

3. Алтунин В.А. (научный руководитель), Миннахметов Л.И., Куимов Е.С., Коханова С.Я. Разработка конструктивных схем форсунок для воздушно-реактивных двигателей беспилотных летательных аппаратов // Гагаринские чтения 2017: XLIII Международная молодёжная научная конференция: Сборник тезисов докладов: М.: Изд-во Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), 2017. С. 542.
4. Алтунин К.В., Абдуллин М.Р., Коханова С.Я., Коханова Ю.С., Новиков С.Н. Исследование тепловых процессов в газообразном метане для создания перспективных двигателей и энергоустановок наземного, воздушного, аэрокосмического и космического базирования // Труды 51-ых чтений, посвящённых разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского. Секция №2: «Проблемы ракетной и космической техники». (г. Калуга, 20-22 сентября 2016 г.). РАН. РАКЦ. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. С. 169-177.
5. Пат. 2155910 Российская Федерация. Форсунка / Алтунин В.А. Оpubл. 10.09.2000. Бюл. №25.
6. Пат. 2194974 Российская Федерация. Способ обнаружения процесса осадкообразования в энергетических установках на углеводородных горючих и охладителях / Алтунин В.А. Оpubл. 20.12.2002. Бюл. №35.
7. Пат. 2215671 Российская Федерация. Способ оценки и поддержания надёжности энергетических установок многоразового использования на углеводородных горючих и охладителях / Алтунин В.А. Оpubл. 10.11.2003. Бюл. №31.
8. Пат. 2289078 Российская Федерация. Способ интенсификации теплоотдачи к углеводородным горючим и охладителям в наземных и космических энергетических установках многоразового использования / Алтунин В.А. Оpubл. 10.12.2006. Бюл. №34.
9. Пат. 2287715 Российская Федерация. Способ повышения надёжности ЖРД одно-и многоразового использования / Алтунин В.А. Оpubл. 20.11.2006. Бюл. №32.
10. Пат. 2388966 Российская Федерация. Форсунка / Алтунин К.В. Оpubл. 10.05.2010. Бюл. №13.
11. Пат. 2447362 Российская Федерация. Форсунка / Алтунин К.В. Оpubл. 10.04.2012. Бюл. №10.
12. Пат. 2452896 Российская Федерация. Головка кольцевой камеры сгорания газотурбинного двигателя / Алтунин В.А., Алтунин К.В., Галимов Ф.М., Гортышов Ю.Ф., Яновский Л.С. Оpubл. 10.06.2012. Бюл. №16.
14. Пат. 2482413 Российская Федерация. Способ предотвращения образования и роста углеродистых отложений на стенках теплообменных каналов / Алтунин К.В., Алтунин В.А., Гортышов Ю.Ф., Дресвянников Ф.Н., Тарасевич С.Э., Гуреев В.М., Попов И.А., Губин С.Д. Бюл. №14 от 20.05.2013.
15. Пат. 2504843 Российская Федерация. Способ определения конфигурации распространения силовых линий электростатических полей в жидких углеводородных средах / Алтунин В.А., Алтунин К.В., Гортышов Ю.Ф., Дресвянников Ф.Н., Обухова Л.А., Платонов Е.Н., Тарасевич С.Э., Яновская М.Л. Оpubл. 20.01.2014 г.
16. Алтунин К.В. Способ определения ресурса реактивного двигателя. Патент РФ на изобретение №2504676, кл. F02C 9/00. Бюл. №2 от 20.01.2014.

УДК 623.4.018

## **ЗАЩИЩЕННОСТЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ МАШИН ОТ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ**

*Е. А. Андреева и Г. Е. Левченко*

*Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им.Д.Ф.Устинова*

В настоящее время специальная автомобильная техника является основой обеспечения тактической и оперативной подвижности подразделений и частей сухопутных войск. Опыт применения автомобильной техники в современных военных конфликтах показывает востребованность и высокую эффективность использования защищенных автомобилей, как в боевых условиях, так и для обеспечения жизнедеятельности войск. Они широко применяются в качестве машин разведки и управления войсками, средств подвижности вооружения и военной техники, для перевозки личного состава и воинских грузов, сопровождения военных колонн и патрулирования в зоне конфликтов и в ряде других мероприятий.

