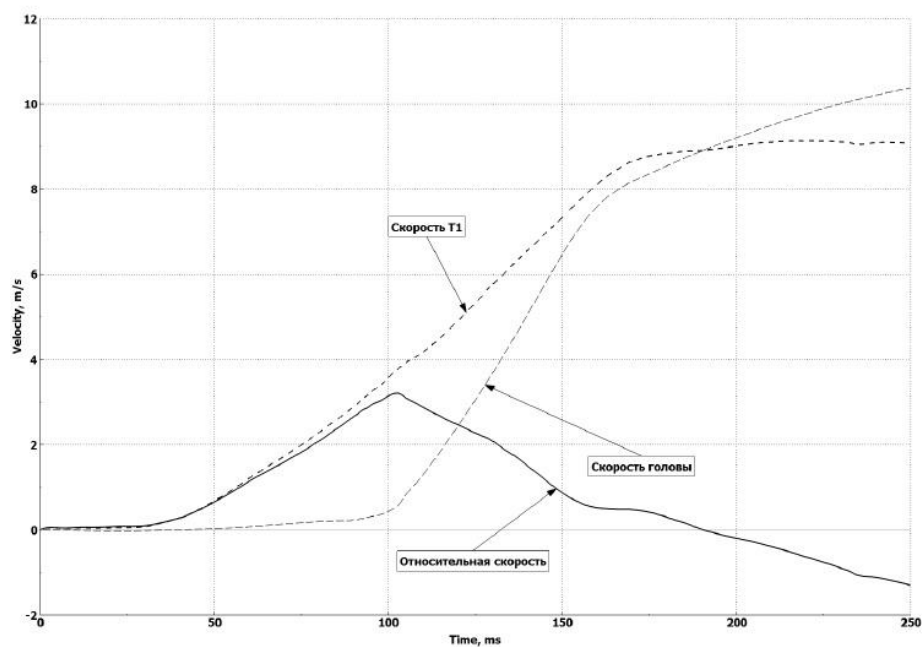


Рисунок 37 – Графики скоростей головы, T1
и относительной скорости по оси X

После этого рассчитывается канал NIS, как сумма значения относительного ускорения, умноженного на 0,2 и квадрата относительной скорости для нахождения его максимального значения.

После расчета $NIS = 17,8$, что равняется 0,26 очка.

Аналогичные действия проводятся для испытаний среднего и низкого импульса тяжести. Полученные очки суммируются и прибавляются к результатам статических испытаний.

Максимально возможное количество очков по сумме всех испытаний равно 11. После этого набранные очки преобразуются в баллы, которые являются финальным счетом по результатам испытания на оценку травмируемости шеи от заднего столкновения.

Расчет критерия N_{km}

Представленное определение критерия базируется на на сумме изгибающего момента и перерезывающего усилия в шее, с учетом критических отсекаемых значений для нагрузки и момента. Для расчета данного критерия требуется два канала: усилие в верхнем участке шеи $Fx^{верхн}$, выраженное в (Н), и момент $M_y^{верхн}$, выраженный в (Н·м). Оба полученных канала отфильтровываются по SFC 600, усилия переводятся из кН в Н. Графики усилия и момента изображены на рисунке 38.

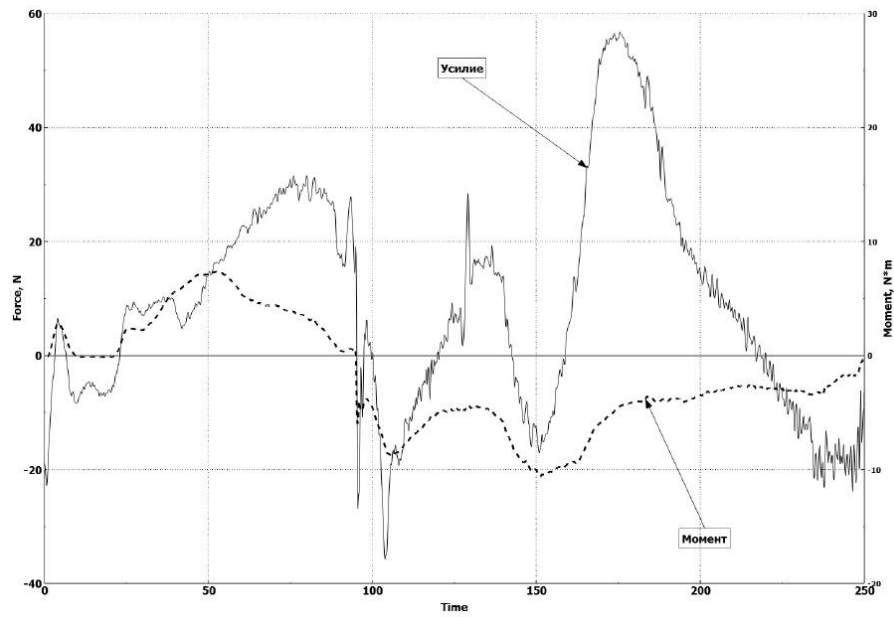


Рисунок 38 – График изгибающего момента и перерезывающего усилия в шее.

