

УДК 629.3

EDN: VXQOAI

ОБОСНОВАНИЕ НАГРУЗОЧНЫХ РЕЖИМОВ ИСПЫТАНИЙ НА ПАССИВНУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ ГРУЗОПАССАЖИРСКИХ АВТОМОБИЛЕЙ

Ч. ВанORCID: **0009-0002-8031-2479** e-mail: **wandercn@mail.ru**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
*Москва, Россия***В.Н. Зузов**ORCID: **0000-0003-1512-9299** e-mail: **valeryzuz@yandex.ru**Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана
*Москва, Россия***Д.Ю. Солопов**ORCID: **0009-0008-5206-327X** e-mail: **solopovdu@yandex.ru**Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ»
Москва, Россия

Проведен анализ конструкции несущих систем пикапов, данных статистики аварий с их участием и нагрузочных режимов при испытаниях по разным правилам оценки пассивной безопасности. Разработан и обоснован режим нагружения специально для грузопассажирских автомобилей пикапов с учетом воздействия грузов на заднюю стенку кузова автомобиля при фронтальном столкновении. Сравнены преимущества и недостатки двух методов моделирования по данному режиму нагружения – фронтальный удар и салазковое испытание. Моделирование осуществлялось с помощью программного комплекса *LS-DYNA*. Во время замедления пиковое ускорение груза составляет около 12 g. По результатам виртуального испытания груз внедрялся в кабину на глубину более 1500 мм, полностью уничтожая возле стенки жизненное пространство пассажиров. Требуется разработать конструкции кабины и грузовой платформы, применяя разные материалы, в том числе, композиционные и новые технологии соединений для обеспечения прочности, жесткости задней стенки кабины пикапа, а также пассивной безопасности.

Ключевые слова: метод конечных элементов, грузопассажирские автомобили, легковые автомобили, пикапы, *LS-DYNA*, нагрузочные режимы.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ван Ч. Обоснование нагрузочных режимов испытаний на пассивную безопасность грузопассажирских автомобилей / Ч. Ван, В.Н. Зузов, Д.Ю. Солопов // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. 2024. № 1. С. 70-82. EDN: VXQOAI

JUSTIFICATION OF LOAD CONDITIONS OF PASSIVE SAFETY TESTS FOR CARGO-PASSENGER CARS

Z. WangORCID: **0009-0002-8031-2479** e-mail: **wandercn@mail.ru**Bauman Moscow State Technical University
*Moscow, Russia***V.N. Zuzov**ORCID: **0000-0003-1512-9299** e-mail: **valeryzuz@yandex.ru**Bauman Moscow State Technical University
Moscow, Russia

D.Yu. Solopov

ORCID: 0009-0008-5206-327X e-mail: solopovdu@yandex.ru

State Research Center of the Russian Federation FSUE «NAMI»

Moscow, Russia

Abstract. The design of the pickup trucks load-bearing systems, the statistics of accidents with pickup trucks and test load conditions in according to different rules of passive safety assessment are analyzed. A load condition developed and justified specifically for cargo-passenger pickup trucks is presented, taking into account the impact of cargoes on the rear wall of the vehicle body in frontal collision. The advantages and disadvantages of two modeling methods for this load condition, frontal collision and sled tests, were compared. The modeling was performed using the LS-DYNA software package. The peak acceleration of the cargo during deceleration is about 12 g. Based on the results of the virtual test, the cargo invaded the cabin by more than 1500 mm and completely destroyed the living space for passengers near the wall. It is required to develop the cab and cargo platform designs by using different materials including composite materials and new joining technologies to ensure the strength, stiffness of the rear wall of the pickup truck cab as well as passive safety.

Key words: finite element method, cargo-passenger cars, light automobiles, pickups, LS-DYNA, load condition.

FOR CITATION: Wang Z., V.N. Zuzov, D.Yu. Solopov. Justification of load conditions of passive safety tests for cargo-passenger cars. Transactions of NNSTU n.a. R.E. Alekseev. 2024. № 1. Pp. 70-82. EDN: VXQOAI

Введение

Дорожно-транспортный травматизм является одной из главных причин смертности во всем мире. По данным Всемирной организации здравоохранения, ежегодно в результате ДТП гибнет около 1,3 млн чел. Еще от 20 до 50 млн чел. получают несмертельные травмы, которые во многих случаях приводят к инвалидности [1]. Важную роль в снижении риска травматизма играет пассивная безопасность транспортных средств (ТС). Существует целый ряд правил Европейской экономической комиссии ООН по пассивной безопасности ТС, включение которых в национальные промышленно-производственные стандарты способствует предотвращению гибели людей. Данные правила продолжают постоянно уточняться и дополняться, особенно для конкретных типов автомобилей и различных видов аварий.

Более 15 % общего количества ТС, ежегодно попадающих в ДТП – пикапы, уступающие по данному параметру лишь седанам. Пикапы – типичные грузопассажирские автомобили, перевозящие не только людей, но и грузы. При резком торможении, и особенно фронтальном столкновении, грузы могут вырваться из ремней и проникнуть в кабину, что часто приводит к серьезным травмам и смерти водителей и пассажиров. Например, в июне 2019 г. легковой пикап *Chevrolet Silverado 1500 M2013* с грузом массой 1000 кг столкнулся с деревом. Лестница в грузовом отсеке проникла в кабину через заднее стекло (рис. 1, а). В апреле 2018 г. пикап *Chevrolet Silverado 2500 M2002* с 272 кг груза, столкнулся с деревом на скорости 55 км/ч. Груз ударился о кабину, в результате чего С-стойка кабины деформировалась, спинка заднего сиденья была сломана (рис. 1, б). В октябре 2019 г. пикап *Ford F-150 M2006*, перевозивший 907 кг груза, столкнулся с деревом, при этом груз ударился о пассажирский салон и проник на 30 см в заднюю часть салона (рис. 1, в). В январе 2019 г. пикап *GMC Sierra 1500 M2015*, перевозивший 227 кг груза, столкнулся с деревом на скорости 34 км/ч, при этом груз ударился о пассажирский салон и деформировал заднюю панель пассажирского салона (рис. 1, г) [2]. Все эти примеры показывают, что при столкновении груз, находящийся в грузовом отсеке, может нанести травмы различной степени тяжести водителю и пассажирам. Несмотря на малочисленность исследований и недостаточность статистических данных по безопасности грузов в пикапах, не следует оставлять этот вопрос без внимания. Для предотвращения рисков, связанных с перемещением грузов, в настоящее время действуют правила, например, по креплению грузов и прочности сидений. Но они оказываются недостаточными для обеспечения безопасности водителей и пассажиров. Отсутствуют исследования о рекомендуемых режимах испытаний специально для легковых пикапов.



Рис. 1. Примеры ДТП пикапов, связанных со смещением грузов:
 а) Chevrolet Silverado 1500; б) Chevrolet Silverado 2500; в) Ford F-150; г) GMC Sierra 1500

Fig. 1. Examples of pickup truck accidents associated with load shifting:
 а) Chevrolet Silverado 1500; б) Chevrolet Silverado 2500; в) Ford F-150; г) GMC Sierra 1500

Цель исследования

Целью настоящей работы является исследование и обоснование режимов нагружения пикапов при ДТП для обеспечения прочности, жесткости и пассивной безопасности и апробация их применения на примере автомобиля *Chevrolet Silverado* для выявления тяжести последствий удара. При этом основное внимание сосредоточено на оценке прочности задней стенки пикапа.

