

С.Т.БРУЛЬ, Центральное бронетанковое управления Вооружений
Главного управления логистики Командования сил поддержки
Вооруженных Сил Украины,
А.Ю.ВАСИЛЬЕВ, НТУ “ХПИ”

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ НА КОРПУС БОЕВОЙ МАШИНЫ

У статті пропонується методика автоматизованого аналізу впливу ударних хвиль різного походження на корпуси легкоброньованих машин. Описані можливі ушкодження об'єктів та обґрунтована необхідність аналізу подібних явищ. Наведено результати тестових скінченно-елементних розрахунків впливу ударної хвилі від потужного вибуху на корпус МТ-ЛБ.

In the article different origin shocks waves influencing on lightweight vehicles hulls automated analysis method is offered. Possible objects damages are described and similar phenomena analysis necessity is grounded. The results of test finite-elements computation of influencing of shock wave on the MT-LB hull are given.

1. Актуальность исследуемой задачи. Возрастание мощности оружия массового поражения, увеличение количества различных террористических актов, в том числе с использованием различных взрывных устройств высокой мощности, а также различные крупные аварии и стихийные бедствия, привело к необходимости учитывать воздействие подобных явлений на различные объекты.

Особую актуальность в этой связи приобретает возможность моделирования воздействия подобных явлений на военную технику легкой категории по массе. Подобные задачи становятся актуальными из-за широкого применения подобной техники в вооруженных конфликтах и при ликвидации последствий различных техногенных катастроф.

Мощные взрывы различного происхождения, стихийные бедствия порождают в воздушном пространстве волну ударного действия. Характеристики воздушного давления (величина избыточного или разрежения) меняются в зависимости от координат, времени и скорости волны.

Ударная волна действует скоростным напором воздушного фронта и избыточным давлением во фронте. Давление скоростного напора способно опрокинуть танк или легкобронированную машину (ЛБМ), сорвать и повредить наружное оборудование. Избыточное давление во фронте волны, перемещающейся с высокой скоростью, мгновенно обжимает объект со всех сторон, деформируя его корпус (особенно тонкие крышу и днище). Это приводит к разрушению агрегатов, близко расположенных к стенкам, креплений люков, пробок и т.п. Кроме того, избыточное давление может проникнуть в обитаемые объемы через неплотности и поразить экипаж [1].

Предреждения могут быть следующих типов:

- сильные, сопровождающиеся срывом башни, разрушением корпуса, вооружения и т.п.;
- средние, вызывающие опрокидывание машины (заклинивание башни, разрыв гусеницы, нарушение центровки и т.п.);
- слабые, если повреждаются лишь оптические приборы, наружные баки и т.п.

Прочностные характеристики корпуса и башни определяются избыточным давлением во фронте ударной волны и скоростным напором [2, 3].

Таким образом, при моделировании новой военной техники и модернизации уже существующей необходимо моделировать воздействие ударной волны разной природы возникновения на корпус боевой машины для обоснования выбора конструктивных параметров данных корпусов [4]. Для примера можно рассмотреть машины серии МТ-ЛБ. Это связано с широким распространением машин данного типа как в мире в целом, так и в Украине в частности. Кроме того, эти машины представляют интерес в связи с большим количеством различных модификаций, что является существенным при решении поставленной задачи.

2. Постановка задачи. Рассматривается корпус боевой машины, подвергающийся действию фронта ударной волны. В ходе работы поставлены для решения следующие задачи:

- 1) Разработать математическую модель напряженно-деформированного состояния корпуса МТ-ЛБ;
- 2) Разработать методику численного анализа динамических процессов при действии ударной волны;
- 3) Разработать методы формирования конечно-элементной модели, включающие моделирование подвижной нагрузки;
- 4) Разработать специализированную систему с базой данных для хранения результатов многовариантных расчетов.

3. Математическое моделирование исследуемого процесса. В общем случае при определении жесткостных и прочностных характеристик корпусных элементов транспортных средств специального назначения при действии на них ударной волны расчет динамического поведения заменяется на расчет от действия статических сил, величины которых умножались на коэффициент динамичности [3]. Такие упрощения связаны с высокой сложностью описания как самой ударной нагрузки, так и процессов, происходящих в транспортных средствах при ее действии. В данной статье приводится более точная постановка задачи: ударная волна моделируется посредством нагрузки, распределенной по линии, контрольные точки которой меняются во времени. Способ задания ударной нагрузки показан на рис. 1.