На основе полученных графиков строятся графики F_x и F_{xp} на базе канала усилия $F^{верхн}$ и M_{yf} M_{ye} на базе канала момента $M_y^{верхн}$. Каждый из новых каналов должен включать в себя только выбранные положительные или отрицательные части соответствующих каналов F_x или M_y . При этом все базовые координаты заменяются на нуль или нулевое значение.

Канал F_{xa} включает только положительную часть канала усилия $F_x^{верхн}$:

$$\text{Если } F_x^{верхн}(t) > 0, \text{ то } F_{xa}(t) = F_x^{верхн}(t), \text{ или } F_{xa}(t) = 0 \quad (10)$$

Канал F_{xp} включает только отрицательную часть канала усилия $F_x^{верхн}$:

$$\text{Если } F_x^{верхн}(t) < 0, \text{ то } F_{xp}(t) = F_x^{верхн}(t), \text{ или } F_{xp}(t) = 0 \quad (11)$$

Канал M_{yf} включает только положительную часть канала момента M_y^{OC} :

$$\text{Если } M_y^{OC}(t) > 0, \text{ то } M_{yf}(t) = M_y^{OC}(t), \text{ или } M_{yf}(t) = 0 \quad (12)$$

Канал M_{ye} включает только отрицательную часть канала момента M_y^{OC} :

$$\text{Если } M_y^{OC}(t) < 0, \text{ то } M_{ye}(t) = M_y^{OC}(t), \text{ или } M_{ye}(t) = 0 \quad (13)$$

Для построения графиков, используется функция `if(,,)` со следующим синтаксисом: `if (условие, выполнить если условие истинно, выполнить если условие ложно)`. Пример построения кривой указан на рисунке 39.

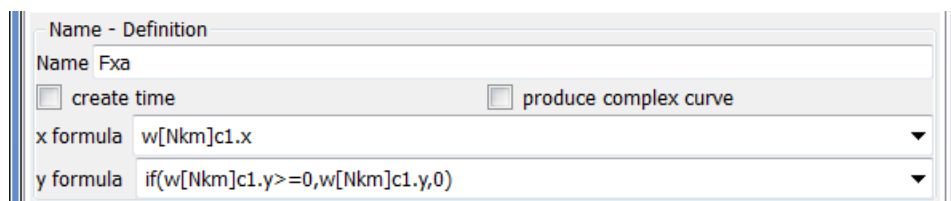


Рисунок 39– Построение графика Fxa в постпроцессоре Meta

Следующим этапом идет построение на основе полученных функций:

- 1) Nер (Растяжение шеи назад), 2) Nea (Растяжение шеи вперед) и
- 3) Nfr (Прогиб шеи назад)

На основе данных графиков осуществляется определения максимальных значений и происходит построение графика Nkm, максимум которого и является контролируемым критерием. График Nkm изображен на рисунке 40.

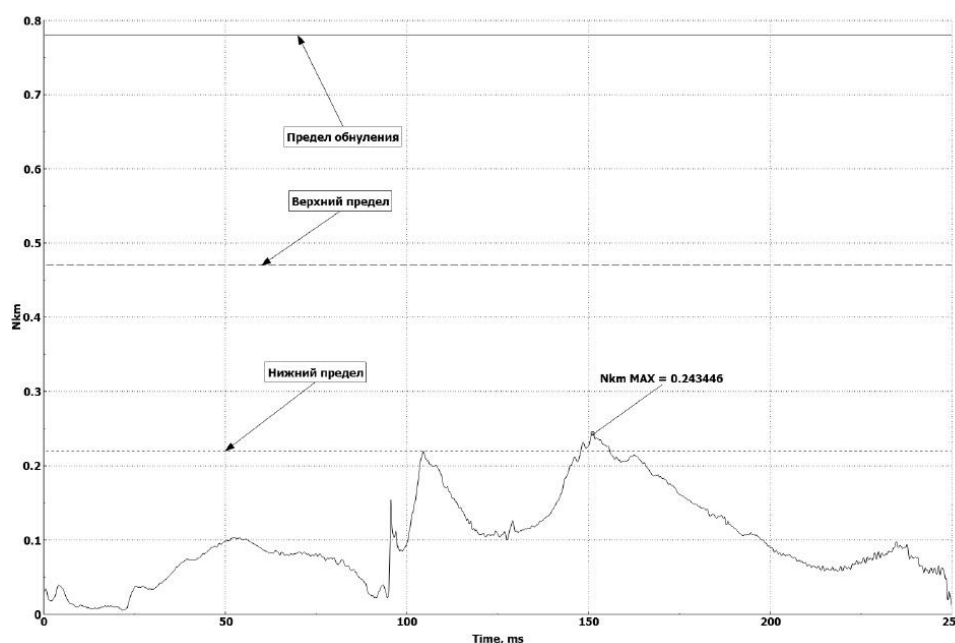


Рисунок 40 – График Nkm.

Исходя из данного графика, значение Nkm равно 0,24, что дает 0,46 балла по системе EuroNCAP.

Оценка полученных результатов испытания

Максимально возможная величина полученных баллов в соответствии с методикой – 11, исходя из пересчета 4.

1) по итогам статической оценки подголовника получено 1.5 балла.