Анализ правил по предотвращению рисков, связанных со смещением грузов и определение режима нагружения для пикапов

В настоящее время существует ряд правил ЕЭК ООН, согласно которым проводятся испытания и моделирование для оценки безопасности легковых автомобилей, в том числе, пикапов. Например, правило ЕЭК ООН №12 – защита водителя при фронтальном ударе на скорости 48,3 и 53,1 км/ч со 100 % перекрытием о жесткий барьер; № 95 – требование к пассивной безопасности автомобиля при боковом ударе на скорости 50 км/ч подвижным деформирующимся барьером. Все остальные испытания (Европейский комитет испытания новых автомобилей – *Euro NCAP*; Американская национальная администрация безопасности дорожного движения – *NHTSA*; Страховой институт дорожной безопасности – *IHS* и др.) базируются на методике данных или подробных правил. В последние годы квазистатическое испытание на прочность крыши легковых автомобилей было добавлено в стандартах испытаний *IHS*. Все вышеуказанные нормативы были разработаны для пассажирских автомобилей и не учитывали специфики грузопассажирских автомобилей – того, что грузопассажирские автомобили могут быть загружены грузами, которые при резком торможении и лобовом столкновении, в силу своих инерций, будут смещаться вперед, проникать в кабину и разрушать жизненное пространство. Сегодня главным решением для предотвращения несчастных случаев и серьезных травм, вызванных перемещением грузов,

считается их крепление. Основным нормативным документом является европейский стандарт EN 12195 – «Крепление груза. Безопасность». Суть его заключается в том, что крепежные стяжные ремни, цепи, тросы или др. обеспечивают привязную силу против инерции при замедлении. Максимальное значение привязной силы рассчитывается по формуле $F = m \cdot c_x \cdot f_s \cdot g$, где F – максимальное значение квазистатической силы; m – масса груза; $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения; $c_x = 0,8$ – коэффициент горизонтального ускорения вперед; $f_s = 1 \div 1,25$ – коэффициент безопасности.

Однако, если реальное значение ускорения груза больше, чем $0,8 g$, крепежные ремни будут напряжены выше допустимых пределов, в результате чего они лопаются и теряют свою привязную способность. Проблема заключается именно в том, что в реальности при лобовом ударе ускорение груза составляет $10 \div 20g$. В результате правила крепления грузов не обеспечивают пассивную безопасность пикапов при ДТП. На самом деле в квазистатических экспериментах трудно смоделировать то, что происходит при столкновении на высокой скорости. Для пояснения этой точки зрения можно обратиться к стандартам испытаний грузовых автомобилей для обеспечения их безопасности. Правило ЕЭК ООН №29.02 и Шведский стандарт VVFS 2003:29 предназначены для защиты водителя в кабине грузовиков. Оба они включают испытание по прочности задней стенки кабины. Испытание в правиле ЕЭК ООН № 29.02 является квазистатическим. При испытании задняя стенка кабины через жесткую плиту нагружается горизонтальной силой $0,2 mg$. Испытание в Шведском стандарте – динамическое. Прямоугольный маятник массой 1 т ударяет о заднюю стенку кабины с ударной энергией 29,4 кДж.

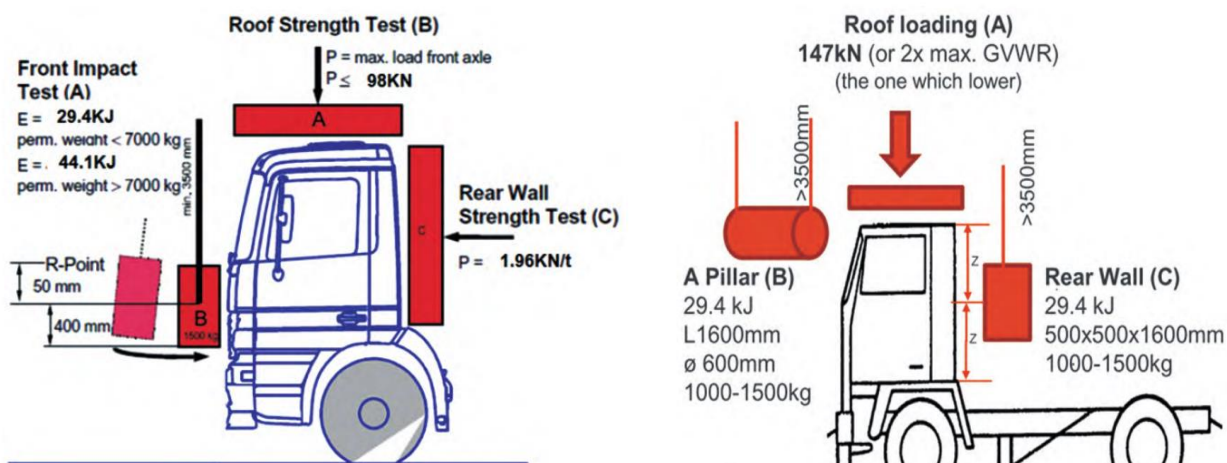


Рис. 2. Испытания по Правилам ЕЭК ООН №29.02 и VVFS 2003:29

Fig. 2. Tests according to UNECE Regulation №29.02 and VVFS 2003:29

Ранее некоторые ученые считали, что эти два испытания эквивалентны, но это не так. Был проведен эксперимент, когда грузовик, соответствующий требованиям ЕЭК ООН № 29.02, с 1 т груза столкнулся со стенкой на скорости 30 км/ч. Оказалось, что груз переместился вперед и разрушил жизненное пространство [3]. В 2011 г. были проведены испытания одной и той же кабины по двумя стандартам. Результаты показаны на графике. Максимальное перемещение задней стенки кабины грузовика при испытаниях по правилу ЕЭК ООН №29.02 составляет 25 мм, что соответствует правилу. Однако максимальное значение деформации задней стенки кабины – 275 мм, что соответствует нарушению жизненного пространства [4].

