



КОМПЬЮТЕРНАЯ МЕХАНИКА

УДК 624.042

А.В. ШМЕЛЕВ, канд. техн. наук

директор Республиканского компьютерного центра машиностроительного профиля¹

E-mail: shmeliou.alexei@gmail.com

В.И. ИВЧЕНКО

начальник отдела автомобилей Республиканского компьютерного центра машиностроительного профиля¹

E-mail: oimoa@tut.by

Э.В. ЛИСОВСКИЙ

младший научный сотрудник Республиканского компьютерного центра машиностроительного профиля¹

E-mail: elisovski@mail.ru

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

Статья поступила 01.04.2015.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ УДАРНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ С ТВЕРДЫМИ ТЕЛАМИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДОРОЖНЫХ БЛОКИРАТОРОВ

Рассмотрены актуальные вопросы проведения исследований в области разработки перспективных конструкций средств противодействия несанкционированному доступу, оптимизации процесса их разработки и создания новых конструкций с использованием программного комплекса LS-DYNA. Приведены результаты исследования моделирования ударного взаимодействия конечно-элементной модели дорожного блокиратора с моделями деформируемых твердых тел. Показана эффективность замены комплексной конечно-элементной динамической модели транспортного средства упрощенной моделью твердого тела при проведении виртуальных испытаний на предварительных этапах проектирования дорожных блокираторов.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, конечно-элементная модель, динамическая расчетная модель, ударное взаимодействие, деформируемое твердое тело, дорожный блокиратор, рейтинг останавливающей способности, виртуальные испытания, кинетическая энергия, проектирование

Введение. Учитывая участвовавшие случаи террористических актов в мире, актуальной является задача исключения несанкционированного въезда автотранспорта на объекты, имеющие важное стратегическое значение. К таким объектам относятся военные базы, пограничные переходы, атомные электростанции, гидросооружения, нефтеперерабатывающие и химические предприятия, объекты транспортной инфраструктуры (вокзалы, аэропорты, морские порты, ж.-д. переезды и др.), крупные административные комплексы и т. д. Наибольшую опасность для указанных объектов представляет собой грузовой транспорт, как обладающий высокой проникающей способностью. В настоящее время в качестве технических средств, используемых в противота-

ранных целях, широкое распространение получили: автоматические ворота, шлагбаумы, болларды, дорожные блокираторы с подъемной платформой (далее — дорожные блокираторы) [1]. Последний тип конструкций является одним из самых распространенных, что обусловлено рядом его преимуществ, среди которых — относительная простота конструкции при высокой эффективности противодействия проникновению, возможность реализации различных вариантов монтажа и исполнений, а также сопутствующих функций, таких как «спящий полицейский».

Типовая конструкция дорожного блокиратора с вариантом монтажа на поверхности дорожного полотна, которая широко используется сегодня на охраняемых объектах в странах СНГ,

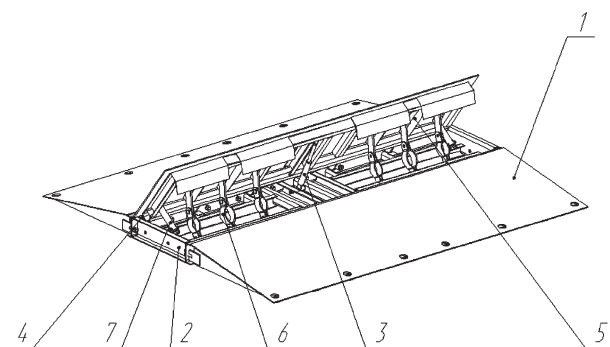


Рисунок 1 — Типовая конструкция дорожного блокиратора с подъемной платформой: 1 — пандус; 2 — рама; 3 — гидравлический привод; 4 — шарнирное соединение; 5 — подъемная платформа; 6 — рычаги; 7 — механизм фиксации

приведена на рисунке 1. Крепление устройства осуществляется с использованием анкерных болтов (см. рисунок 1).

За рубежом разработаны и введены нормативные документы (ASTM F2656, PAS 68, CWA 16221 и др.) [2–6], содержащие классификацию (рейтинги) дорожных блокираторов по степени останавливающей способности и устанавливающие требования к условиям проведения сертификационных испытаний таких устройств. В таблице 1 приведены рейтинги согласно ASTM F2656-07 [2]. Основным показателем, определяемым в ходе натурального эксперимента (краш-теста), является величина проникновения транспортного средства на охраняемую территорию за габариты дорожного блокиратора. Данные рейтинги присваиваются с учетом типа транспортного средства, используемого при испытании. Это могут быть: легковой автомобиль общей массой 1 100 кг, пикап общей массой 2 300 кг, грузовой автомобиль общей массой 6 800 кг или тяжелый грузовой автомобиль общей массой 29 500 кг.

