

УДК 004.942

С.Н. ПОДДУБКО, канд. техн. наук, доц.
генеральный директор¹
E-mail: p-s-n@tut.by

А.В. ШМЕЛЕВ, канд. техн. наук
начальник Республиканского компьютерного центра машиностроительного профиля¹
E-mail: shmeliov.alexsei@gmail.com

В.И. ИВЧЕНКО
начальник отдела автомобилей Республиканского компьютерного центра машиностроительного профиля¹
E-mail: oimoa@tut.by

А.В. ОМЕЛЮСИК
заведующий сектором расчетов и виртуальных испытаний мобильных машин и компонентов РКЦМП¹
E-mail: alexlifting@mail.ru

М.Ю. БОРБОВСКИЙ
младший научный сотрудник¹
E-mail: Barbouski_m@mail.ru

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь

Поступила в редакцию 30.07.2018.

МОБИЛЬНЫЕ ДЕМПФЕРНЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ДТП С УЧАСТИЕМ МАШИН ДОРОЖНЫХ СЛУЖБ

В статье выполнен анализ статистики ДТП с участием машин дорожных служб, дана оценка тяжести последствий таких аварий. Обобщен мировой опыт и показана эффективность применения мобильных демпферных устройств, предназначенных для минимизации последствий ДТП. Приведена классификация и описание существующих конструкций. Проанализирована нормативная база применения и испытаний демпферных устройств, приведены критерии оценки их эффективности. Приведено краткое описание разрабатываемых отечественных демпферных устройств легкого и тяжелого классов. Для сокращения затрат времени и средств на разработку предложены методические рекомендации по проведению компьютерного моделирования испытаний демпферных устройств с использованием верифицированных моделей автомобилей. Описаны графические и численные результаты виртуальных испытаний на примере конструкции мобильного прицепного устройства тяжело класса собственной разработки. Полученные значения контролируемых показателей безопасности находятся в допустимых пределах.

Ключевые слова: мобильное демпферное устройство, автомобиль прикрыва, испытания, компьютерное моделирование, метод конечных элементов, ударное взаимодействие, краш-тест

Введение. Ежегодно в мире от столкновения с машинами дорожных служб страдает около 4 тысяч человек. В Российской Федерации в 2017 году по сравнению с 2014 годом на 38,7 % выросло количество случаев наездов на работников дорожных служб. В числовом выражении таких аварий произошло 4,4 тысячи, в результате чего погибли 600 человек; ранено 5,5 тысяч человек (участников дорожного движения и работников дорожных служб). По статистике каждое четвертое ДТП, совершенное на московских автомагистралях в ночное время, происходит с участием дорожно-ремонтных служб. Аналогичные негативные тенденции по аварийности отмечаются и в Республике Беларусь. В 2016 году в 15 ДТП с участием дорожной и эксплуатационной техники погибли 9 человек и 13 получили ранения [1, 2].

ДТП с участием дорожно-ремонтных служб, как правило, происходят на автодорогах с повышенным скоростным режимом, а также городских магистралях с интенсивным движением. При этом такие ДТП характеризуются высокой тяжестью последствий для их участников (рисунок 1).

Проведенный надзорными органами детальный анализ причин роста количества ДТП с участием дорожных служб не выявил существенных нарушений требований действующих нормативных правовых актов по организации безопасности дорожного движения в местах производства работ. В связи с чем становится очевидной необходимость пересмотра самого порядка проведения работ на проезжей части улиц и дорог в части изменения подходов и применяемых технологий, в том числе путем применения современных



Рисунок 1 — ДТП с участием машины прикрытия дорожных служб на трассе М4 [3]

технических средств обеспечения безопасности на дороге.

Организационно-технические мероприятия снижения количества ДТП с участием дорожных служб. Наиболее эффективно проблема аварийности на дорогах решается в Швеции, в которой принята концепция «нулевой смертности», построенная на двух положениях: «люди несовершенны и склонны совершать ошибки» и «автомобильно-транспортная система должна быть безупречна». В основу закона, закрепляющего исполнение указанной концепции, положено планирование безопасности. Для достижения поставленной цели снижения смертности на дорогах объединили свои усилия не только множество фирм, занимающихся строительством и обслуживанием дорог, производством автомобилей, но и компании в сфере услуг и безопасности, а также были введены меры по устранению смертельных случаев и травм в автокатастрофах в целом. Внедрение данной концепции планирования безопасности в Швеции и Дании в период с 1990 по 2000 год позволило сберечь 145 тысяч жизней. Сегодня в Швеции число погибших в ДТП на 100 тысяч жителей составляет 3 человека. Для сравнения в России эта цифра составляет около 21 человека, в Беларуси — 14 человек. Поставив на высокий уровень организацию безопасности движения, теперь они предпринимают попытки уменьшить издержки от влияния «человеческого фактора». Одной из организационных мер по уменьшению количества смертельных случаев на дорогах стало оснащение дорожных служб, а также дорожной инфраструктуры специальными мобильными демпферными устройствами [4].