Расчет динамики поведения корпуса МТ-ЛБ производится в программе ANSYS при помощи метода конечных элементов, реализованного в этом пакете. Метод конечных элементов является численным, приближенным методом, основная идея которого состоит в том, что любую не-

прерывную величину, определенную на произвольном пространстве, можно аппроксимировать дискретной моделью, которая строится на множестве кусочно-непрерывных функций, определенных на конечном числе подобластей. При этом сами кусочно-непрерывные функции определяются с помощью значений непрерывной величины в конечном числе узловых точек рассматриваемой области.

Точность результатов зависит от размеров и размещения конечных элементов. Метод конечных элементов получил широкое распространение во всем мире. Он успешно заменяет методы сопротивления материалов и строительной механики при расчете тел простой конфигурации, а при расчете деталей сложной геометрии в настоящее время является практически единственным инженерным методом. Главными достоинствами этого метода являются гибкость и универсальность, позволяющие в короткое время выполнять расчеты конструкций большой сложности [5, 6]. Основная расчетная формула метода для нахождения напряженно-деформированного состояния при воздействии подвижной нагрузки записана ниже в матричном виде:

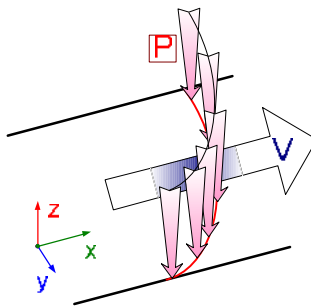


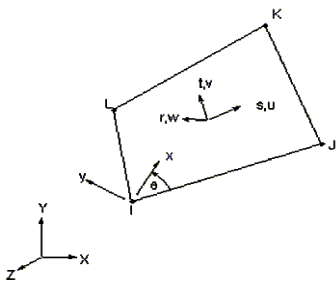
Рис. 1. Подвижная нагрузка

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = [F(\{R\} - \{V\}t)], \quad (1)$$

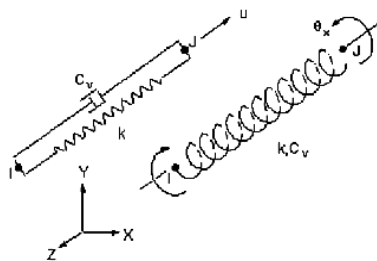
где $[M]$ - глобальная матрица масс;
 $[K]$ - глобальная матрица жесткости конечно-элементной модели;
 $[C]$ - глобальная матрица демпфирования;
 $\{X\}$ - искомый вектор узловых перемещений модели;
 $\{R\}$ - радиус вектор произвольной точки модели;
 $\{V\}$ - скорость перемещения подвижной нагрузки;

$[F(\{R\} - \{V\}t)]$ - глобальный вектор нагрузок (при учете, что нагрузка зависит и от координат, и от времени).

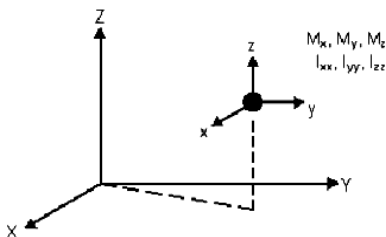
На рис. 2 показаны типы конечных элементов, которые были использованы в КЭ модели МТ-ЛБ.



оболочечный элемент SHELL 43



упругий элемент COMBIN 14



массовый элемент MASS 21

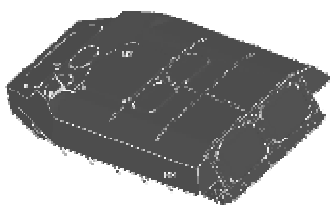
Рис. 2. Конечные элементы, использованные при построении конечно-элементной модели

4. Решение модельных задач. В качестве проверки работоспособности метода выступали расчеты конечно-элементной модели, построенной на базе корпуса МТ-ЛБ.

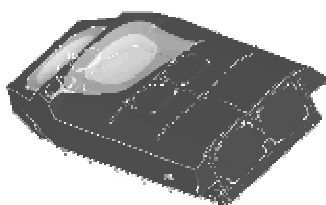
На рис. 3 показана серия из 9 кадров, которая содержит наиболее характерные картины распределения перемещений во время прохождения ударной волны. На рисунке видно последовательное прохождение линии с приложенным давлением, которое вызывает прогибы элементов корпуса. После прохождения волны корпус продолжает совершать колебания до полного затухания.

Несмотря на то, что распространение приложения давления моделировалось линией, проходящей вдоль продольной оси корпуса, на рис. 3 видна несимметричность поведения корпусных деталей. Это объясняется несимметричностью силовых и конструктивных элементов относительно средней вертикальной продольной плоскости корпуса.

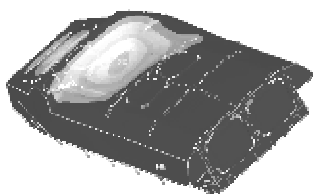
На рис. 4 показаны качественные распределения во времени вертикальных перемещений точек, расположенных на середине люка трансмиссионно-отделения, носа, кормы ряд (1, 2 и 3 соответственно).