Согласно приведенным нормативам [2–6], при экспериментальной оценке повреждающей способности регламентируются требования как к конструкции используемых автомобилей, так и к типу груза и способу его закрепления на автомобиле в ходе проведения испытаний. Например, согласно ASTM F2656-07 [2], при определении рейтинга для дорожного блокиратора при столкновении с тяжелым грузовым автомобилем должен использоваться трехосный самосвал с двухосной тележкой, нагруженный до полной массы бетоном.

Таблица 1 — Рейтинги останавливающей способности дорожных блокираторов согласно ASTM F2656-07 [2]

Рейтинг конструкции блокиратора	Величина проникновения, м
P ₁	≤1
P ₂	от 1,01 до 7
P ₃	от 7,01 до 30
P ₄	≥30

Необходимо отметить, что в последнее время, с учетом наработанного опыта испытаний дорожных блокираторов были проведены пересмотры действующих нормативов. В частности, были внесены изменения в британский PAS 68:2013 [4], являющийся одним из основных документов, регламентирующих требования к дорожным блокираторам в Европе; в 2013 году вышло соглашение Международного семинара ISO/IWA 14-1:2013(en) [7], включающее последние доработки ASTM F2656, PAS 68 и CWA 16221 [2, 4, 6].

Приведенные данные подтверждают актуальность проведения исследований в области разработки перспективных конструкций средств противодействия несанкционированному доступу, а также необходимость разработки и совершенствования научного обеспечения данного процесса.

Имеющиеся сегодня программные средства компьютерного моделирования быстропротекающих динамических процессов позволяют на ранних стадиях проектирования определить эффективные решения, наиболее полно удовлетворяющие заданным требованиям к разрабатываемому изделию. Одним из лидеров среди средств инженерного анализа данного направления является программный комплекс LS-DYNA, разработанный компанией LSTC, США. С использованием LS-DYNA проводят моделирование таких комплексных процессов, как поведение материалов при больших деформациях, ударно-волнового нагружения конструкций, связанных динамических задач взаимодействия жидкостей и конструкций, ударостойкости конструкций (краш-тестов) и т. д.

Компьютерное моделирование испытаний дорожного блокиратора. Целью исследования являлось определение целесообразности и эффективности использования на начальных этапах виртуальных испытаний дорожных блокираторов в качестве нагружающего объекта твердых тел различной конфигурации для определения наиболее нагруженных элементов конструкции дорожного блокиратора.

В общем виде процесс компьютерного моделирования испытаний дорожного блокиратора, в соответствии с требованиями нормативных документов [2–4], включает в себя следующие этапы:

- разработка конечно-элементной модели исследуемого варианта конструкции дорожного блокиратора;
- разработка конечно-элементной модели испытательного транспортного средства, взаимодействующего с дорожным блокиратором;
- задание начальных и граничных условий, соответствующих условиям проведения испытаний;
- компьютерное моделирование ударного взаимодействия дорожного блокиратора с транспортным средством;
- анализ результатов расчета (определение наиболее нагруженных зон, вариантов изменения параметров конструкций и их материалов);

- внесение изменений в первоначальный вариант конструкции устройства и повторение этапов 1, 3, 4 и 5;
 - анализ и обобщение полученной в ходе моделирования информации и определение конкретных решений по исполнению конструкции, выбору материалов, технологии изготовления и т. д.

Таким образом, предложенный процесс компьютерного моделирования испытаний дорожного блокиратора представляет собой комплекс многовариантных исследований, позволяющих провести как качественный, так и количественный анализ параметров и результатов моделирования столкновения автомобиля с устройством. При этом наиболее ресурсоемкими являются первый, второй и четвертый этапы.

Описание конечно-элементной модели блокиратора, создаваемой на первом этапе, приведено ниже. Второй этап представляет собой разработку комплексной конечно-элементной динамической модели транспортного средства, включающей детальное описание свойств материалов и условий разрушения деталей и элементов конструкций, непосредственно взаимодействующих с дорожным блокиратором. В качестве компьютерных моделей испытательных автомобилей при создании дорожных блокираторов могут быть использованы готовые разработки (рисунок 2) Национального центра анализа столкновений США (The National Crash Analysis Center) [8] и Национального исследовательского центра транспорта США (National Transportation Research Center) [9], находящиеся в открытом доступе. Данные модели разработаны для исследования средств безопасности как конструкций самих автомобилей, так и некоторых видов дорожных ограждений. Однако их применение требует выполнения дополнительных настроек и доработок с учетом особенностей свойственных взаимодействию с дорожным блокиратором конкретной конструкции.

Ресурсоемкость четвертого этапа в основном заключается в необходимости обеспечения высоких вычислительных возможностей, которые определяются лицензионными настройками, числом процессоров и другими параметрами, отвечающими за производительность рабочей станции. Таким образом, для сокращения времени моделирования столкновения автомобиля с дорожным блокиратором понадобится высокопроизводительная рабочая станция или кластер с соответствующими лицензионными правами, обеспечивающими максимальную загрузку.