Таблица 3 – Результаты статических испытаний

Наименование испытания	Полученное значение, мм	Оценка	Начислено баллов
Горизонтальное расстояние	33	Хорошая	1,5
Вертикальное расстояние	66	Средняя	

2) по итогам динамических испытаний получено 2,5 балла,

Таблица 4 – Результаты динамической оценки сиденья по критериям EuroNCAP

Наименование испытания	Оценка
период контакта с подголовником (Т-HRC (начало),Т-HRC (конец)),	0
ускорение Т1 по оси Х (“Т1”),	0,5
перерезывающее усилие (“F _x ”) в верхнем участке шеи,	0,42
растягивающее усилие (“F _z ”) в верхнем участке шеи,	0,35
Скорость обратного хода головы,	0,5
Критерий травмирования шеи (NIC),	0,26
Критерий N _{km}	0,46
Итого начислено за динамическую оценку баллов:	2,5

Итоговое количество баллов, полученное в результате проведения испытания конструкции сиденья по методике EuroNCAP – 2.98 балла, что соответствует среднему уровню оценки защиты шеи.

Необходимо отметить, что для достижения хорошего уровня оценки в соответствии с данным тестом, испытываемому сиденью не хватило 0,02 балла, что наиболее ярко представляет необходимость доработки конструкции сиденья для более эффективных результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исходя из результатов диссертации, полученные сведения работы могут нести в себе научно-исследовательскую, экономическую и социальную значимость работы:

- 1) научная значимость работы заключается в выявлении и использовании основных элементов влияющих на уровень безопасности сиденья; Исходя из этого, для оценки уровня безопасности новых конструкций и исследования, не требуется использовать полноценную модель сиденья. Использование данных диссертации позволит глубже изучить методы влияния на исход испытания и тем самым, обеспечить наилучшую безопасность пассажиров вследствие хлыстовой травмы,
- 2) экономическая значимость работы заключается в возможном экономическом эффекте, который может предотвратить значительные финансовые затраты в случае отрицательных результатов испытания; Снижение трудоемкости на поиск оптимальных решений в конкретной конструкции сиденья, так же может оказать экономический эффект,
- 3) социальная значимость работы заключается в увеличении шансов обеспечить разрабатываемые транспортные средства большей безопасностью при заднем столкновении, что безусловно является актуальной и перспективной целью всех научно-исследовательских работ, которые направлены на защиту здоровья людей, находящихся в автомобиле.

Анализ результатов решения задач

По результатам работы получены следующие результаты –

- 1) Определен необходимый и минимальный набор элементов сиденья, который необходим для проведения испытания;
- 2) Выявлены основные элементы конструкции сиденья, которые могут оказать наибольшее влияние на результаты испытания. К таким элементам относятся набивки сиденья и каркас подголовника.
- 3) Проведен расчет испытания по методике EuroNCAP с проведением оценки уровня безопасности сиденья.

Целью работы являлась разработка и расчет виртуального динамического испытания удара головы манекена о подголовник сиденья автомобиля на раннем этапе проектирования сиденья автомобиля.

Исходя из поставленных задач, цель работы была достигнута:

По результатам работы виртуальное динамическое испытание удара головы о подголовник сиденья автомобиля проведено, а все компоненты входящие в данное испытание разработаны и испытаны.

В результате проведения работы и получения граничного результата между средним и хорошим уровнем безопасности, подтверждена необходимость проведения оценки уровня безопасности сиденья, до его момента окончательной разработки.

В результате достижения цели можно сделать вывод, что полученные данные могут оказать поддержку при проектировании принципиально правильных конструктивных решений, которые могут быть проверены с помощью разработанной методики испытания.

Выводы о научной новизне работы

В результате выполнения диссертации получено следующее:

- 1) Предложено проводить оценивание уровня пассивной безопасности на этапе раннего проектирования конструкции сидений;
- 2) Установлена четкая и минимальная последовательность действий необходимая для проведения испытания на задний удар для вновь разрабатываемых конструкций;
- 3) Предложена концепция развития пассивной безопасности сиденья автомобиля за счет испытания отдельных элементов конструкции сиденья с целью уменьшения влияния прочих факторов на общий результат испытания.

Рекомендации

Данная работа и ее результаты могут рекомендоваться в качестве справочной и обучающей информации для начинающих специалистов, исследователей, а так же студентов, интересующихся проведением испытаний по пассивной безопасности автомобильных сидений.

Предложения по использованию результатов и продолжению работы

Результаты работы могут быть использованы при разработке новых конструкций автомобильных сидений и модернизаций существующих, в случаях, когда необходимо повысить уровень пассивной безопасности в отношении защиты от хлыстовой травмы шеи пассажиров.

В качестве предложений по продолжению работы, предлагается развивать дальше тему влияния конструкции сиденья на результаты испытания по оценке EuroNCAP.