В Российской Федерации распоряжением Правительства от 8 января 2018 года N 1-р утвержде-

на Стратегия безопасности дорожного движения на 2018–2024 годы, предусматривающая планы по сокращению социальных рисков до 4 погибших в ДТП на 100 тысяч человек, и полному сокращению количества аварии с погибшими к 2030 году [5]. В настоящее время формируется план мероприятий по реализации указанной стратегии.

Вопрос необходимости оснащения демпферными устройствами дорожной техники в Республике Беларусь неоднократно поднимался на разных уровнях. Например, в июне 2017 года на Постоянной комиссии по обеспечению безопасности дорожного движения при Совете Министров. Несмотря на острую востребованность дорожных служб, внедрение данных устройств в технологический процесс проведения ремонтных работ на дорожной сети республики сдерживается высокой стоимостью импортных изделий, и отсутствием производства мобильных демпфирующих устройств в странах Таможенного союза. В связи с чем принято решение по разработке конструкции и освоению отечественного производства травмобезопасных мобильных демпферных устройств для машин прикрытия дорожных служб.

Эффективность применения мобильных демпферных устройств. Применение мобильных демпферных устройств (аттенюаторов) минимизирует последствия от столкновения транспортных средств с дорожно-строительной техникой во время выполнения дорожных работ по содержанию автодорог, обеспечивает защиту дорожных рабочих, снижение материальных затрат на ремонт дорогостоящей техники и элементов дороги. Устройства (рисунок 2) обеспечивают плавное гашение (поглощение) кинетической энергии таранящего автомобиля при ДТП, фактически выполняя функцию подушки, снижающей силу его удара,



Рисунок 2 — Прицепное мобильное демпферное устройство [6]

путем увеличения времени процесса столкновения. Минимизация негативных последствий для участников аварии заключается в снижении риска получения травм водителем и пассажирами таранящего автомобиля, водителем автомобиля прикрытия дорожной сервисной службы (при резком продвижении вперед машины прикрытия возможны повреждения головы и шеи), а также дорожных рабочих (от наезда автомобилем прикрытия). Защита дорогостоящей специализированной дорожной техники и технологического оборудования, зачастую имеющегося в единичном экземпляре, предотвращает срыв сроков выполнения работ по объекту реконструкции или строительства и минимизирует убытки организации.

Дорожные демпферные системы признаны средствами технической безопасности на дорогах 60 стран мира. Они принимают около 7 тысяч столкновений ежегодно, обеспечивая снижение количества аварий с тяжелыми последствиями и летальным исходом в пять раз. При ДТП с участием автомобилей, соответствующих классу защиты устройства, они практически полностью исключают возможность наступления тяжелых последствий [7].

Мировыми лидерами по производству прицепных мобильных демпферных устройств являются компании: TraFix Devices, Inc. (США), Barrier Systems (США) и Verdegro Group (Нидерланды).

Особенности конструкции мобильных демпферных устройств. Известные зарубежные разработки демпферных систем аналогичного назначения в качестве базовой идеи конструкции используют принцип поглощения энергии ударных воздействий в результате пластической деформации или разрушения специально сконструированных элементов. Важным этапом решения данной задачи является выбор параметров демпферных элементов и нахождение эффективных конструкторских и технологических решений, обеспечивающих за-

данную динамическую реакцию при импульсных ударных нагрузках.

Первые мобильные демпферные устройства начали применяться еще в начале 1970-х годов, однако в современном виде их конструкция сформировалась в середине 1990-х годов.