Сокращение процесса создания конструкций дорожных блокираторов возможно заменой, при выполнении первых циклов расчетов второго этапа, модели автомобиля на максимально упрощенную его модель, либо следуя по аналогии подходам, используемым при совершенствовании кабин грузовых автомобилей (Правила ЕЭК ООН № 29 [11]), на деформируемые твердые тела — плиту или цилиндр (далее —

твердое тело). Так, по указанным выше Правилам при оценке прочности кабин проводят серию испытаний, при которых различные элементы конструкции подвергаются ударному воздействию цилиндрическим маятником (передняя часть кабины) или плитой (угол крыши и задняя стенка кабины). В ходе проведения испытаний ударные элементы должны развить заданную нормативом величину кинетической энергии, а кабина в ходе испытаний — сохранить лимитированные геометрические параметры жизненного пространства. При этом, использование твердых тел при осуществлении расчета параметров и показателей ударного

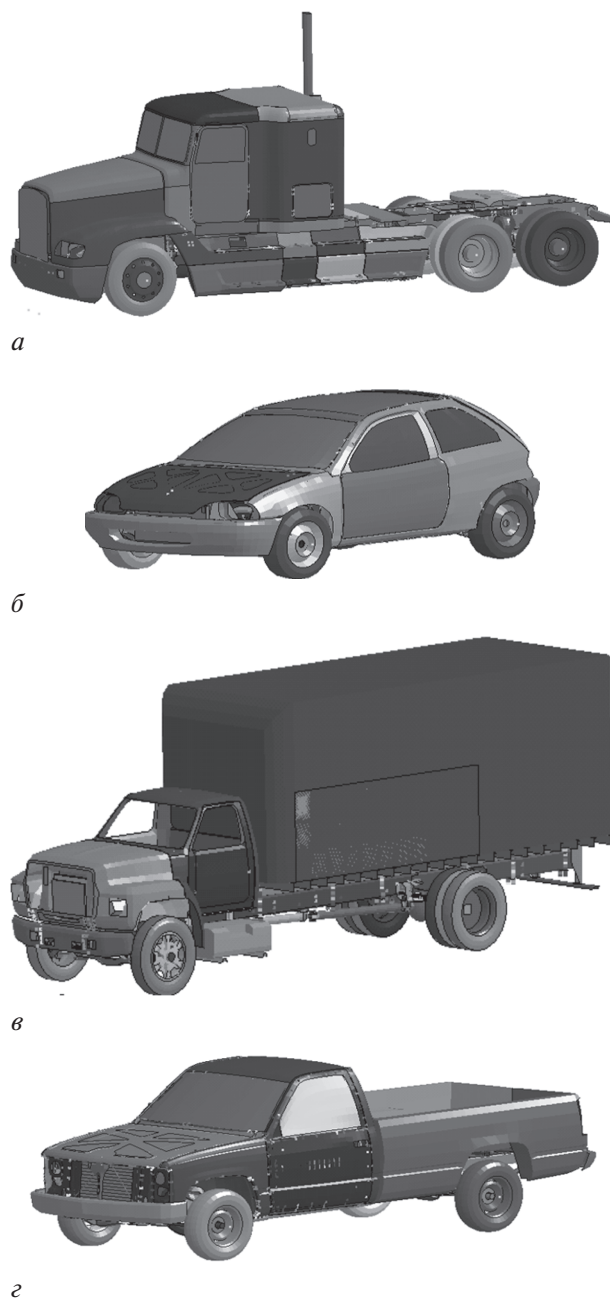


Рисунок 2 — Конечно-элементные динамические модели автомобилей [8, 9]: а — грузовой автомобиль большой грузоподъемности; б — легковой автомобиль; в — среднетоннажный грузовой автомобиль; г — автомобиль-пикап

взаимодействия предлагается как для совершенствования имеющихся конструкций с целью достижения соответствующего рейтинга устройства, поиска принципиально новых эффективных решений отдельных элементов, так и для оценки создаваемой конструкции в целом. При столкновении твердого тела с дорожным блокиратором практически вся его кинетическая энергия поглощается устройством. Это позволяет выявить наиболее нагруженные элементы конструкции и принять рациональные решения по их усилению еще до этапа перехода к наиболее длительным и трудоемким стадиям расчетов с использованием конечно-элементных моделей автомобилей.

Специалистами Республиканского компьютерного центра машиностроительного профиля Объединенного института машиностроения НАН Беларуси был разработан дорожный блокиратор (патент Республики Беларусь на промышленный образец № 3059 «Заградительное устройство») [12], общий вид которого приведен на рисунке 3. Разработка конструкции выполнялась на основе компьютерного моделирования столкновений устройства как с автомобилями, так и твердыми телами. Виртуальные испытания проводились в программном комплексе LS-DYNA.