Список использованных источников

- 1) Ардашев И.П. Хлыстовые повреждения шейного отдела позвоночника : [Электронный ресурс]: хирургия позвоночника
URL: http://www.spinesurgery.ru/netcat_files/505/453/h_b084cf869635d67587fd7ca09bc507d5
- 2) THE EURO NCAP WHOPLASH TEST. Michiel van Ratingen, James Ellway.
Euro NCAP. Belgium.
URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/ESV/esv21/09-0231.pdf>
- 3) Правила ЕЭК ООН N 17 URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200013003>
- 4) EURONCAP URL: <http://www.euroncap.com/ru>
- 5) European new car assessment programme (Euro NCAP) The dynamic assessment of car seats for neck injury protection testing protocol // Version 3.2 November 2015
- 6) The effect of whiplash protection systems in real-life crashes and their correlation to consumer crash test programmes, Anders Kullgren, Maria Krafft, Anders Lie, Claes Tingvall. Svedish Road Administration. Australia.
URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/nrd-01/ESV/esv20/07-0468-O.pdf>
- 7) CRASH TESTING FOR REAL-WORLD SAFETY - WHAT ARE THE PRIORITIES FOR CASUALTY REDUCTION? Pete Thomas Richard Frampton
Vehicle Safety Research Centre, Loughborough University United Kingdom
URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/cd/files/18ESV-000351.pdf>
- 8) A new seat system developed by K-D neck model to reduce whiplash injuries, Masatoshi Tanaka, Hiroaki Yoshida, Sadami Tsutsumi. Daihatsu Motor Co, Kyoto University. Japan.
URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/proceed/00042.pdf>
- 9) A STUDY OF WHIPLASH INJURY OCCURRENCE MECHANISMS USING HUMAN FINITE ELEMENT MODEL Junji Hasegawa Toyota Motor Corporation,

Japan Akiyoshi Shiomi Toyota Communication Systems Co., LTD., Japan URL:
<https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/proceed/00220.pdf>

10) The study for dynamic evaluation method for assessing whiplash-associated disorder in rear impact, Hiroyuki Asada, Katsumi Nawata, Masahide Sawada. JAMA. Japan. URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv21/09-0302.pdf>

11) Pre-safe in rear-end collision situations, Ralf Bogenrieder, Michael Fehring, Roland Bachmann. Daimler AG.

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv21/09-0129.pdf>

12) Rear impact test methodologies: Quasistatic and dynamic, Brian R. Herbst, Steven E. Meyer, Arin A. Oliver, Stephen M. Forrest. SAFE. USA.

URL: http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc15/pdf_files/60.pdf

13) The Next-Generation H-Point Machine and Related Vehicle and Seat Design and Measurement Tools, Lawrence W. Schneider, Matthew P. Reed, Ronald W. Roe, Miriam A. Manary and Carol A.C. Flannagan. Michigan State University. USA. 1999. URL: http://mreed.umtri.umich.edu/mreed/pubs/Schneider_1999-01-0962.pdf

14) SIMULATION OF OCCUPANT KINEMATICS IN VEHICLE ROLLOVER - DUMMY MODEL VERSUS HUMAN MODEL Norbert Praxl Markus Schönpflug Jiri Adamec Institute for Legal Medicine Munich Germany Paper Number 202

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/cd/proceed/00212.pdf>

15) COACH PASSENGER INJURY RISK DURING ROLLOVER: INFLUENCE OF THE SEAT AND THE RESTRAINT SYSTEM Giovanni Belingardi Paolo Martella Lorenzo Peroni Dipartimento di Meccanica Politecnico di Torino

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv19/05-0439-W.pdf>

16) THE IMPORTANCE OF DYNAMIC TESTING IN DETERMINING THE YAW STABILITY OF VEHICLES Stephen M. Arndt Don C. Stevens Safety Engineering & Forensic Analysis, Inc. Mark W. Arndt Transportation Safety Technologies, Inc. L. Daniel Metz Metz Engineering and Racing USA

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/proceed/00123.pdf>

17) Development of a finite element model of the human neck for whiplash simulation, Seiichi Kobayashi, Yuichi Kitagawa. Nissan motor Co. Japan.

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/Files/18ESV-000208.pdf>

18) ANALYSIS OF TRAFFIC ACCIDENT DATA AND IN-DEPTH INVESTIGATION DATA IN JAPAN Tetsushi Miyake Institute for Traffic Accident Research and Data Analysis Japan

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/proceed/00067.pdf>

19) DEVELOPMENT OF OCCUPANT CLASSIFICATION SYSTEM Tsutomu Takano Nissan Motor Co., LTD Japan

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/cd/files/18ESV-000206.pdf>

20) A development process for creating finite-element models of crash test dummies based on investigations of the hardware, Andreas Rieser, Christian Nusbaumer. VIF. Austria URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv21/09-0368.pdf>

21) THE ROLE OF SEATBACK AND HEAD RESTRAINT DESIGN PARAMETERS ON REAR IMPACT OCCUPANT DYNAMICS Michael Kleinberger Liming Voo Andrew Merkle Matthew Bevan Shin-Sung Chang Johns Hopkins Univ. Applied Physics Laboratory United States of America

URL: <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2006/wp29grsp/HR-05-16e.pdf>

22) AN EVALUATION OF EXISTING AND PROPOSED INJURY CRITERIA WITH VARIOUS DUMMIES TO DETERMINE THEIR ABILITY TO PREDICT THE LEVELS OF SOFT TISSUE NECK INJURY SEEN IN REAL WORLD