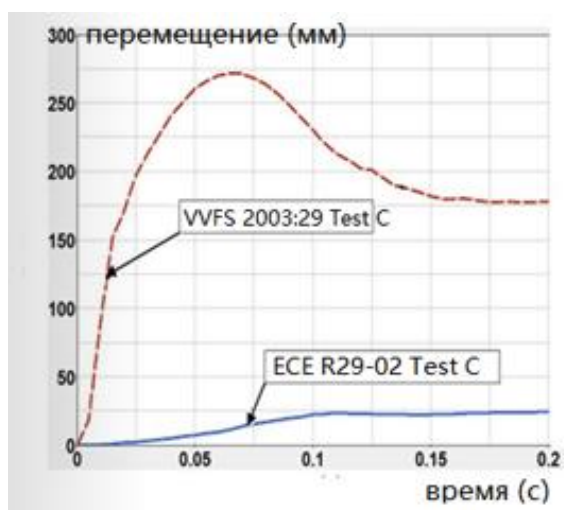


Рис. 3. График изменений перемещений задней стенки при испытаниях по разным стандартам
 Fig. 3. Graph of changes in back wall displacements during tests according to different standards

Из данных примеров можно сделать вывод, что только динамические испытания могут обеспечить реальные и точные результаты воздействия груза на заднюю стенку кабины. Кроме крепежных ремней, прочные сиденья и подголовники автомобилей тоже помогают поглощать ударную энергию от груза. Это регулируется правилом ЕЭК ООН №17 – «Требование к прочности сидений и подголовников» и схожим правилом ИСО 27955 «Крепления грузов в пассажирских автомобилях и многоцелевых ТС. Требования и методы испытания». Испытание является динамическим. В момент удара скорость автомобиля и грузов составляет 50_0^{+2} км/ч. В процессе испытания значение замедления должно попасть в диапазон рис. 4, б. Багажи массой 18 и 10 кг ударяют о спинки сидений и перегородку, ударные энергии соответственно равны 1,7 и 1,0 кДж. Такое испытание предназначено для защиты водителя и пассажиров пассажирских автомобилей при смещении багажа. Пикапы обычно перевозят гораздо больший вес.

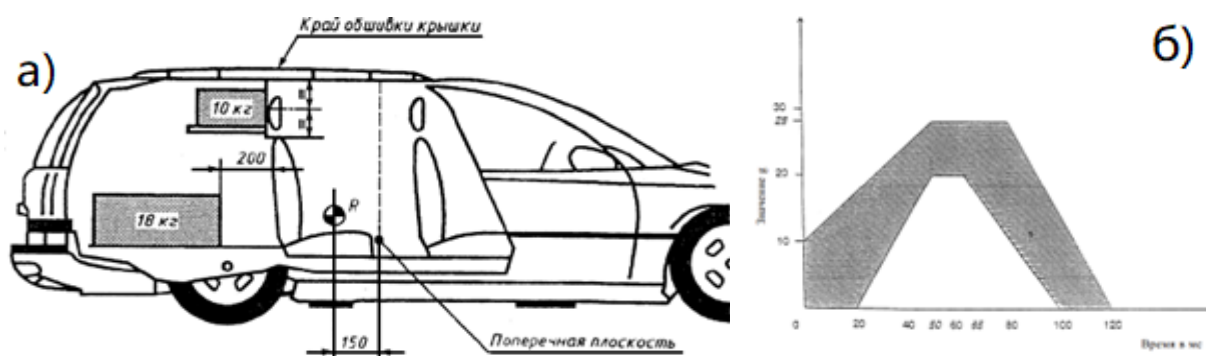


Рис. 4. Испытание по Правилу ЕЭК ООН №17

Fig. 4. Test according to UNECE Regulation №17

Анализ показывает, что сегодня не существует режимов, рекомендованных специально для грузопассажирских автомобилей пикапов с учетом действия грузов на заднюю стенку при фронтальном столкновении. Требуется обосновать нагрузочный режим пикапов для обеспечения их безопасности. Квазистатические испытания воздействия груза на заднюю стенку кузова оказались неспособны смоделировать реальную ситуацию ДТП. Динамические испытания сравнительно хорошо имитируют реальный процесс удара груза по задней стенке кузова. Далее надо определить конкретные параметры для динамического испытания. Первым

из них является скорость грузов в момент удара, которая в наибольшей степени влияет на результат удара. По результатам исследований (Sam D. Dоеcke и др., 2020), вероятность получения пассажиром серьезных травм в аварии составляет 10 %, если скорость удара автомобиля при фронтальном столкновении составляет 53 км/ч [5]. Известно, что «безопасные» скорости фронтального столкновения для разных типов легковых автомобилей не различаются. Разные правила фронтального столкновения легковых автомобилей были разработаны с учетом данных и подробных исследований. В основном на нее влияет ограничение скорости, а не тип автомобилей. Также анализ данных статистики пикапов в системе выборочных исследований ДТП (CISS) показывает, что более 90 % аварий происходят при скорости столкновения менее 50 км/ч (рис. 5). 992 из 1057 легких пикапов (94 %), попавших в ДТП с лобовым столкновением и получивших данные о скорости в период с 2016 по 2021 гг., имели барьерную эквивалентную скорость, менее или равную 50 км/ч.