В данной работе приводятся результаты исследований столкновений с дорожным блокиратором двух видов твердых тел — плиты и цилиндрической оболочки.

Описание расчетной модели дорожного блокиратора. Конечно-элементная модель устройства приведена на рисунке 4 (сетка не отображена). Для исследования процесса протекания столкновения предложены тела со следующими размерами: 1 — плоская плита толщиной 0,02 м, высотой 0,5 м и длиной 2,5 м и 2 — цилиндрическая оболочка толщиной 0,04 м, диаметром 0,8 м и длиной 2,5 м. Моделирование проводилось при следующих массах твердых тел: 1 т, 5 т и 10 т. Начальная скорость в момент столкновения тела с устройством составляла 5 м/с. Таким образом, кинетическая энергия твердого тела перед столкновением соответственно составляла 12,5 кДж, 62,5 кДж и 125 кДж.

Описание свойств материалов конструкций, подверженных пластическому деформированию, выполнено с использованием билинейной модели материала с кинематическим упрочнением *MAT_PLASTIC_KINEMATIC. При моделировании элементов деталей, испытывающих

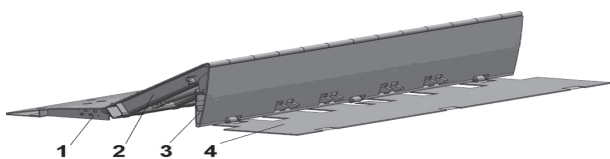


Рисунок 3 — Дорожный блокиратор разработки Объединенного института машиностроения НАН Беларуси: 1 — неподвижный пандус; 2 — подъемная платформа; 3 — подвижный пандус; 4 — основание с крюками

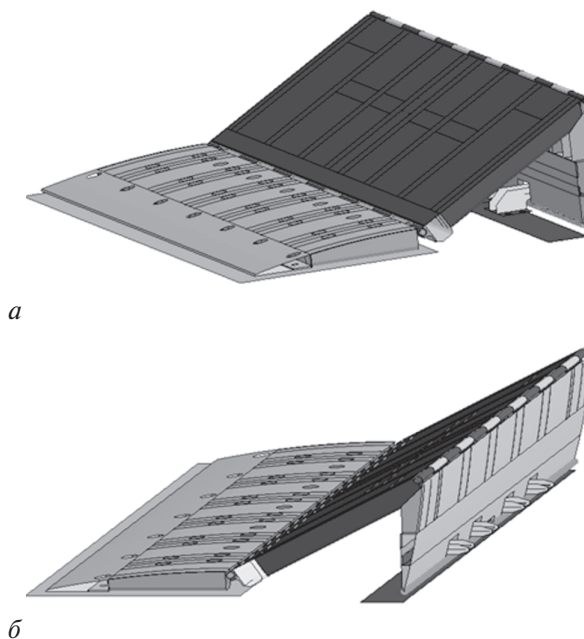


Рисунок 4 — Конечно-элементная модель дорожного блокиратора

упругие деформации, применялись модели материалов *MAT_ELASTIC. Описание свойств твердых тел выполнено с использованием модели *MAT_RIGID.

Контактные свойства в петлях конструкции, представленных балочными и оболочечными элементами, задавались опцией *CONTACT_AUTOMATIC_BEAMS_TO_SURFACE. Остальные части модели взаимодействовали под управлением опции *CONTACT_AUTOMATIC_GENERAL.

Результаты моделирования. На рисунке 5 приведены фрагменты, демонстрирующие результаты моделирования процессов взаимодействия дорожного блокиратора с плитой и цилиндрической оболочкой массами 1 т (показана передняя часть устройства).

В таблице 2 приведены основные показатели динамических процессов столкновения ударяемых объектов с дорожным блокиратором. Время протекания процесса соответствует периоду от начала столкновения до момента падения продольной скорости движения ударяющего объекта до нуля. Относительная продольная реакция показывает отношение максимальной абсолютной величины реакции, возникающей в местах крепления устройства к дорожной поверхности при рассматриваемых условиях моделирования, к максимальной величине реакции, возникающей при ударе по устройству плитой массой 1 т.