ACCIDENTS Frank Heitplatz Raimondo Sferco Paul Fay Joerg Reim Ford of Europe, Germany and UK Agnes Kim Priya Prasad Ford Motor Company, USA

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/proceed/00086.pdf>

23) REAR-END COLLISION AVOIDANCE ASSIST SYSTEM Kenji Kodaka, Makoto Otabe, Yoshihiro Urai, Hiroyuki Koike Honda R&D Co.,Ltd. Japan

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/cd/files/18esv-000405.pdf>

24) MODIFICATION AND VALIDATION OF HUMAN NECK MODEL UNDER DIRECT HEAD LOADING Susumu Ejima* Adam Wittek** Koshiro Ono* Kunio Yamazaki* * Japan Automobile Research Institute, Japan

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/proceed/00147.pdf>

25) VALIDATION OF THE HUMAN HEAD FE MODEL AGAINST PEDESTRIAN ACCIDENT AND ITS TENTATIVE APPLICATION TO THE EXAMINATION OF THE EXISTING TOLERANCE CURVE Yasuhiro Dokko Honda R&D Co.,Ltd. Japan

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/cd/files/18esv-000322.pdf>

26) CORRELATION OF ACCIDENT STATISTICS TO WHIPLASH PERFORMANCE PARAMETERS USING THE RID3D AND BIORID DUMMY H. Cappon¹ , W. Hell² , H. Hoschopf³ , M. Muser⁴ , E. Song⁵ , J. Wismans¹ TNO Automotive¹ , Ludwig Maximilian University Munich² , Graz University of Technology³ , ETH Zurich⁴ , LAB PSA Peugeot Citroën Renault⁵

URL: <http://www.ircobi.org/wordpress/downloads/irc0111/2005/Session4/42.pdf>

27) BIOFIDELITY IMPACT RESPONSE REQUIREMENTS FOR AN ADVANCED MID-SIZED MALE CRASH TEST DUMMY B. van Don and M. van Ratingen, TNO Automotive, The Netherlands; F. Bermond, C. Masson and P. Vezin, INRETS, France; D. Hynd and C. Owen, TRL, UK ;L. Martinez, INSIA, Spain; S. Knack and R. Schaefer, BASt, Germany; on behalf of EEVC WG12

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/Files/18ESV-000076.pdf>

28) METHODOLOGY FOR THE DEVELOPMENT AND VALIDATION OF INJURY PREDICTING ALGORITHMS Jeffrey Augenstein Elana Perdeck James Stratton William Lehman Injury Research Center University of Miami United States

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv18/CD/proceed/00145.pdf>

29) SEAT COMPONENT TO PREVENT WHIPLASH INJURY K.-U. Schmitt^{1,2}, M. Muser², M. Heggendorf¹, P. Niederer¹, and F. Walz² ¹ Institute of Biomedical Engineering, University and Swiss Federal Institute of Technology (ETH) Zurich, Switzerland. URL: [https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pdf/nrd-](https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pdf/nrd-01/ESV/esv18/CD/Files/18ESV-000224.pdf)

[01/ESV/esv18/CD/Files/18ESV-000224.pdf](https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pdf/nrd-01/ESV/esv18/CD/Files/18ESV-000224.pdf)

30) CRASH PULSE RECORDERS IN REAR IMPACTS - REAL LIFE DATA. Maria Krafft Anders Kullgren Folksam Research and Karolinska Institute Claes Tingvall Swedish National Road Administration Sweden

URL: <https://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pdf/esv/esv16/98s6o10.pdf>.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Спецификации испытаний с использованием ударных салазок

Удар низкой тяжести

Коридоры значений для удара низкой тяжести показаны на Рисунке 37.