В настоящее время в мире (преимущественно в США и странах Евросоюза) изготавливаются два типа мобильных демпферов: навесные, предназначенные для монтажа на задней части рамы грузового автомобиля, и прицепные, устанавливаемые, как правило, на одноосном прицепном шасси, работающие в сцепке с грузовым автомобилем. Прицепная конструкция обладает высокой мобильностью (может быть быстро пересцеплена с другим тягачом), накладывает меньшие ограничения на функциональные возможности дорожной техники, практически не требует доработки буксирующего автомобиля, но при этом она менее маневренна в сравнении с навесной конструкцией из-за своих габаритов. Основными недостатками навесных мобильных демпферов являются следующие: необходимость вмешательства в конструкцию автомобилей прикрытия при их монтаже (требуется установка на раму автомобиля монтажной плиты для навески устройства), относительно высокая длительность монтажа и демонтажа. Установка навесного устройства в заднем свесе автомобиля накладывает определенные ограничения на функциональные возможности использования дорожной машины по основному назначению.

Гасящие элементы современных мобильных демпферных устройств изготавливаются в виде секций (картриджей), состоящих из набора пространственных сотовых конструкций, образованных в большинстве случаев профилированными стальными оцинкованными или алюминиевыми полосами различной толщины, а также в виде рамных или каркасных энергопоглощающих конструкций, силовые элементы которых при столкновении с таранящим автомобилем сминаются, изгибаются, закручиваются или разрезаются ножами.

Нормативные требования к мобильным демпферным устройствам. В настоящее время ведутся работы по введению в действующие ТНПА требований, касающихся регламентации применения мобильных демпферных устройств. В частности, вносятся соответствующие изменения в действующий в Республике Беларусь ТКП 172-2009 «Обустройство мест производства работ при строительстве, реконструкции, ремонте и содержании автомобильных дорог и улиц населенных пунктов». При этом в странах Таможенного Союза отсутствуют нормативные документы, регламентирующие требования по испытаниям эффективности и безопасности мобильных дорожных демпферных устройств.

В США в 2009 году был введен норматив MASH (Manual for Assessing Safety Hardware), ре-

гламентирующий требования к характеристикам, классификации и методам испытаний данного вида устройств. В документе описаны условия проведения натуральных испытаний демпферных устройств при фронтальном ударе, столкновении с перекрытием и под углом легковым автомобилем массой 1100 кг и пикапом массой 2270 кг на скорости 100 км/ч — для устройств третьего класса или 70 км/ч — для устройств второго класса (таблица) [8].

Критериями оценки эффективности демпферных устройств согласно MASH являются риск для пассажиров и структурная целостность. Устройство не должно разлетаться на части, способные нанести вред человеку. В ходе испытаний контролируется скорость удара человека (OIV) — это скорость, с которой гипотетическая точечная масса пассажира сталкивается с поверхностью условного салона авто. Проще говоря, это скорость, с которой голова водителя транспортного средства ударяет по внутренней части транспортного средства во время столкновения. Эта скорость определяется для момента времени T , соответствующего перемещению на расстояние 0,6 м гипотетической точечной массы пассажира. Перемещение вызвано замедлением движения автомобиля в результате столкновения. Максимально допустимое значение скорости удара человека составляет 12,2 м/с (43 км/ч), а предпочтительное значение не должно превышать 9,1 м/с (32 км/ч) в продольном и поперечном направлениях. Также оценивается замедление человека — самая высокая продольная и поперечная составляющая результирующего ускорения транспортного средства, осредненная с использованием окна размером 10 мс импульса столкновения после удара человека. При этом анализируется только часть процесса замедления после времени T . Значение замедления предпочтительно должно быть ограничено величиной перегрузки 15g с максимумом не более 20,49g (g — ускорение свободного падения, равно 9,81 м/с²).

Норматив MASH содержит также рекомендации по выбору моделей испытательных автомобилей, используемых для столкновения с исследуемым демпферным устройством.

Фрагменты процесса натуральных испытаний навесного демпферного устройства тяжелого клас-

са производства фирмы Verdegro при столкновении с автомобилем массой 2270 кг на скорости 100 км/ч (тест № 51) приведены на рисунке 3.