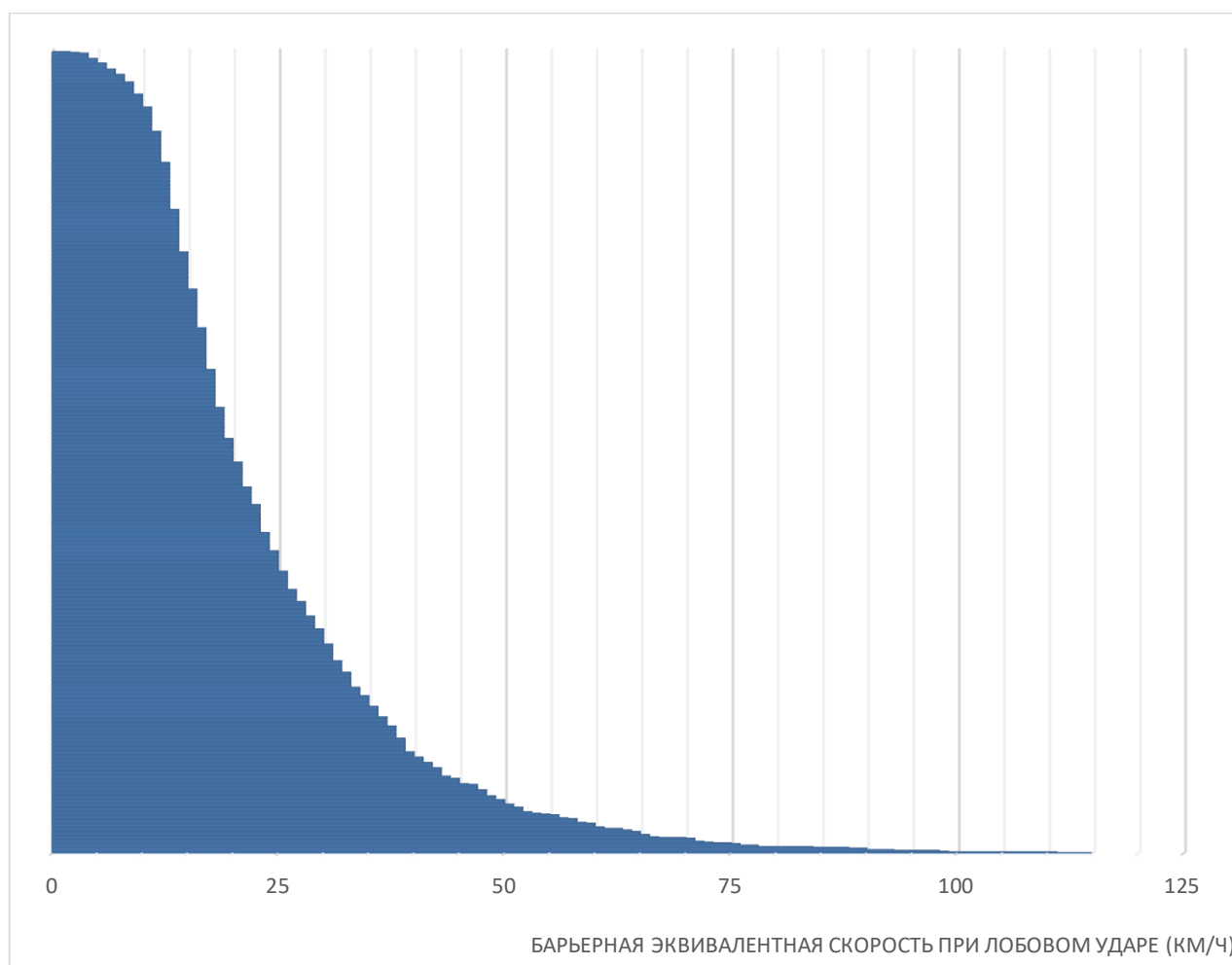


Рис. 5. Данные статистики распределения барьерной эквивалентной скорости легковых пикапов при фронтальном столкновении ДТП

Fig. 5. Statistics on the barrier equivalent speed distribution of passenger pickup trucks during a frontal collision

В настоящее время фактически общепринято, что для фронтального столкновения всех типов легковых автомобилей, включая пикапы, «безопасная» скорость составляет 50-56 км/ч. В реальном испытании скорость лобового краш-теста *Eruo NACP* для пикапов составляет 50 км/ч; а в *NHSTA* – на скорости 56 км/ч. На 50 км/ч был проведен ряд фронтальных испытаний таких моделей, как *Mercedes-Benz X-Class*, *VW Amarok*, *Ford Ranger* и т.д., а на 56 км/ч были проведены испытания для *Ford F-150*, *Silverado 1500*, *Ram 1500* и др. Поскольку испытания безопасности задней стенки салона могут (и в идеале должны проводиться) совместно с

фронтальным столкновением, то скорость столкновения должна быть такой же, как и скорость лобового краш-теста. Поэтому считается, что характерная скорость при испытаниях на прочности задней стенки кузова пикапов должна составлять 50 км/ч (13,9 м/с). Испытание считают выдержанным и в том случае, если его проводят при большей скорости при ударе и, если пикап отвечает предъявляемым требованиям.

Вторым параметром является масса грузов. Пикапы отличаются друг от друга полной массой транспортного средства (GVWR) и максимальной грузоподъемностью. В данной статье рассмотрим только легковой пикап (class 2), который составляет 79 % рынка пикапов и является самым распространенным во всем мире. Полная масса легковых пикапов меньше 10 000 фунтов, т.е. 4,5 т. Максимальная грузоподъемность легковых пикапов составляет около 1 000 кг. В базе CISS есть данные о загрузке пикапов *Chevrolet Silverado*, *GMC Sierra* и *Ford F-Series* в момент аварии с 2016 г. Эти пикапы занимают самые высокие позиции на рынке. В 2022 г. на рынке продали соответственно 520 936, 241 521 и 653 957 единиц, что составляет более 50 %. В базе CISS были зарегистрированы данные о 849, 301 и 961 ДТП соответственно. Количество зарегистрированных данных, удовлетворяющих требованиям для отбора по следующим требованиям: ненулевая грузовая нагрузка; не подсоединен прицеп составило 79, 29 и 96 соответственно.

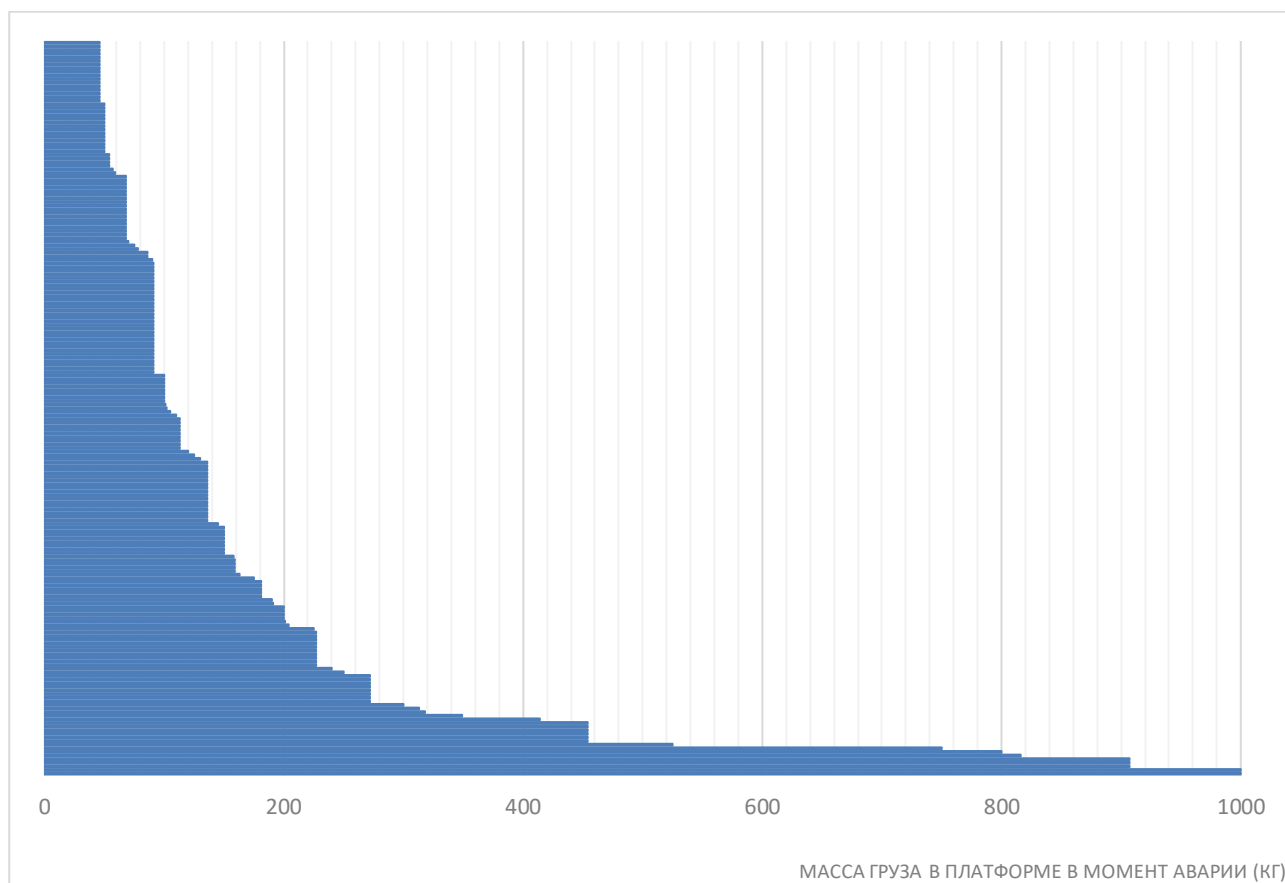


Рис. 6. Данные статистики распределения масс грузов в платформе пикапов *Chevrolet Silverado*, *GMC Sierra* и *Ford F-Series* в момент аварии