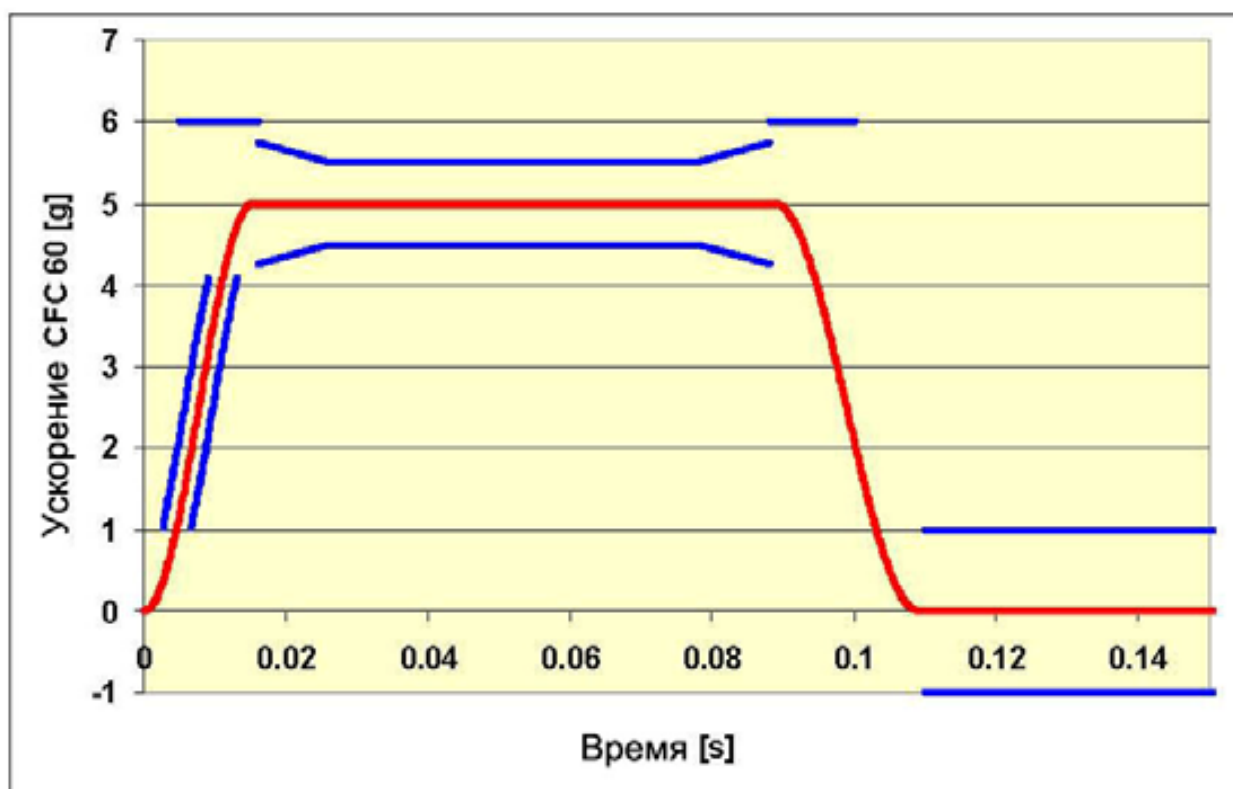


Рисунок 41 - Удар низкой тяжести, красный цвет: кривая целевых параметров
синий цвет: коридоры значений

Ускорение салазок должно быть откорректировано как можно ближе к кривой целевых параметров в пределах коридоров, выделенных синим цветом, в течение полного интервала времени от 0 до 0.15 с. Ударный импульс салазок должен удовлетворять требованиям, обозначенным в Таблице 3.

Таблица 4 - Требования к удару низкой тяжести

Параметр		Требуемое значение	Пределы +/-	Ед. измерения
Изменение скорости	dV	16.10	0.80	Км/ч
Интервал времени	dT	105.8	3.0	м/с
Среднее ускорение	Асред	42.35	4.5	м/с ²
Ускорение при T=0	AT0	0	2.5	м/с ²

Обработка данных и определения

1) Ввод коррекции сигнала акселерометра.

Чтобы убедиться в отсутствии начального ускорения, которое дает в результате профиль ненулевой скорости, необходимо ввести коррекцию для сигнала ускорения салазок.

2) Фильтрация на 60 классе частотных характеристик

Чтобы убедиться в том, что низкий уровень шума не влияет на результаты, сигнал ускорения фильтруется с помощью фильтра 60 класса частотных характеристик в соответствии со стандартом SAE J211 для сигналов ускорения салазок.

3) Определение T0

T0 (Тнуль) для ударного импульса P1 - это и момент времени 4.6 мс перед тем, как отфильтрованное на 60 классе частотных характеристик ускорение достигает уровня 1.0 g.

Определение $T_{\text{конец}}$

- $T_{\text{конец}}$ – это момент времени, когда отфильтрованное на 60 классе частотных характеристик ускорение салазок впервые менее 0 g.

1) Изменение скорости (dV) Рассчитывается между T_0 и $T_{\text{конец}}$

2) Определение временного диапазона

Временной диапазон - это $dT = T_{\text{конец}} - T_0$.

3) Среднее ускорение равно dV/dT .

Удар средней тяжести

Коридоры значений для удара средней тяжести приведены на Рисунке 38.