Стремительное развитие средств вооружения и, соответственно, борьбы со спецтехникой сделало её живучесть важнейшим условием выполнения боевых задач. Основные требования, предъявляемые к военной технике, могут меняться в зависимости от характера боевых действий («позиционная» или

«маневренная» война, локальные конфликты или контртеррористические операции). Классическое сочетание требований «огневая мощь, подвижность, защищенность» может дополняться новыми требованиями, однако именно защищенности отдается приоритет. Защищенность характеризует защиту экипажа и систем автомобиля от средств поражения противника.

Кратковременные динамические нагрузки, которые и являются аварийными для конструкции, во многих случаях возникают в результате действия на конструкцию взрывных волн, распространяющихся в воздухе, грунте, воде.

Взрывом называется процесс быстрого выделения большого количества энергии, вызванный внезапным изменением состояния вещества или его параметров [1]. Изменение состояния вещества обычно возникает в результате быстротекущей химической (взрывчатые вещества, газо- или пылевоздушные смеси) или ядерной реакции. Результатом взрыва являются распространяющиеся в пространстве воздушные ударные волны и волны сжатия в грунте, взаимодействующие с препятствиями, зданиями и сооружениями. Взрывные нагрузки характеризуются законом изменения давления во времени. При этом их основными параметрами являются максимальное давление, время его нарастания и продолжительность действия нагрузки [2].

Численное моделирование распространения ударной волны позволяет ещё на этапе проектирования оценить взрывное воздействие на конструкцию и предопределить масштаб разрушений. Расчетный анализ любой конструкции начинается с попытки установить, что в рассматриваемом случае является существенным, а чем можно пренебречь. Учитывая лишь немногие важнейшие эффекты и получив наиболее простую модель, необходимо найти разумный компромисс между требованиями к полноте и точности модели и располагаемыми вычислительными мощностями.

Цель исследования – провести анализ давления на боковую поверхность спецавтомобиля с кузовом-контейнером различной конфигурации при взаимодействии с ударной волной.

В качестве иллюстративного материала были смоделированы упрощенные модели спецавтомобилей с различной конфигурацией кузова-контейнера (рис.1).

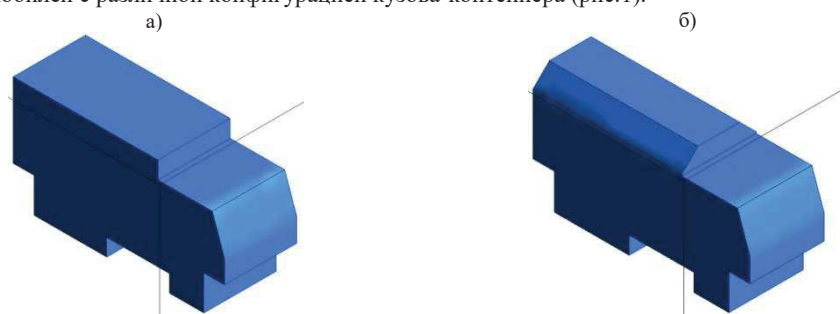


Рис. 1. Исследуемая модель с конфигураций кузова-контейнера а) без скосов, б) со скосами

Использование для расчета упрощенных моделей позволяет ощутимо сократить время вычисления и снизить требования к вычислительным мощностям. Отметим, что упрощение существенно не сказывается на результатах расчета, так как были сохранены основные габаритные размеры и приведено подобие форм.

Для двух моделей были проведены идентичные расчеты определения полей давления на поверхности при взаимодействии с ударной волной. Интенсивность ударной волны задается в явном виде, перепад давления во фронте ударной волны равен 1 атм. Для проведения расчета был использован пакет прикладных программ, в котором используется метод конечных объемов [3].