По результатам расчетов установлено, что наиболее нагруженными зонами конструкции, независимо от формы ударяемого объекта, являются основания крюков и область, прилегающая к месту крепления переднего бруса подвижного пандуса. Обе зоны для случаев удара плитой массой 1 т и 10 т показаны на рисунке 6. При ударе объек-

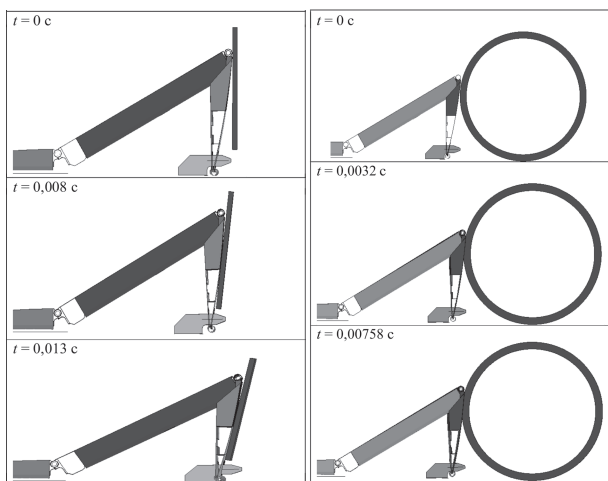
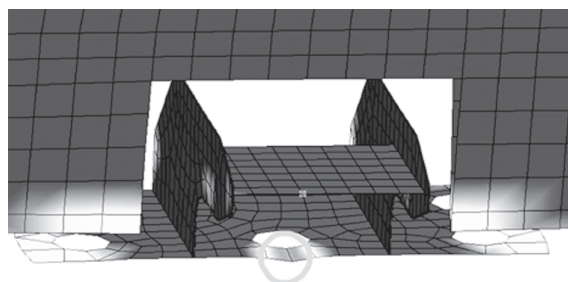


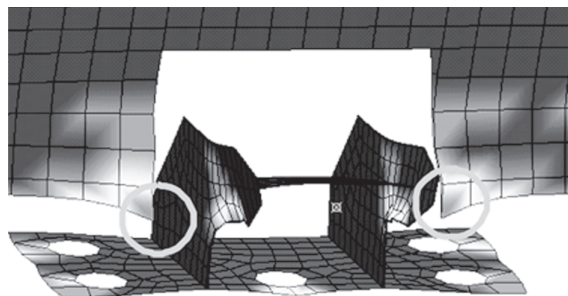
Рисунок 5 — Иллюстрация результатов моделирования процесса столкновения твердых тел с дорожным блокиратором:
a — плита; *б* — цилиндрическая оболочка

том небольшой массы процесс столкновения протекает относительно быстро и основная нагрузка воспринимается крюками, которые получают наибольшую деформацию. При увеличении нагрузки (массы соударяемого объекта) происходит интенсивное пластическое деформирование элементов конструкции, перемещение ударяемого объекта и перераспределение нагрузки. В результате этого проявляется вторая наиболее нагруженная зона, расположенная в месте соединения настила и опорной балки подвижного пандуса. При этом в первой происходит значительное замедление роста пластических деформаций.

Качественная картина деформирования, а также расположение наиболее нагруженных зон как для удара плитой, так и цилиндрической оболочкой, идентичны. Однако, как это видно из данных, приведенных в таблице 2, величины пластических деформаций при ударе цилиндрической оболочкой выше. Последнее обусловлено более длительным процессом столкновения с плитой,



a



б

Рисунок 6 — Наиболее нагруженные зоны конструкции при ударе плитой (передний брус подвижного пандуса не показан). Масса плиты: *a* — 1 т; *б* — 10 т

что вызвано «огибанием» плитой лобовой поверхности подвижного пандуса дорожного блокиратора, имеющей радиусную форму и появлением вращения плиты, как видно из рисунка 5 (кадры $t = 0,008$ и $0,013$ с).

Процессы изменения кинетической энергии, скорости движения и перемещения ударяемых объектов в ходе столкновения с дорожным блокиратором приведены на рисунке 7. Несмотря на общее качественное соответствие процессов, полученные данные показывают, что использование цилиндрической оболочки в качестве ударного объекта позволяет получить более стабильные зависимости. Особенно это хорошо видно при столкновении с объектами массой 1 т на рисунке 8. Также, при ударе плитой устройство воспринимает более высокие пиковые продольные нагрузки, как

Таблица 2 — Показатели динамического взаимодействия твердого тела с дорожным блокиратором

Ударяемый объект	Масса, т	Время протекания процесса, мс	Относительная пластическая деформация		Относительная максимальная продольная реакция
			в основании крюков	в элементах подвижного пандуса	
Плита	1	13,02	0,224	0,173	1
	5	20,85	0,225	0,427	1,74
	10	27,75	0,232	0,613	2,62
Цилиндрическая оболочка	1	7,58	0,218	0,139	1,18
	5	18,22	0,223	0,503	1,91
	10	29,41	0,235	0,646	2,02