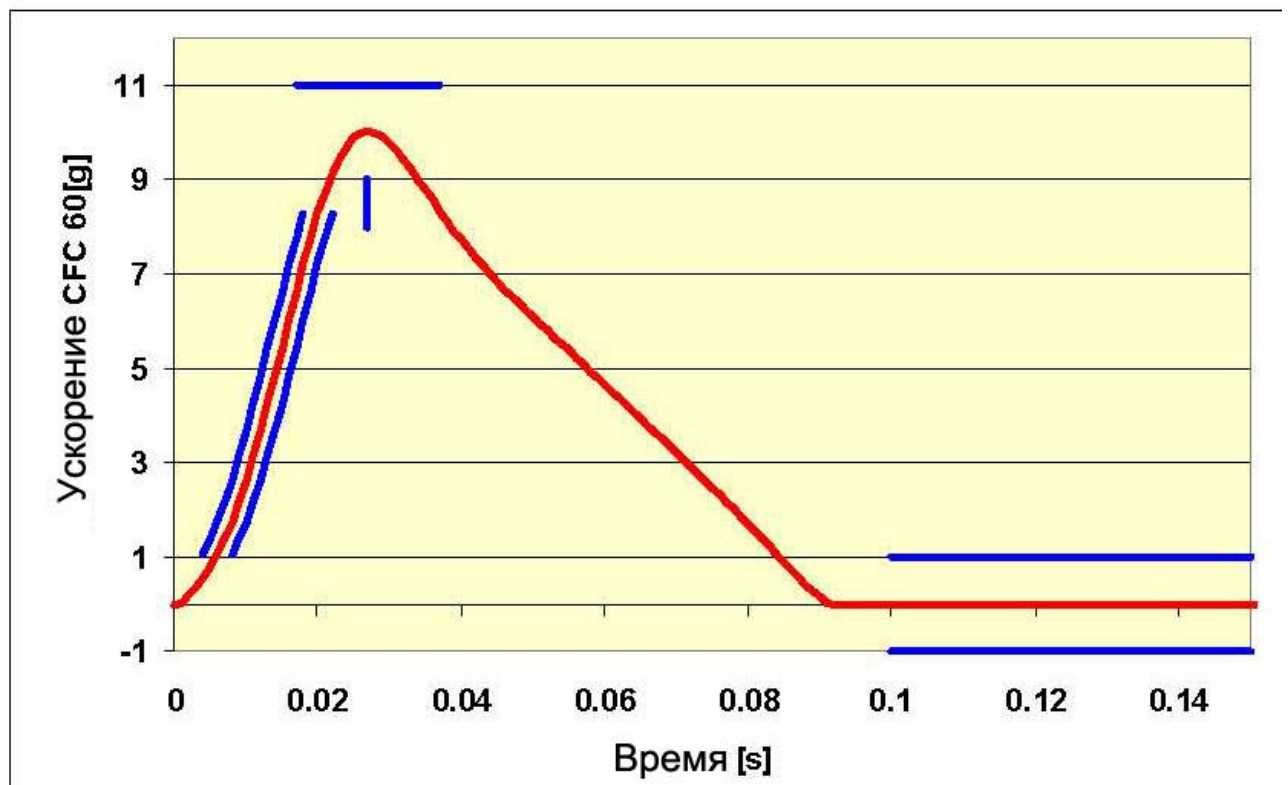


Рисунок 42- Удар средней тяжести, красный цвет: кривая целевых параметров, синий цвет: коридоры значений

Ускорение салазок должно быть откорректировано как можно ближе к кривой целевых параметров в пределах коридоров, выделенных синим цветом, в течение полного интервала времени от 0 до 0.15 с. Ударный импульс салазок должен удовлетворять требованиям, обозначенным в Таблице 7.

Таблица 5 - Требования к удару средней тяжести

Параметр		Требуемое значение	Пределы +/-	Ед. измерения
Изменение скорости	dV	15.65	0.80	Км/ч
Интервал времени	dT	91.00	3.0	м/с
Среднее ускорение	Асред	47.85	4.00	м/с ²
Ускорение при T=0	AT0	0	2.5	м/с ²

Обработка данных и определения

1) Ввод коррекции сигнала акселерометра.

Чтобы убедиться в отсутствии начального ускорения, которое дает в результате профиль ненулевой скорости, необходимо ввести коррекцию для сигнала ускорения салазок.

Предполагается, что данный этап является для лабораторий стандартной процедурой.

2) Фильтрация на 60 классе частотных характеристик

Чтобы убедиться в том, что низкий уровень шума не влияет на результаты, сигнал ускорения фильтруется с помощью фильтра 60 класса частотных характеристик в соответствии со стандартом SAE J211 для сигналов ускорения салазок.

3) Определение T0 - T0 (Тнуль) для ударного импульса P1 - это момент времени 5.8 мс перед тем, как отфильтрованное на 60 классе частотных характеристик ускорение достигает уровня 1.0g.

4) Определение Tконец

Тконец – это момент времени, когда отфильтрованное на 60 классе частотных характеристик ускорение салазок впервые менее 0 g.

5) Изменение скорости (dV)

Рассчитывается между T0 и Тконец

6) Определение временного диапазона

временной диапазон - это $dT = T_{\text{конец}} - T_0$.

7) Среднее ускорение Равно dV/Dt

Удар высокой тяжести

Коридоры значений для удара высокой тяжести приведены на Рисунке 39.