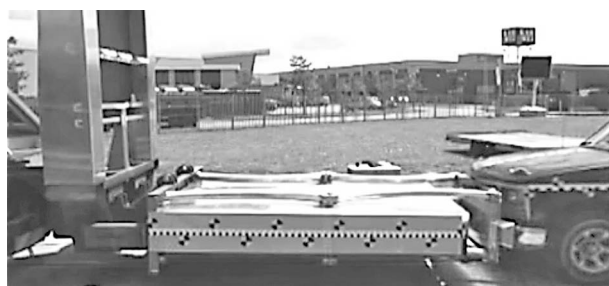
Разработка отечественных мобильных демпферных устройств. Принимая во внимание большое разнообразие автомобильного парка машин прикрывающих дорожных служб, представленного автомобилями полной массой от 3,5 до 33,5 тонн, и опираясь на мировой опыт эксплуатации аналогичных устройств, было принято решение разработать базовые конструкции травмобезопасных мобильных демпферных устройств прицепного типа обоих классов (легкой и тяжелой серии). Устройства тяжелой серии класса 3 (более энергоемкие) предусмотрены для эксплуатации в сцепке с грузовыми автомобилями повышенной грузоподъемности массой от 8 тонн на магистральных автодорогах, где благодаря их высокой массе может быть поглощена большая энергия от столкновения, а устройства легкой серии класса 2 (менее энергоемкие) — в сцепке с малотоннажными грузовыми автомобилями, преимущественно используемыми для обслуживания местных дорог с ограничением скоростного режима до 90 км/ч.

Кроме обеспечения функций активной безопасности (демпфирования столкновения), устройства будут также выполнять функции пассивной безопасности. С целью обеспечения наилучшей видимости на дороге и информирования участников дорожного движения о текущей дорожной ситуации устройства будут оснащаться энергоэффективными информационными щитами со светодиодными лампами или табло переменной информации (динамическое отображение информации) и регулируемыми дорожными знаками. Информационный щит будет приводиться в рабочее вертикальное положение габаритной высотой до 4 м подъемным механизмом с электрическим приводом. Устройство также будет оборудовано проблесковыми маячками, световозвращателями и окрашено в сигнальные цвета.

В настоящее время специалисты Республиканского компьютерного центра машиностроительного профиля Объединенного института машиностроения НАН Беларуси ведут разработку конструкций устройств и оценку показателей обеспечения безопасности участников дорож-

Таблица — Условия проведения натуральных испытаний согласно MASH

Условия испытаний		Номер теста MASH (классы 2/3)			
		50	51	52	53
Ударяющий автомобиль	масса, кг	1100	2270	2270	2270
	скорость, км/ч	70/100	70/100	70/100	70/100
Условия столкновения	точка столкновения	осевая линия	осевая линия	смещение 1/3	смещение 1/4
	позиционирование	прямолинейное	прямолинейное	прямолинейное	под углом 10°



а



б



в



г

Рисунок 3 — Фрагменты видеозаписи процесса натуральных испытаний навесного демпферного устройства тяжелого класса производства фирмы Verdegro [9]

ного движения и работников дорожных служб с использованием комплекса методов и средств компьютерного моделирования процесса столкновения (виртуальных краш-тестов) автомобилей с проектируемыми вариантами демпфирующих устройств.

Разработанные в институте методики компьютерного моделирования быстротекающих динамических процессов позволяют на ранних стадиях проектирования определить эффективность конструктивных и технологических

решений, а также оценить соответствие контролируемых показателей заданным нормативным требованиям. Данные подходы реализованы с применением программного комплекса ANSYS LS-DYNA (компании ANSYS и LSTC, США), прошедшего многократную проверку корректности решения задач механики деформируемого твердого тела в явной постановке.

В общем виде методика компьютерного моделирования испытаний демпферного устройства, включает следующие этапы:

1. Разработка конечно-элементной модели исследуемого варианта конструкции демпферного устройства.

2. Разработка конечно-элементной модели испытательного транспортного средства, взаимодействующего с устройством.

3. Разработка конечно-элементной модели автомобиля прикрытия (с которым агрегируется демпферное устройство).

4. Задание начальных и граничных условий, соответствующих условиям проведения испытаний.

5. Компьютерное моделирование ударного взаимодействия транспортного средства с демпферным устройством.

6. Анализ результатов расчета (определение показателей обеспечения безопасности, наиболее нагруженных зон, вариантов изменения параметров конструкций и их материалов).

7. Внесение изменений в первоначальный вариант конструкции устройства и повторение этапов 1, 3, 4 и 5.

8. Анализ и обобщение полученной в ходе моделирования информации и определение конкретных решений по исполнению конструкции, выбору материалов, технологии изготовления и т. д.

При этом в качестве конечно-элементной модели испытательного транспортного средства, указанной в пункте 2, можно использовать модели автомобилей, разработанные в Национальном центре анализа столкновений Национальной администрации безопасности дорожного движения США (NHTSA National Crash Analysis Center) [10]. Разработанные и верифицированные данной организацией модели автомобилей соответствуют по всем основным техническим характеристикам автомобилям, упоминаемым в нормативах по обеспечению дорожной безопасности, среди которых и документ MASH.