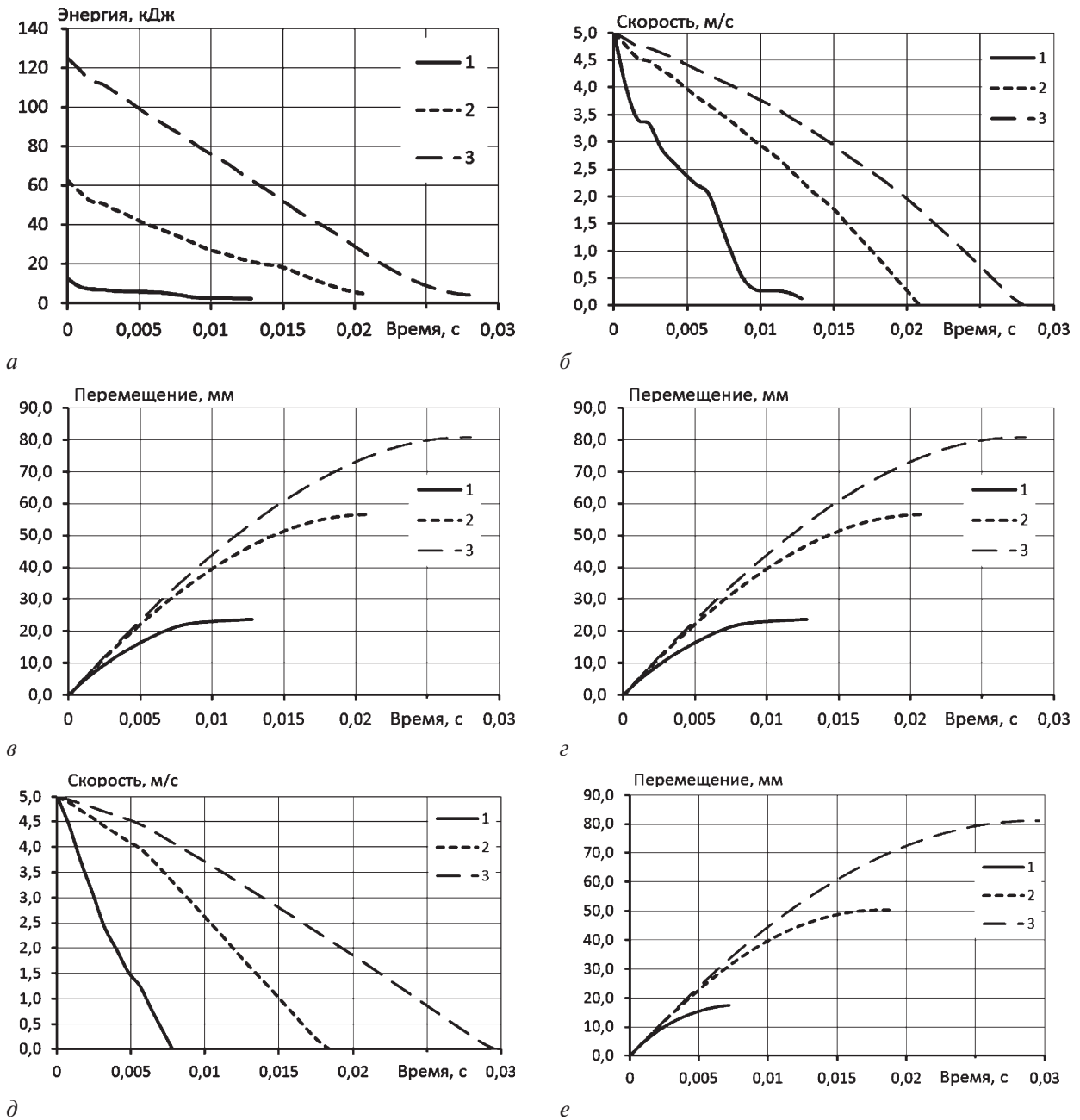


Рисунок 7 – Зависимости, характеризующие процессы динамического взаимодействия ударяемого объекта с дорожным блокиратором: масса ударяющего объекта (1 – 1 т; 2 – 5 т; 3 – 10 т); зависимости изменения (*a* – кинетической энергии; *б* – скорости движения; *в* – перемещения в направлении начального вектора движения)