Размер расчетной области 10х20х20 м (рис.2). Расчетная область представляет собой тетраэдрическую сетку с пристеночными слоями для моделирования течения вдоль твердых тел (рис.3). Граничные условия типа симметрии – неприлипания и непротекания, были установлены на верхнюю, переднюю и заднюю поверхности. Граничные условия типа стена – непротекания и прилипания, установлены на нижнюю поверхность (землю) и автомобиль. Граничные условия типа давление на входе, равное 1 атм, и давление на выходе – 0 атм. Направление распространения ударной волны указано стрелкой.

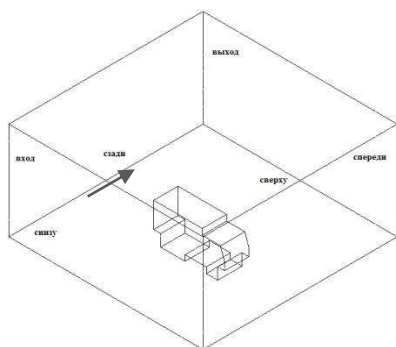


Рис. 2. Расчетная область

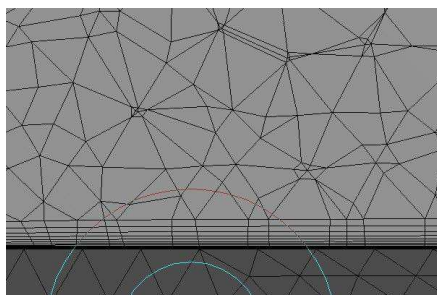


Рис. 3. Фрагмент тетраэдрической сетки с пристеночными слоями у твердого тела в сечении

Т.к. ударная волна моделировалась воздушной, то расчетная область заполнялась материалом воздух. В качестве уравнения состояния для воздуха программа использует уравнение идеального газа, температура воздуха 25°C и давление в 1 атм.

Результаты вычисления давления на боковую поверхность кузова-контейнера снимались на каждом шаге, равном 0,0001 с. Общее время расчета составляет 0,5 с. Графический результат вычисления давления сохранялся раз в 20 шагов (т.е. раз в 0,002 с).

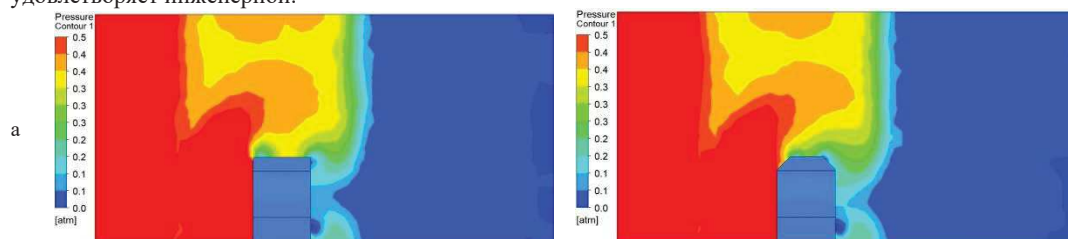
Результаты расчета можно получить в табличном виде, в виде графиков изменения давления на боковую поверхность автомобиля от времени. Также возможно получить качественную картину обтекания конструкции ударной волной (рис. 4).

Отметим, что характер изменения давления на боковую поверхность при различной конфигурации кузова-контейнера отличается незначительно. Однако максимальное давление на боковую поверхность при конфигурации кузова-контейнера со скосами меньше, чем максимальное давление на боковую поверхность при конфигурации кузова-контейнера без скосов (табл. 1).

Таблица 1

Конфигурация кузова-контейнера	без скосов	со скосами
$t_p^{max}, c$	0,0542	0,0538
$P_{бок.поверхности}^{max}, kPa$	51,543	50,544

Отметим, что такой расчет является упрощенным, однако позволяет определить достоинства и недостатки формы конструкции (в примере, конфигурации кузова-контейнера). Данный способ определения давления на боковую поверхность конструкции от воздействия ударной волны является быстрым и не очень сложным в использовании. Его точность, при правильной постановке задачи, удовлетворяет инженерной.