Fig. 6. Statistics on the distribution of cargos mass in the platform of *Chevrolet Silverado*, *GMC Sierra* and *Ford F-Series* pickups at the time of the accident

На рис. 6 представлены данные статистики по массе груза этих пикапов на момент лобовых столкновений. Выявлено 63, 24 и 73 случая с грузом не более 200 кг, что составляет 80,8, 82,8 и 76,0 % соответственно. В итоге примерно в 80 % случаев была нагрузка от груза с массой менее или равной 200 кг, а примерно в 90 % случаев – менее или равной 300 кг. Из

анализа статистики выбираем 200 кг как «характерную» массу для испытания прочности и пассивной безопасности задней стенки кузовов пикапов. Причина выбора 200 кг заключается в том, что большинство современных пикапов конструктивно не способны выдержать удар груза такой массы, поэтому выбор для испытания большего значения не имеет смысла. Другая причина может быть найдена в международных стандартах ЕЭК ООН №17 и шведской норме VVFS 2003:29, где масса испытательного блока (маятника) также примерно не превышает одной пятой от максимально допустимой нагрузки.

Пикапы перевозят самые разнообразные грузы. Например, мотоциклы, строительные материалы, сельскохозяйственные инструменты, мебель и др. Габариты грузов также разнообразны. В данной статье для анализа используется размер упаковки товара. В соответствии с международными стандартами размеров упаковки ISO 3394, наиболее типичные размеры грузов следующие: 1200*1000*500, 600*400*500, 400*300*400. С целью определения самого опасного габарита грузов среди типичных размеров, проведем ряд предварительных расчетов на КЭМ пикапа среднего уровня при ударах по перегородке грузами разных размеров и зафиксируем деформацию перегородки после удара (рис. 7). Соединение между перегородками и кузовом считается неразрушаемым. С уменьшением габаритов грузов максимальное смещение перегородки увеличивается с 217 до 338 мм. При меньшем размере груза имеет место меньшая площадь контакта стенки и груза, значит, увеличивается сила удара на единицу площади, что приводит к большей деформации и большей вероятности разрушения конструкции. Разница между результатами № 2 и № 3 невелика, так как верхняя кромка передней перегородки грузового отсека свободна и не имеет ограничений, эта область более склонна к деформации.

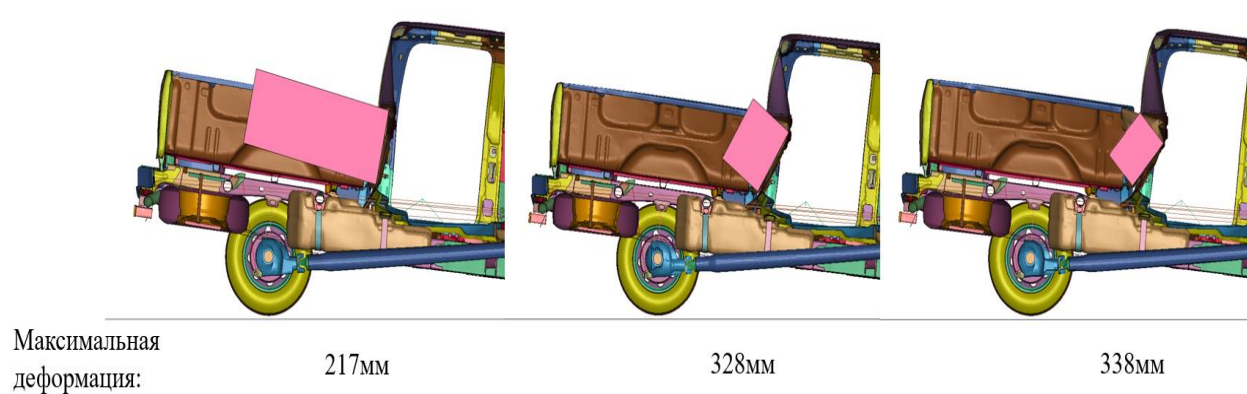


Рис. 7. Перемещения стенки при ударе блоков разных габаритов

Fig. 7. Wall displacements at impact of blocks of different sizes

Таким образом, предлагается добавить нагрузочный режим, при котором испытывается прочность и жесткость передней стенки грузового отсека и задней стенки кузова пикапов. Возможны два вида испытаний. Первый – это прямой краш-тест. Испытание рекомендовано так: груз 400*300*400 мм массой 200 кг размещается в грузовом отсеке пикапа и проводится краш-тест автомобиля с грузом при фронтальном столкновении со скоростью 50 км/ч. Поверхность площадью 400*400 мм должна быть обращена вперед. Груз должен располагаться на расстоянии 200 мм от передней панели грузового отсека и по центру относительно продольной оси. Второй метод – это салазковое испытание. Тот же самый груз размещается в том же положении в грузовом отсеке пикапа и кузов фиксируется на платформе катапульты. Далее платформа разгоняется и тормозит с заданным замедлением (или прямо разгоняется с заданным ускорением). При этом реализуется график ускорения, полученный по результатам расчета в полной постановке при моделировании полноценного краш-теста данного пикапа.

Кузов пикапов считается выдержавшим это испытание, если сохранено необходимое жизненное пространство для пассажиров заднего сидения и (или) для пассажиров переднего сидения и водителя в случае автомобилей с только одним рядом сидений.

Метод 1: а) краш-тест:

- 1) задается скорость удара равной 50 км/ч;
- 2) задается масса груза равной 200 кг;
- 3) размеры груза – 400*300*400 мм.

Метод 2: б) салазковое испытание:

- 1) задается скорость удара равной 50 км/ч;
- 2) задается такое же ускорение катапульты, как у пикапа в полной постановке при моделировании полноценного краш-теста;
- 3) задается масса груза равной 200 кг;
- 4) размеры груза – 400*300*400 мм.

Результаты имитирования

В качестве объекта выбирается грузопассажирский автомобиль типа «пикап», модель *Chevrolet Silverado 1500 MY2014*. Были проведены испытания по вышеуказанным режимам нагружения в компьютерном комплексе *LS-DYNA* (рис. 8).