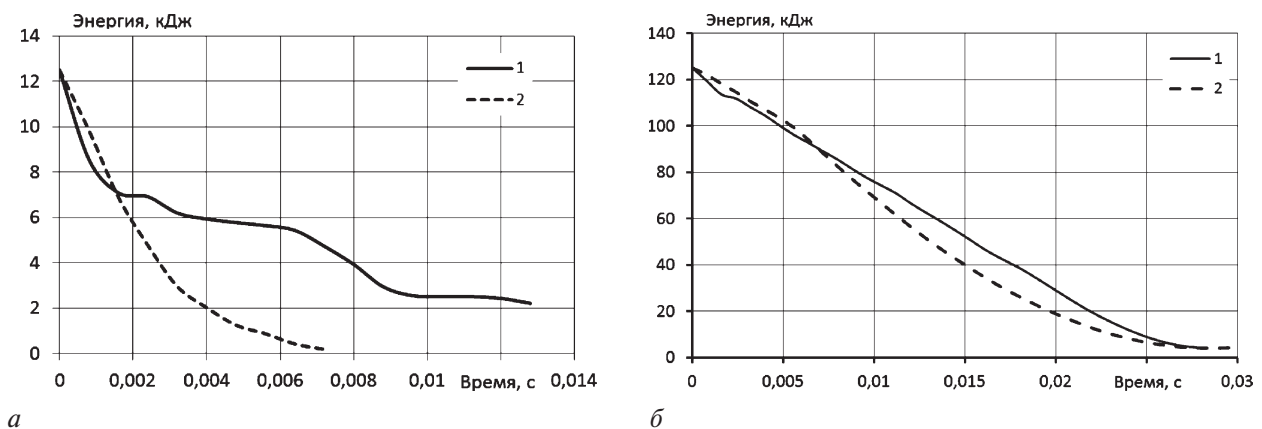
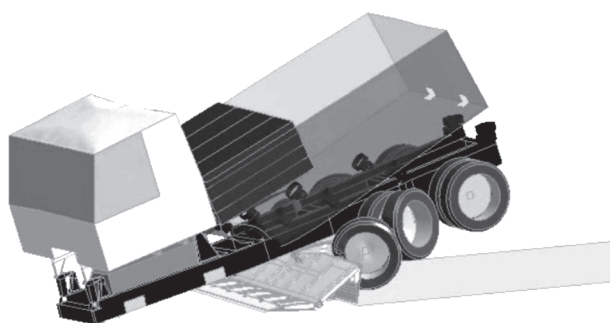
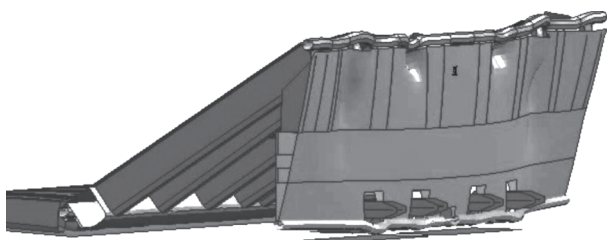


Рисунок 8 – Изменение кинетической энергии твердых тел: масса ударяющего объекта (*a* – 1 т; *б* – 10 т); объект (1 – плита; 2 – цилиндрическая оболочка)



а



б

Рисунок 9 — Результаты моделирования процесса столкновения автомобиля КАМАЗ с дорожным блокиратором: а — фрагмент моделирования процесса столкновения; б — состояние дорожного блокиратора по результатам расчетов

это видно из значений относительных продольных реакций, приведенных в таблице 2.

Введение в процесс разработки дорожного блокиратора виртуальных испытаний с использованием твердых тел позволило определить наиболее нагруженные элементы конструкции на ранних стадиях проектирования и тем самым сократить трудоемкость и время поиска эффективных решений по ее совершенствованию. Эффективность данного метода и принятых решений по результатам моделирования на его основе подтверждена последующими виртуальными испытаниями дорожного блокиратора с использованием в качестве ударяющего элемента разработанной компьютерной динамической модели автомобиля КАМАЗ и натурных испытаний на автополигоне НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», результаты которых представлены на рисунках 9, 10.

Заключение. В проведенной работе исследовано ударное взаимодействие дорожного блокиратора с твердыми телами. Предлагаемое введение в процесс виртуальных испытаний дорожного блокиратора исследований с использованием твердых тел позволяет определить энергию удара, поглощаемую исследуемой конструкцией, а также выявить наиболее нагруженные детали и элементы, что на начальных этапах проектирования существенно сокращает процесс поиска эффективных решений по совершенствованию конструкции, как за счет сокращения времени на разработку моделей, так и за счет сокращения машинного времени на получение результатов моделирования с использованием менее производительных станций.

Результаты проведенных работ подтвердили эффективность использования приведенного ме-



Рисунок 10 — Результаты натурных испытаний дорожного блокиратора на полигоне НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ»

тода исследования процессов ударного взаимодействия дорожного блокиратора с твердыми телами на этапе предварительной отработки конструкции.

Для рассматриваемых частных случаев взаимодействия дорожного блокиратора с твердыми телами в форме параллелепипеда и цилиндрической формы проведенные исследования выявили преимущество при использовании в расчетах твердого тела цилиндрической формы, как позволяющего получить более стабильные и, следовательно, сопоставимые результаты, что обусловлено исключением вращательных движений и локализации нагрузок, создаваемых ударяемым объектом, которое происходит в случае применения тел с формой параллелепипеда.