На промежуточных стадиях разработки исследования могут выполняться по сокращенным процедурам. Например, можно анализировать результаты столкновения ударяющего транспортного средства с демпферным устройством, зафиксированным с противоположной стороны удара. Таким образом оценивается влияние различных конструктивных решений устройства на процесс поглощения им энергии удара, прочностные характеристики крепежных элементов и т. д.

Компьютерная модель для проведения виртуальных испытаний варианта проектируемого прицепного демпферного устройства тяжелой серии, разработанная с учетом описанных выше рекомендаций, приведена на рисунке 4.

Фрагменты анимации результатов компьютерного моделирования процесса испытаний приве-

дены на рисунке 5. Условия соответствуют тесту № 51 MASH: прямолинейное движение автомобиля перед столкновением со скоростью 100 км/ч; масса автомобиля 2270 кг; смещение продольных осей автомобиля и устройства отсутствует. В качестве модели испытательного автомобиля используется модель пикапа Chevrolet C1500 [10].

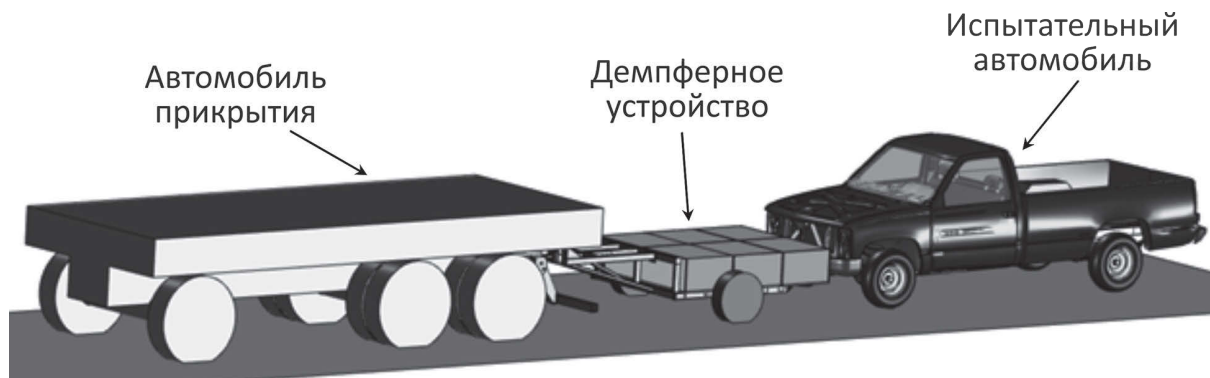


Рисунок 4 — Компьютерная модель для проведения виртуальных испытаний разрабатываемого прицепного демпферного устройства