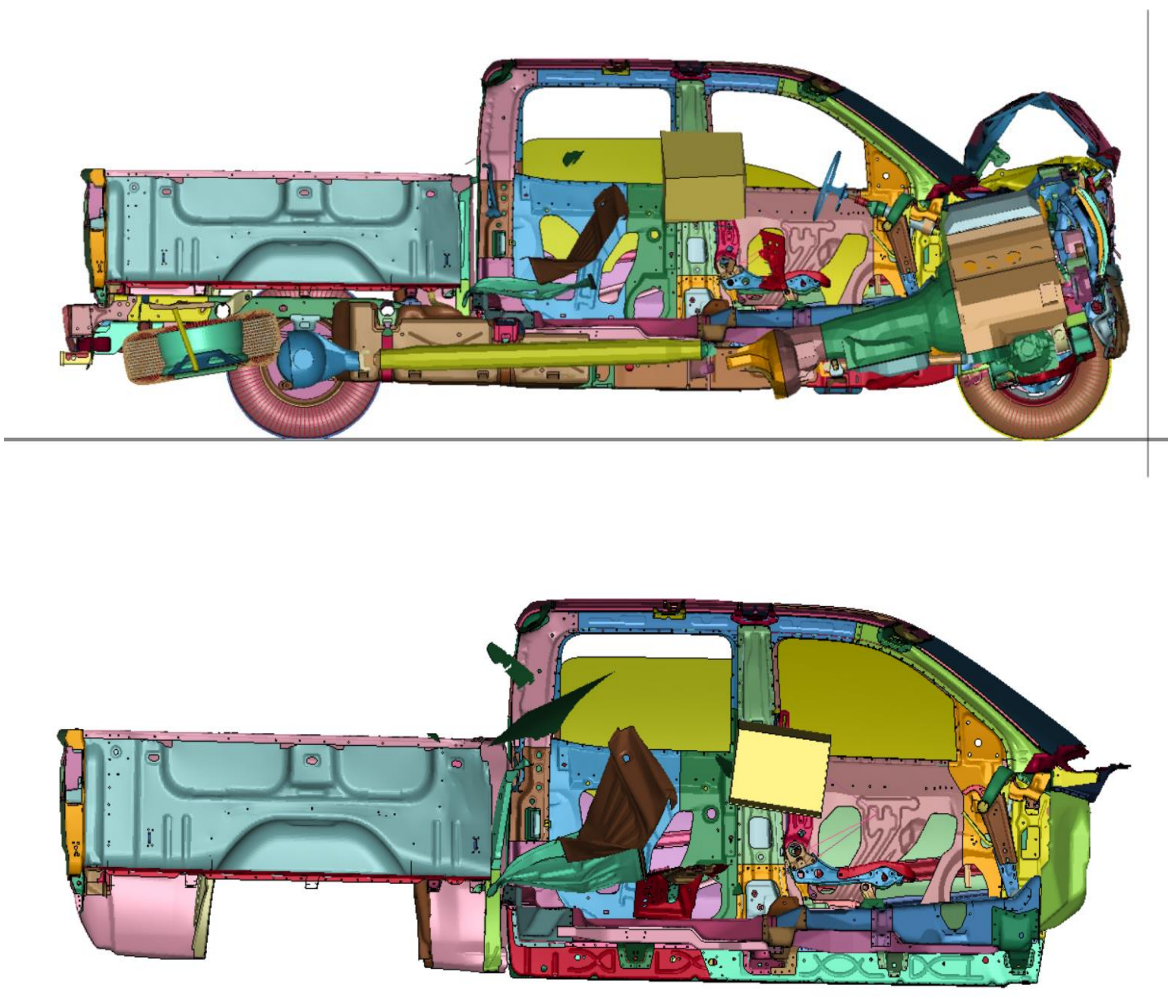


Рис. 8. Положение груза в конце испытаний

Fig. 8. Position of the cargo at the end of the test

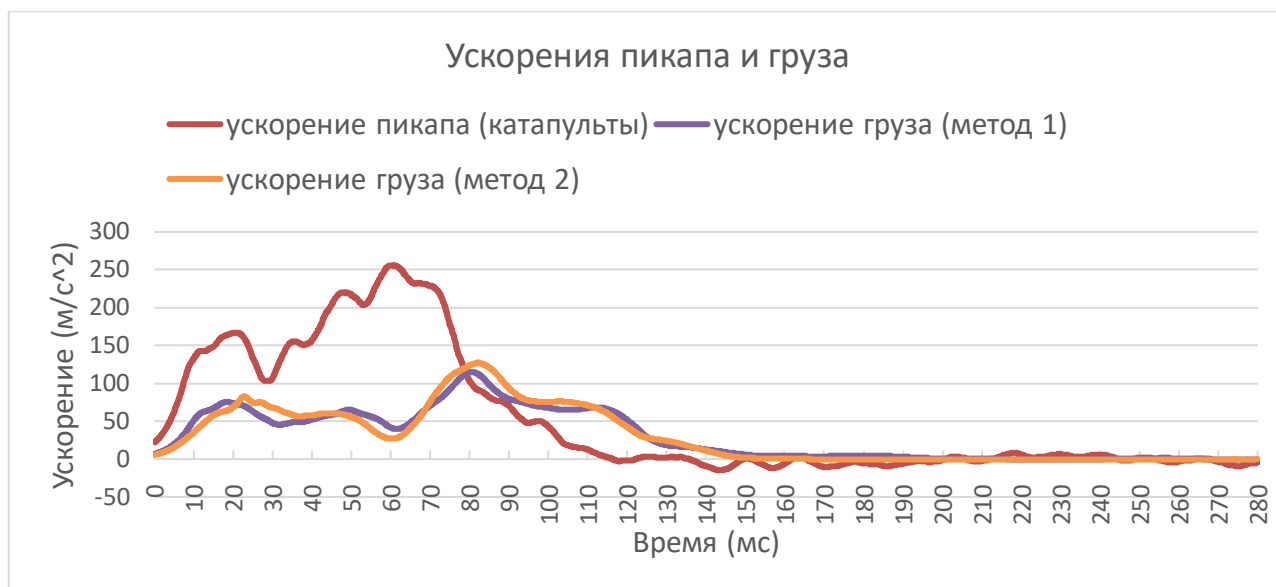


Рис. 9. Ускорение автомобиля и груза

Fig. 9. Acceleration of vehicle and cargo

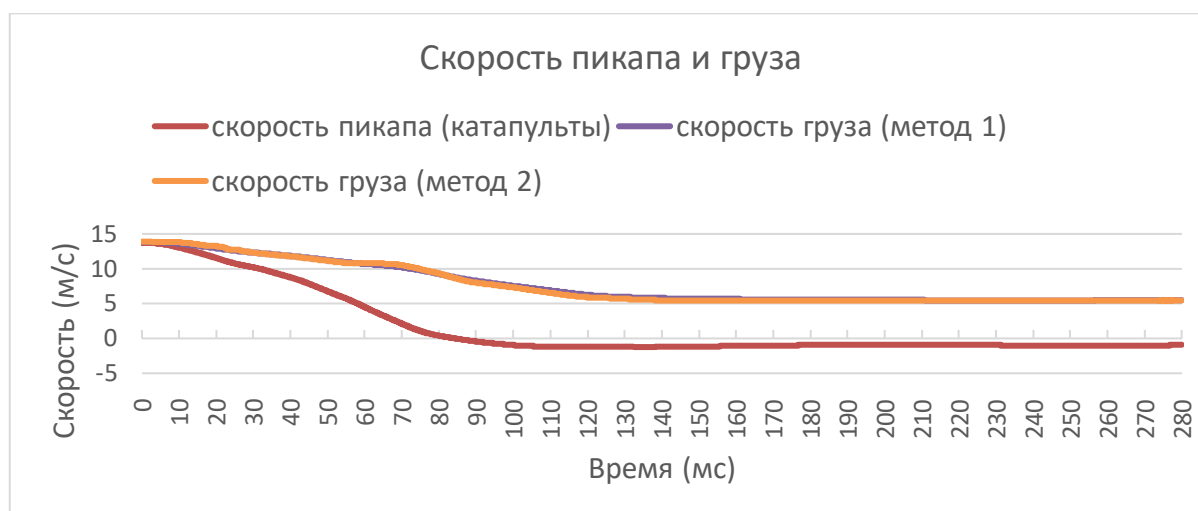


Рис. 10. Скорость автомобиля и груза

Fig. 10. Speed of vehicle and cargo

В испытании максимальное ускорение автомобиля (платформы), составляющее 259 м/с² (26,4 g), возникает на 60 мс; максимальное ускорение груза, рассчитанное по методу 1, составляет 115 м/с² (11,7 g), возникая на 81 мс; максимальное ускорение груза, рассчитанное по методу 2, составляет 127 м/с² (12,9 g), возникая на 82 мс. Погрешность метода 2 составляет 10 % по сравнению с методом 1; для ускорения она вполне допустима. Скорость автомобиля (платформы) упала до нуля на 84 мс; скорость груза не упала до нуля, до конца оставаясь 5,5 м/с. Поскольку скорость является интегралом от ускорения, график скорости можно рассматривать как естественный фильтр для графика ускорения. Кривые скорости практически совпадают, и можно предположить, что разница между результатами, полученными двумя методами, очень мала. Максимальная относительная скорость между ними составляет 8,9 м/с. Относительное смещение груза больше 1500 мм. При этом