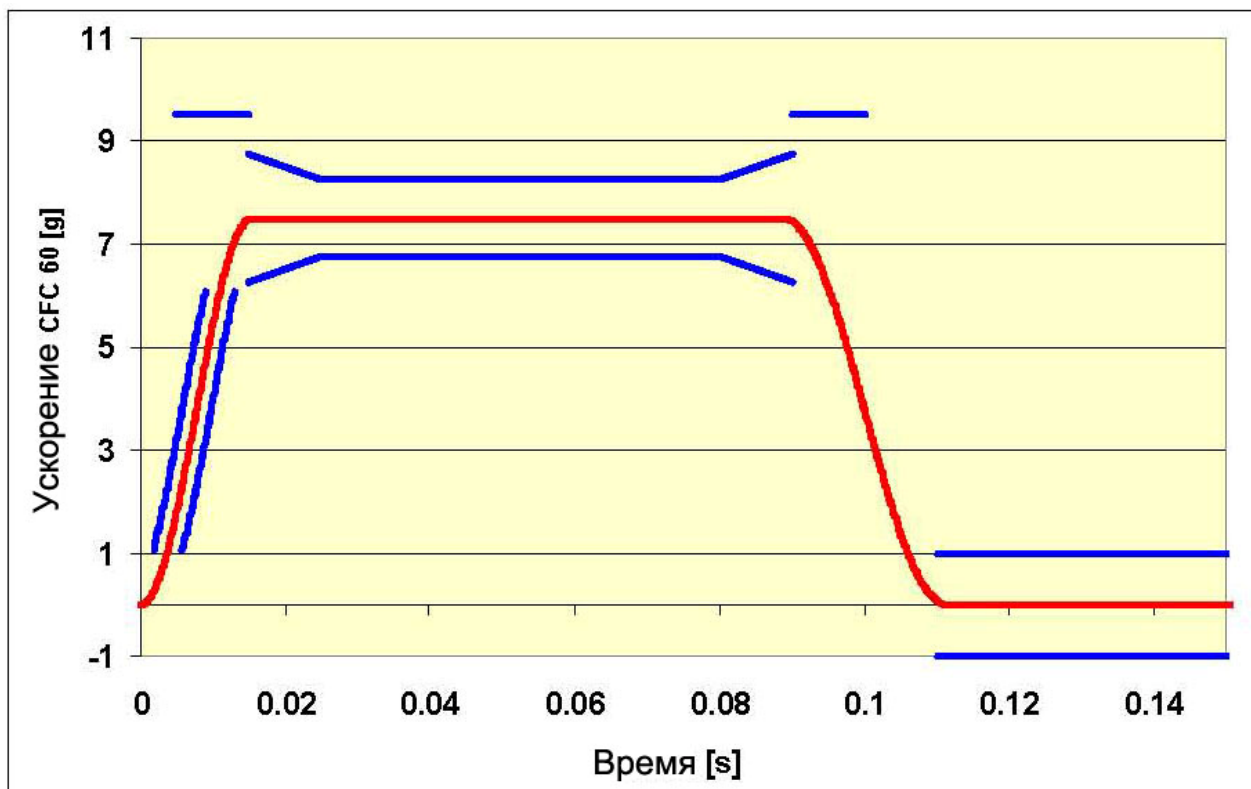


Рисунок 43 - Удар высокой тяжести, красный цвет: кривая целевых параметров,синий: коридоры значений

Ускорение салазок должно быть откорректировано как можно ближе к кривой целевых параметров в пределах коридоров, выделенных синим цветом, в течение полного интервала времени от 0 до 0.15 с.

Ударный импульс салазок должен удовлетворять требованиям, обозначенным в Таблице 5.

Таблица 6- Требования к удару высокой тяжести

Параметр		Требуемое значение	Пределы +/-	Ед.измерения
Изменение скорости	dV	24.45	1.2	Км/ч
Интервал времени	dT	107.70	3.0	м/с
Среднее ускорение	Асред	63.15	4.85	м/с ²
Ускорение при T=0	AT0	0	2.5	м/с ²

Обработка данных и определения

1) Ввод коррекции сигнала акселерометра.

Чтобы убедиться в отсутствии начального ускорения, которое дает в результате профиль ненулевой скорости, необходимо ввести коррекцию для сигнала ускорения салазок.

Предполагается, что данный этап является для лабораторий стандартной процедурой.

2) Фильтрация на 60 классе частотных характеристик

Чтобы убедиться в том, что низкий уровень шума не влияет на результаты, сигнал ускорения фильтруется с помощью фильтра 60 класса частотных характеристик в соответствии со стандартом SAE J211, для сигналов ускорения салазок.

3) Определение T0 - T0 (Тнуль) для ударного импульса P1 - это момент времени 3.7 мс перед тем, как отфильтрованное на 60 классе частотных характеристик ускорение достигает уровня 1.0 g.

4) Определение Tконец

Тконец – это момент времени, когда отфильтрованное на 60 классе частотных характеристик ускорение салазок впервые менее 0 g.

5) Изменение скорости (dV) Рассчитывается между T0 и Тконец

6) Определение временного диапазона

Временной диапазон - это $dT = T_{\text{конец}} - T_0$.

7) Среднее ускорение равно dV/dT .

Оценка конструкции автомобиля по Whiplash

Наименование	Возможное количество баллов
Статическая оценка	
Геометрия испытательного положения	От -1 до +1 баллов
Геометрия наихудшего положения	1 балл
Динамическая оценка	
Импульс низкой жесткости	3 балла
Импульс средней жесткости	3 балла
Импульс высокой жесткости	3 балла
Модификаторы	
Отклонение спинки сиденья	-3 балла
Артефактная нагрузка на манекен	-2 балла
Суммарная оценка	11 баллов (4 балла — в пересчете)
Уровень оценки по цветам	
Зеленый — хороший	3,000–4,000
Оранжевый — удовлетворительный	1,500–2,999
Красный — плохой	0–1,499

Рисунок 44 – Итоговое начисление баллов в соответствии с EuroNCAP.