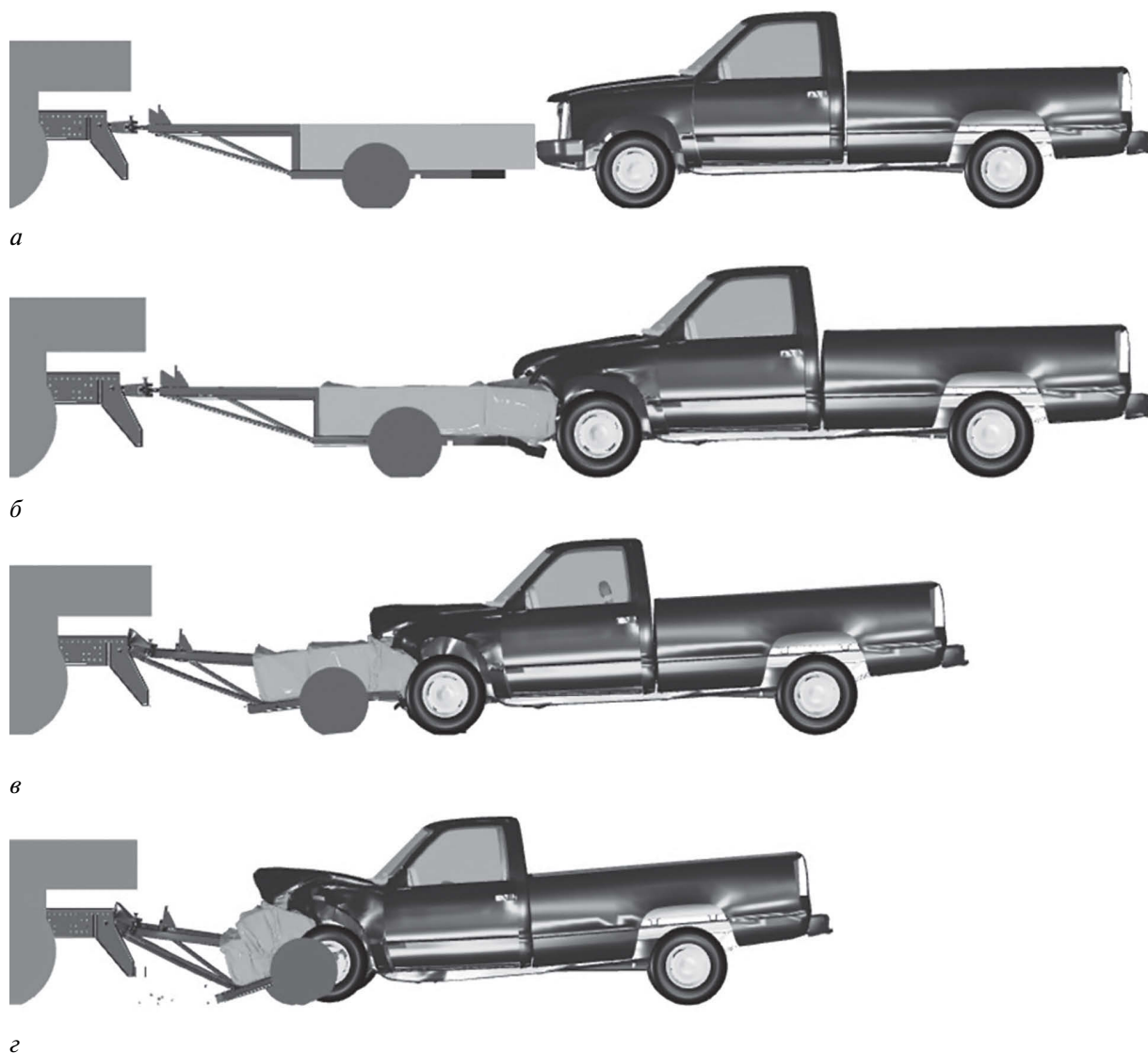


Рисунок 5 — Фрагменты анимации процесса виртуальных испытаний разрабатываемого прицепного демпферного устройства. Время процесса столкновения, с: а — 0; б — 0,03; в — 0,09; г — 0,16

На рисунке 6 приведены графические зависимости, описывающие результаты определения: момента времени T , соответствующего перемещению на расстояние 0,6 м гипотетической точечной массы пассажира; скорости удара (OIV) и максимальной величины замедления пассажира.

Согласно приведенным результатам компьютерного моделирования испытаний, гипотетическая точечная масса пассажира перемещается на расстояние 0,6 м в момент времени $T = 0,108$ с. Оцениваемая скорость удара OIV = 11,7 м/с, что не превышает максимальное допустимое нормативом значение 12,2 м/с. Анализ процесса изменения замедления после времени T показывает, что наибольшее значение замедления имеет место на 0,168 с и составляет 191 м/с² или же 19,5g. Эта величина не превышает максимальное допустимое значение перегрузки 20,49g. Необходимо также отметить, что деформации пассажирского отделения салона автомобиля незначительны. Таким образом, на основании полученных расчетных данных можно заключить, что конструкция проектируемого устройства по данному виду испытаний соответствует требованиям норматива MASH.

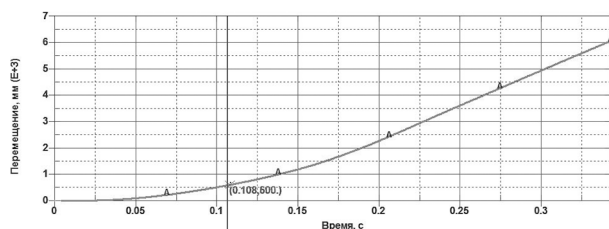
Заключение. Разработка и освоение производства демпферных устройств является актуальной задачей для стран Таможенного союза. Отсутствие опыта создания таких устройств, жесткие требова-