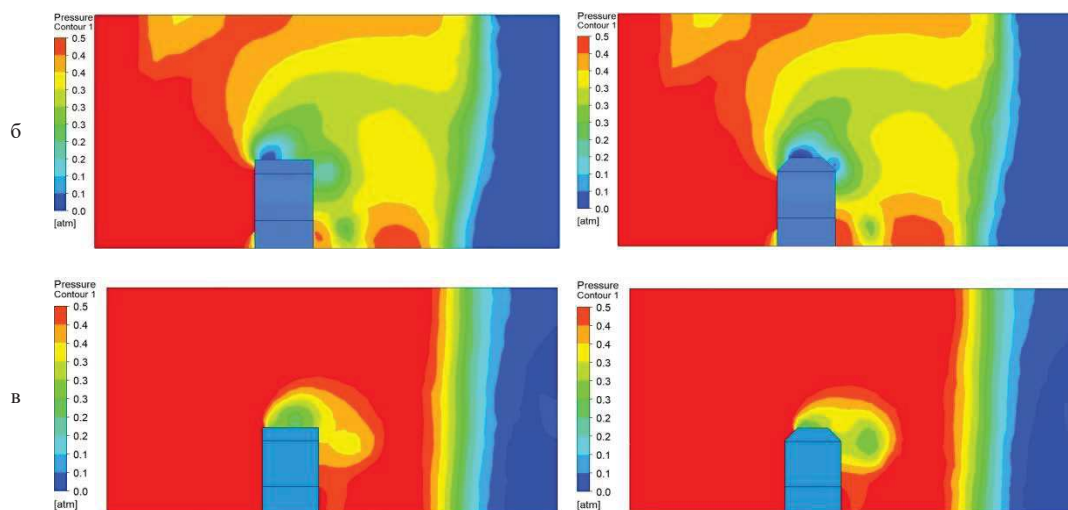


Рис. 4. Изменение давления ударной волны на различных этапах расчета  
а) 0,012 с, б) 0,024 с, в) 0,054 с

Используя данные, полученные ранее при проведении аэродинамического расчета, можно провести расчет динамики конструкции. Если в процессе воздействия конструкция совершает существенные перемещения (особенно угловые), следует проверить необходимость учета обратного влияния этих перемещений на аэродинамические силы и моменты. Если под конструкцией или в конструкции имеется полость, частично изолированная от внешней среды, изменение давления в которой может повлиять на динамику, для оценки давления в ней можно использовать нульмерные уравнения термодинамики (законы изменения массы и энергии) в сочетании с соотношениями для установившегося истечения воздуха через отверстия и зазоры [2].

Можно заключить, что исследование динамики гибких конструкций при взрывном воздействии в большинстве случаев можно проводить по результатам аэродинамического расчета – полям давлений на поверхностях, либо значениям интегральных нагрузок (сил и моментов), действующих на эти поверхности. Для оценки общего характера движения перед полноценным расчетом динамики целесообразно провести «прикидочный» расчет простой модели (рассматривать конструкцию, как одно или несколько твердых тел). Анализ результата исследования зависимости давления на боковую поверхность кузова-контейнера различной конфигурации показывает, что для того, чтобы обезопасить подобные конструкции, они должны иметь аэродинамически обтекаемую форму.

#### Библиографический список

1. Барштейн М.Ф., Бородачев Н.М., Блюмина Л.Х. Динамический расчет сооружений на специальные воздействия. М.: Стойиздат, 1981. 215 с
2. Попов Н.Н., Расторгуев Б.С., Забегаев А.В. Расчет конструкций на динамические и специальные нагрузки. М.: Высш. шк., 1992. 319 с.
3. Муйземнек А.Ю. Богач А.А. Математическое моделирование процессов удара и взрыва в программе LS-DYNA. Пенза: Информационно-издательский центр ПГУ, 2005. 106 с.

УДК 621.9-114:004.9

#### АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ СТАНКОВ С ЧПУ С ПРИМЕНЕНИЕМ СИСТЕМЫ SIEMENS NX ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО И ОБЩЕГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

*Т. В. Басова, М. В. Басова*

*Балтийский Государственный Университет «Военмех» имени Д.Ф. Устинова*

Использование станков с Числовым Программным Управлением в сравнении с универсальным оборудованием обусловлено многими преимуществами, такими как экономичностью, высоким