нарушается жизненное пространство для задних пассажиров. Возникает необходимость разработки конструкций кабины и грузовой платформы с применением разных материалов, в том числе, композиционных и новых технологий для обеспечения прочности кабины пикапа, а также

пассивной безопасности. Поскольку результаты моделирования показывают, что прочность и жесткость задней части кабины слишком низкая, следует также рассмотреть и испытать на пикапах прочность и жесткость спинок задних сидений и подголовников. Спинки и подголовники являются важными силовыми элементами для защиты водителя и пассажиров в случае смещения грузов.

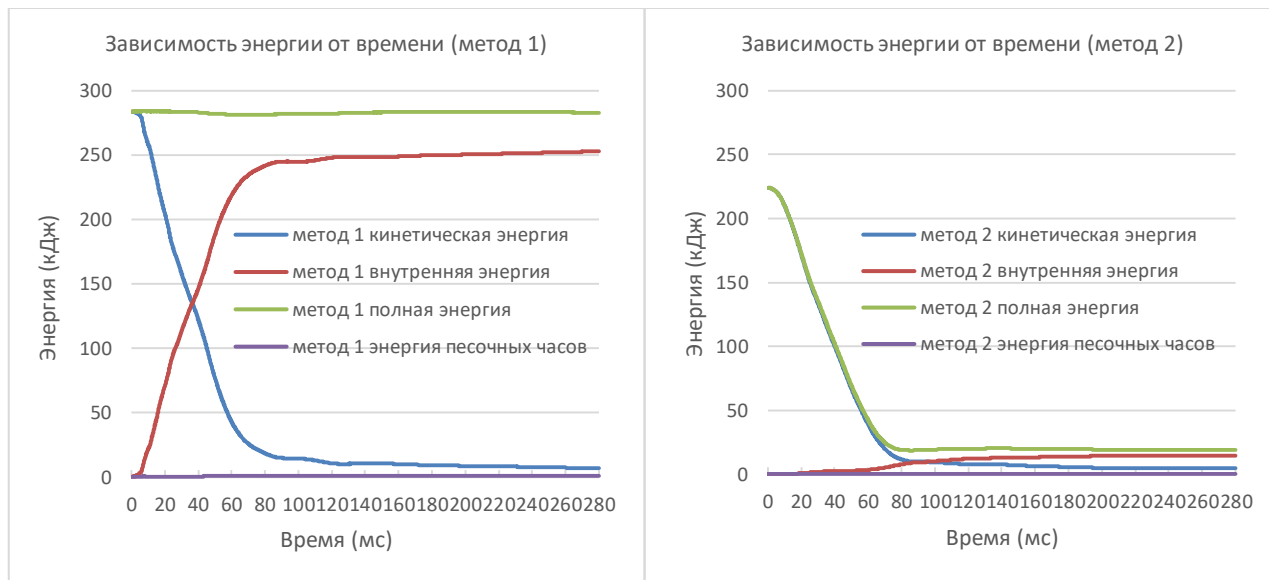


Рис. 11. Графики зависимости полной энергии, внутренней энергии и кинематической энергии автомобиля с грузом от времени

Fig. 11. Total energy, internal energy and kinematic energy of loaded car as a function of time

Кривые графиков изменений энергий при расчетах по этим двум методам различаются. В методе 1 происходит столкновение автомобиля с жесткой стеной, и полная энергия системы остается постоянной на протяжении всего процесса; в методе 2 катапульта и автомобиль замедляются за счет приложения внешнего замедления (силы), и полная энергия системы уменьшается на протяжении всего процесса в результате работы, совершенной внешней силой.