ния международных нормативных технических актов, предъявляемые к ним, сложность процессов, протекающих в результате ударного взаимодействия при столкновении таранящего автомобиля с демпферным устройством и машиной прикрытия, и высокая стоимость проведения натурных испытаний требуют организации проведения многоуровневых и многовариантных расчетов и виртуальных испытаний компьютерных моделей устройств с целью получения полной информации о проектируемых объектах, их характеристиках, прогнозных показателях прочности основных узлов еще до изготовления опытных образцов, и определения наиболее рациональных путей управления свойствами демпферных устройств, в том числе направленных на повышение эффективности и безопасности их использования. В совокупности комплекс проводимых исследований обеспечивает сокращение материальных и временных затрат на создание и освоение продукции, а также достижение технических характеристик и потребительских свойств на уровне лучших зарубежных аналогов.

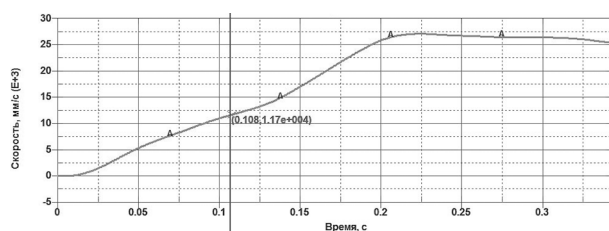
В ходе проведенных специалистами института полномасштабных исследований предложены и реализованы методические рекомендации по проведению компьютерного моделирования испытаний демпферных устройств собственной разработки.

Список литературы

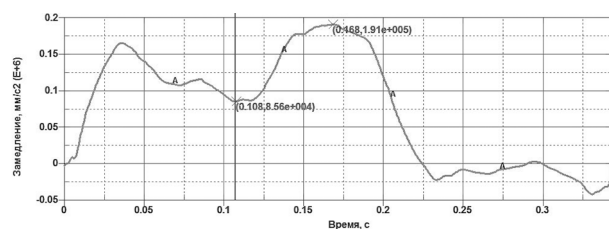
1. Статистика автокатастроф за 2018 год в России. [Электронный ресурс] // PROводим24.ru. — Режим доступа: <http://provodim24.ru/statistika-dtp.html>. — Дата доступа: 04.07.2018.
2. Федоров, А. Подушка для зазевавшихся. [Электронный ресурс] / А. Федоров // Московская правда. — 2007 — Режим доступа: <http://old.mospravda.ru/issue/2007/09/29/article8603/>. — Дата доступа: 05.07.2018.
3. Петрович, В. Серьезное ДТП на могильской трассе с участием ремонтников: трое пострадавших, один — в тяжелом состоянии. [Электронный ресурс] В. Петрович, А. Гомыляев // Onliner. Авто. — Режим доступа: <https://auto.onliner.by/2018/05/08/dtp-9336>. — Дата доступа: 05.07.2018.
4. Шведский опыт безопасных дорог. Они знают, что делать! [Электронный ресурс] // Межрегиональный общественный Центр «За безопасность российских дорог». — Режим доступа: <http://zadorogi.ru/inoexp/289/>. — Дата доступа: 06.07.2018.
5. Об утверждении Стратегии безопасности дорожного движения в Российской Федерации на 2018–2024 годы: Распоряжение Правительства РФ от 08.01.2018 № 1-р [Электронный ресурс] // Законы, кодексы и нормативно-правовые акты Российской Федерации. — Режим доступа: <http://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-08012018-n-1-r-ob-utverzhenii/>. — Дата доступа: 06.07.2018.
6. Botsabsorber.nl [Electronic resource]. — Mode of access: <https://www.botsabsorber.nl/modellen/>. — Date of access: 06.07.2018.
7. Дорожная инерционная демпфирующая система. [Электронный ресурс] // Банк патентов. Новые изобретения российских авторов. Информационный портал российских изобретателей. — Режим доступа: <http://bankpatentov.ru/node/48696>. — Дата доступа: 10.07.2018.
8. Sicking, D. Manual for Assessing Safety Hardware / D. Sicking. — 2nd ed. — American Association of State Highway and Transportation Officials, 2016. — 255 p.



а



б



в

Рисунок 6 — Результаты виртуальных испытаний разрабатываемого прицепного демпферного устройства:

а — процесс перемещения; б — процесс скорости удара (OIV); в — процесс замедления

9. Verdegro TMA US crashtest NCHRP 350 3-51 [Electronic resource] // Verdegro Group. — Mode of access: <https://www.youtube.com/watch?v=O6XMf97mKsw>. — Date of access: 11.07.2018.
10. A Vision for Safety [Electronic resource] // NHTSA. — Mode of access: <https://www.nhtsa.gov/>. — Date of access: 12.07.2018.