Список литературы

1. Крайнов, Г. Обзор российского рынка противотаранных устройств / Г. Крайнов // Системы безопасности. — 2012. — № 4. — С. 68–72.
2. ASTM F2656-07. Standard Test Method for Vehicle Crash Testing of Perimeter Barriers.
3. SD-STD-02.01. Test Method for Vehicle Crash Testing of Perimeter Barriers and Gates. Certification standard. U.S. Department of State. Revision A, March 2003.
4. British Standards Institution. Impact test specifications for vehicle security barriers. Publicly Available Specification PAS 68: 2013. BSI. London. 2013.
5. UFC 4-022-02 (S June 2009). Unified Facilities Criteria (UFC): Selection and Application of Vehicle Barriers.
6. CWA 16221:2010 Vehicle security barriers. Performance requirements, test methods and guidance on application. CEN. 2010.
7. ISO/IWA 14-1:2013(en) Vehicle security barriers — Part 1: Performance requirement, vehicle impact test method and performance rating.
8. NCAC. The National Crash Analysis Center. Finite Element Model Archive. <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>
9. P. Mohanand, D. Marzougui and C. D.S. Kan, "Validation of a Single Unit Truck Model for Roadside Hardware Impact," International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing — Vol. 2, No.1 pp. 1 — 15, 2007.
10. FEM Models for Semitrailer Trucks <http://thyme.ornl.gov/FHWA/TractorTrailer/index.cgi?model=1&navv=0>.
11. Правила ЕЭК ООН № 29. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении защиты лиц, находящихся в кабине грузового транспортного средства. — ООН. — 2012. — 26 с.
12. Заградительное устройство : пат. ВУ 3059, Е.Л. Алешкевич, А.А. Дожев, В.И. Ивченко, М.А. Крицкий, В.А. Левицкий, В.И. Петько, А.Н. Скок, С.В. Харитончик, А.В. Шмелев; заявитель и патентообладатель Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси — № f 20140006; заявл. 09.01.14; опубл. 30.08.14.

SHMELIEV Aleksey V., Cand. Techn. Sc.

Director of the Republican Computer Center of Mechanical Engineering¹

E-mail: shmeliiov.alexei@gmail.com

IVCHENKO Vadim I.

Head of the Automobile Department Republican Computer Center of Mechanical Engineering¹

E-mail: oimoa@tut.by

LISOVSKIY Eduard V.

Junior Researcher Republican Computer Center of Mechanical Engineering¹

E-mail: elisovski@mail.ru

¹Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

Received 01 April 2015.

COMPUTER SIMULATION OF IMPACT INTERACTION WITH SOLID BODIES FOR VEHICLE SECURITY BARRIERS DEVELOPMENT PURPOSE

The research tasks in the field of perspective vehicle security barriers development, their design process optimization and finding of new effective solutions with the use of LS-DYNA software is under consideration. Discussed the computer simulation results of solid deformable body's impact interaction with vehicle security barrier using final elemental models. Demonstrated the efficiency of complex vehicle finite element dynamic model replacement by rigid body model for the virtual testing in the early stages of vehicle security barriers designing.

Keywords: computer modeling, finite element model, dynamic model, crash test, virtual test, deformable solid body, vehicle security barrier, penetration rating, kinetic energy, designing

References

1. Kraynov G. Obzor rossiyskogo rynka protivotarannykh ustroystv [Review of Russian vehicle security barrier market]. *Sistemy bezopasnosti* [Security systems], 2012, no. 4, pp. 68–72.
2. ASTM F2656-07. Standard Test Method for Vehicle Crash Testing of Perimeter Barriers.
3. SD-STD-02.01. Test Method for Vehicle Crash Testing of Perimeter Barriers and Gates. Certification standard. U.S. Department of State. Revision A, 2003.
4. British Standards Institution. Impact test specifications for vehicle security barriers. Publicly Available Specification PAS 68: 2013. BSI. London, 2013.
5. UFC 4-022-02 (S June 2009). Unified Facilities Criteria (UFC): Selection and Application of Vehicle Barriers.
6. CWA 16221:2010 Vehicle security barriers. Performance requirements, test methods and guidance on application. CEN. 2010.
7. ISO/IWA 14-1:2013(en) Vehicle security barriers — Part 1: Performance requirement, vehicle impact test method and performance rating.
8. NCAC. The National Crash Analysis Center. Finite Element Model Archive. Available at: <http://www.ncac.gwu.edu/vml/models.html>.
9. Mohanand P., Marzougui D., Kan C. D. S. Validation of a Single Unit Truck Model for Roadside Hardware Impact. *International Journal of Vehicle Systems Modelling and Testing*, 2007, vol. 2, no. 1, pp. 1–15.
10. FEM Models for Semitrailer Trucks. Available at: http://thyme.ornl.gov/FHWA/TractorTrailer_index.cgi?model=1&navv=0.
11. UNECE UTPWV Regulation № 29. Vehicles with regard to the protection of the occupants of the cab of a commercial vehicle. UN, 2012. 26 p.
12. Aleshkevich E.L., Djuzhev A.A., Ivchenko V.I., Kritsky M.A., Levitsky V.A., Petko V.I., Skok A.N., Kharitonchok S.V., Shmelev A.V. *Zagraditel'noe ustrojstvo* [The barrier device]. Patent BY, no. 20140006, 2014.