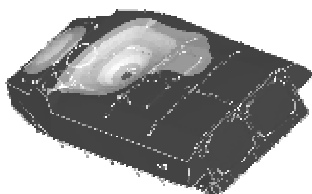
1



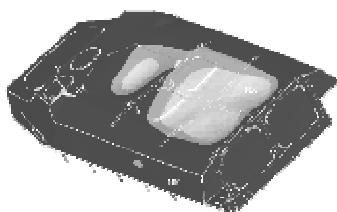
2



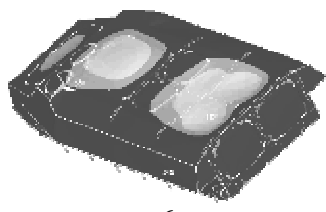
3



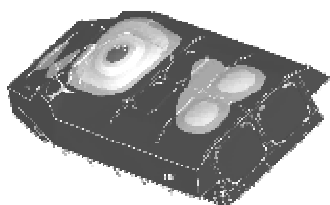
4



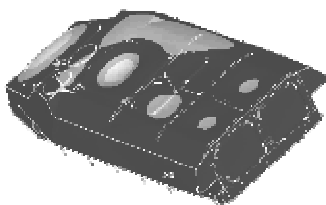
5



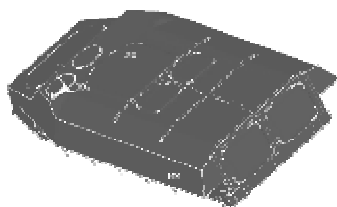
6



7



8



9

Рис. 3. Характерные распределения перемещений в корпусе боевой машины при прохождении ударной волны

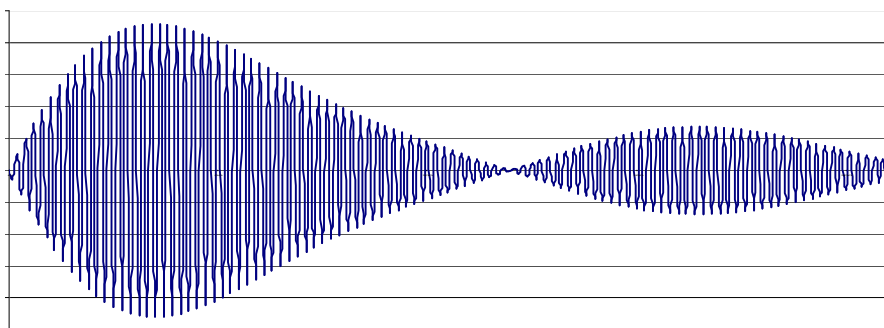


Рис.4. Качественный вид распределения вертикальных перемещений характерных точек корпуса при действии подвижной волны избыточного давления

5. Заключение. В результате решения поставленных в статье задач:

1) Разработана комплексная математическая модель, отличительной особенностью которой является более точное моделирование напряженно-деформированного состояния, вызванного приложением нагрузки от ударной волны на корпус боевой машины, по сравнению с существующими методами;

2) Разработаны модули специализированного программного комплекса для проведения многовариантных динамических расчетов;

3) Проведено решение тестовых задач. Полученные результаты по характеру поведения напряжений и деформирования корпуса БМ подтверждают качественное соответствие моделируемому процессу. Подтверждена работоспособность предлагаемых методов, алгоритмов и программного обеспечения.

В дальнейшем предполагается расширение функциональных возможностей разработанного программного обеспечения и созданных моделей, а также проведение конкретных исследований при реальных значениях варьируемых и фиксированных параметров.

Список литературы. 1. Чобиток В.А., Брижинёв Ю.Н., Долганов А.А., Мирошник А.В. Конструкция и расчёт танков и БМП. – М.: Воениздат, 1984. – 376с. 2. Балдин. В.А. Теория и конструкция танка. – М.: Воениздат, 1975. - 442 с. 3. Буров С.С. Конструкция и расчет танков. – М.: Воениздат, 1973. – 602 с. 4. Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Глуценко Э.В., Ткачук А.В. Программно-аппаратный комплекс для анализа и синтеза моделей элементов сложных механических систем // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Динаміка і міцність машин”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2004. – № 31. – С.154-165. 5. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541 с. 6. Васильев А.Ю. К вопросу о деформировании корпусов транспортных средств при действии ударных нагрузок // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Тематичний випуск: “Динаміка і міцність машин”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005.– № 47. – С.42-50.

Поступила в редколлегию 15.11.2005