PODDUBKO Sergey N., Ph. D. in Eng., Assoc. Prof.

Director General¹

E-mail: p-s-n@tut.by

SHMIALIOU Aliaksei V., Ph. D. in Eng.

Chief of the Republican Computer Center of Mechanical Engineering¹

E-mail: shmeliov.alexei@gmail.com

IVCHENKO Vadim I.

Head of the Department of Automobiles of the Republican Computer Center of Mechanical Engineering¹

E-mail: oimoa@tut.by

OMELUSIK Aliaksei V.

Head of the Department of Calculations and Virtual Tests of Mobile Machines and Components of the Republican Computer Center of Mechanical Engineering¹

E-mail: alexlifting@mail.ru

BARBOUSKI Maxim Yu.

Junior Researcher¹

E-mail: Barbouski_m@mail.ru

¹The Joint Institute of Mechanical Engineering of the NAS of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received 30 July 2018.

TRUCK MOUNTED ATTENUATORS TO MITIGATE THE CONSEQUENCES OF ACCIDENTS WITH ROAD SERVICE VEHICLES

The analysis of road accidents statistics with the participation of road services vehicles is assessed with the severity estimation of such accidents consequences. The world successful experience of truck mounted attenuators application used for road accident consequences minimization is summarized. Classification and the description of the existing devices designs are given. The regulatory framework of truck mounted attenuators application and testing is analyzed, criteria for their effectiveness evaluation are stated. A brief description of the attenuators under developed of light and heavy classes is given. To reduce development time and resources proposed the guideline for computer simulation of attenuators testing with the use of verified computer cars models. Graphical and numerical results of virtual tests are described on the example of the developed heavy class mobile attenuator. The learned values of the monitored safety criteria are within acceptable limits.

Keywords: truck mounted attenuators, shadow vehicle, testing, computer simulation, finite element method, shock interaction, crash test

References:

1. *Statistika avtokatastrof za 2018 god v Rossii* [Statistics of car crashes in 2018 in Russia]. Available at: <http://provodim24.ru/statistika-dtp.html> (accessed 4 July 2018).
2. Fedorov A. Podushka dlya zavezavshikhnya [Cushion for the unwary]. *Moskovskaya pravda* [Moscow truth], 2007. Available at: <http://old.mospravda.ru/issue/2007/09/29/article8603/> (accessed 5 July 2018).
3. Petrovich V., Gomylyaev A. Sereznoe DTP na mogilevskoy trasse s uchastiem remontnikov: troe postradavshikh, odin — v tyazhelom sostoyanii [A serious accident on the Mogilev highway with the participation of the maintenance crew: three people injured, one in serious condition]. *Onliner. Avto* [Onliner. Auto], 2018. Available at: <https://auto.onliner.by/2018/05/08/dtp-9336> (accessed 5 July 2018).
4. *Shvedskiy opyt bezopasnykh dorog. Oni znayut, chto delat!* [Swedish experience of safe roads. They know what to do!]. Available at: <http://zadorogi.ru/inoexp/289/> (accessed 6 July 2018).
5. *The Government Resolution of the Russian Federation of January 8, 2018 no. 1-r "About approval of Strategy of traffic safety in the Russian Federation for 2018-2024"*. 2018. Available at <http://legalacts.ru/doc/rasporjazhenie-pravitelstva-rf-ot-08012018-n-1-r-ob-utverzhdenii/> (accessed 6 July 2018).
6. *Botsabsorber.nl*. Available at: <https://www.botsabsorber.nl/modellen/> (accessed 6 July 2018).
7. *Dorozhnaya inertsionnaya dempfiyushchaya sistema* [Road inertial attenuating system]. Patent RF, no. 66356, 2007. Available at: <http://bankpatentov.ru/node/48696> (accessed 10 July 2018).
8. Sicking D. *Manual for Assessing Safety Hardware*. 2nd ed. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2016. 255 p.
9. Verdegro TMA US crashtest NCHRP 350 3-51. *Verdegro Group*. Available at: <https://www.youtube.com/watch?v=O6XMf97mKsw> (accessed 11 July 2018).
10. *A Vision for Safety*. Available at: <https://www.nhtsa.gov/> (accessed 12 July 2018).