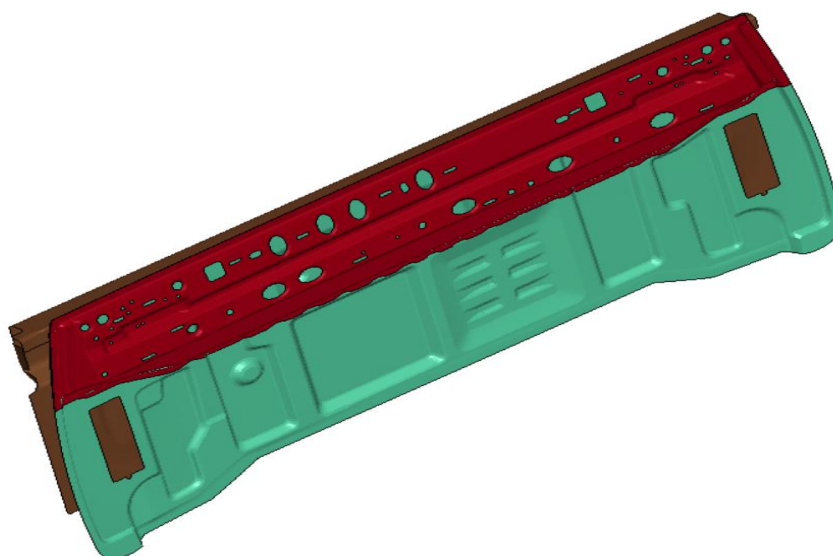


Рис. 12. Основные элементы поглощения энергии удара груза

Fig. 12. Main elements of load impact energy absorption

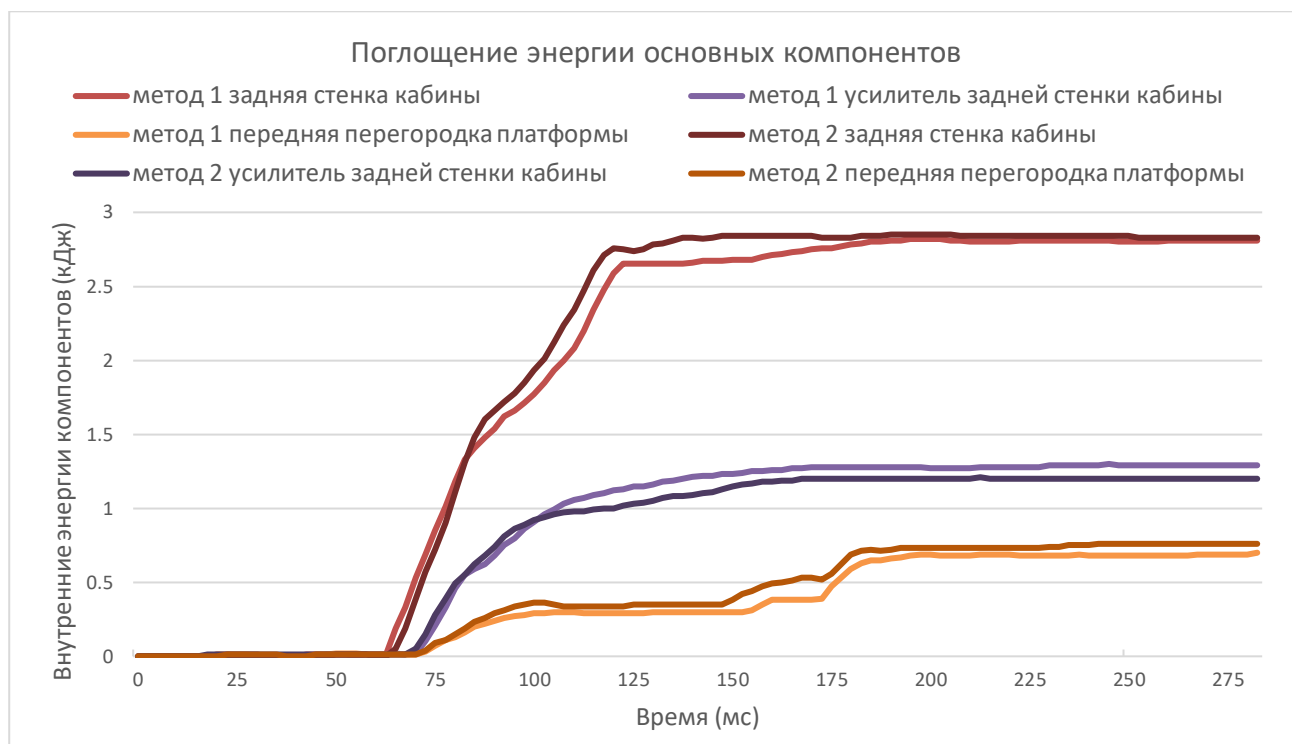


Рис. 13. График зависимости количества поглощения энергии основных компонентов от времени

Fig. 13. Energy absorption quantity of main elements as a function of time

Энергия удара груза в основном поглощается компонентами, показанными на рис. 13. В задней части кабины основными из них являются для обоих методов передняя перегородка грузовой платформы, задняя стенка кабины и усилитель задней стенки кабины. Количество энергии, поглощаемой этими компонентами в обоих методах, показано ниже. Погрешность метода 2 по сравнению с методом 1 также не превышает 10 %.

Таблица 1. Поглощаемая энергия основных компонентов в методе 1 и методе 2

Table 1. Absorbed energy of main elements in methods 1 and 2

Поглощаемая энергия (кДж)	Метод 1	Метод 2	Погрешность
передняя перегородка платформы	2,81	2,83	1 %
задняя стенка кабины	1,29	1,20	7 %
усилитель задней стенки кабины	0,70	0,76	9 %

С-стойка и крышка почти не восприняли энергию из-за разрушений сварных соединений между ней и задней стенкой. Улучшение конструкции задней части кабины пикапов можно реализовать с помощью упрочнения самой задней стенки, усиления точек соединений между задней стенкой и С-стойкой и применения топологической и параметрической оптимизаций.

По сравнению с методом 1 («краш-тест»), погрешность результатов по методу 2 («салазковое испытание») не более 10 %, в то время как нагрузка на вычислительные ресурсы существенно меньше. Время расчета по методу 1 составляет около 180 часов, а по методу 2 – около 80 часов (сократилось на 55 %). Таким образом, этот метод позволит снизить время выполнения расчетных итераций по доработке конструкции и достичь целевых параметров по прочности кабины в более короткие сроки, гарантируя при этом приемлемую точность

расчетов. Кроме того, корректность выводов, сделанных по результатам расчетов, проверяется салазковым испытанием, а не дорогостоящим краш-тестом.

Заключение

1. По данным статистики, более 90 % легковых пикапов имеют барьерную эквивалентную скорость, менее или равную 50 км/ч при лобовых столкновениях; 80 % легковых пикапов имеют массу груза, менее или равную 200 кг в момент лобового столкновения. Из типичных размеров упаковки товаров, 400*300*400 мм является самым опасным для испытания. Поэтому для обеспечения прочности, жесткости и безопасности заднего пассажирского салона при столкновении с грузом рекомендуются следующие условия нагружения: 1) скорость автомобиля – 50 км/ч; 2) масса груза – 200 кг; 3) размер груза – 400*300*400 мм.

2. По сравнению с методом «краш-тест», метод «салазковое испытание» дает результаты с погрешностью не более 10 %, а вычислительные ресурсы сокращаются более чем на 50 %, что значительно ускоряет процесс расчетных итераций по доработке конструкции пикапов. Кроме того, такой метод требует меньше финансовых затрат на этапе проверки.

3. Результаты имитирования показывают, что рассматриваемый режим нагружения действительно опасен для водителей и пассажиров легковых пикапов: груз вторгается в кабину на расстояние более 1500 мм, полностью уничтожая жизненное пространство для пассажиров задней части кабины и продолжая двигаться вперед со скоростью 5,5 м/с. Во время замедления пиковое ускорение груза составляет около 12 g. Основными энергопоглощающими компонентами в задней части кабины являются передняя перегородка платформы, задняя стенка кабины и усилитель задней стенки кабины.

4. Для обеспечения безопасности автомобилей пикапы должны иметь улучшенную конструкцию кузова, более прочные материалы и крепления. В частности, необходимо усилить заднюю стенку пассажирского салона и переднюю панель грузового отсека. Кроме того, прочность и жесткость спинок задних сидений и подголовников в пикапах также должны быть проанализированы и испытаны.

Библиографический список

1. ВОЗ ООН. Официальный сайт [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/road-traffic-injuries> (дата обращения: 29.03.2023).
2. NHSTA. Официальный сайт [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.nhtsa.gov> (дата обращения: 29.03.2023).
3. **Рябчинский, А.И.** Правила № 29 ЕЭК ООН нуждаются в переработке. Факт и история вопроса / А.И. Рябчинский, И.А. Плиев, В.И. Сальников, Г.К. Минеев // Автомобильная промышленность. 2005. № 1. С. 35-37.
4. **Liu Y.** Simulation analysis and experimental research for occupant safety of commercial vehicle cab. – Jilin, 2011. – 98p.
5. **D. Doecke Sam, R.J. Matthew, C.N. Baldock, J. Kloeden, K. Dutschke.** Impact speed and the risk of serious injury in vehicle crashes. Accident Analysis & Prevention. 2020. Vol. 144.

*Дата поступления
в редакцию: 19.12.2023*

*Дата принятия
к публикации: 10.01.2024*