

мых силосов необходимо проведение расчетно-экспериментальных исследований с жестким контролем степени соответствия получаемых численным и экспериментальным путями результатов.

3. Для создания адекватных и достоверных моделей НДС силосов (в том числе их перспективных вариантов) необходимо сотрудничество исследователей, проектантов, изготовителей.

В дальнейшем планируется проведение численных и экспериментальных исследований с применением более точных моделей конструкции силоса.

Список литературы. 1. *Подгородецкий О.А.* Актуальные вопросы обеспечения эксплуатационной надежности силосов // «Хранение и переработка зерна». – 2011. – №11. – С. 46-52. 2. <http://presspoint.ud/pres/pressiteminfo/4266> – информация о силосах. 3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/Силос> – описание силоса и силосных установок. 4. <http://www.kmz.pl.ua/catalog/124/1.html> – информация о силосах. 5. *Кулаковский А. Б., Федосеев В. В.* Элеваторы СССР – М.: Колос, 1966. 6. Новое в строительстве зернохранилищ и предприятий системы заготовок. – М.: Колос, 1972. 7. Справочник по монтажу оборудования элеваторов, зерноперерабатывающих и комбикормовых заводов / Под редакцией *М.А. Тартаковского*. – М.: Колос, 1983. 8. *ДБН В.2.6-163:2010.* Державні будівельні норми України. Конструкції будівель і споруд. Сталеві конструкції. Норми проектування, виготовлення і монтажу / Мінрегіонбуд України. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 202 с. 9. *ДБН В.1.2-2:2006.* Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування / Мінбуд України. – К.: Мінбуд України, 2006. – 60 с. 10. *ДБН В.2.2-8-98.* Підприємства, будівлі і споруди по зберіганню та переробці зерна / Держбуд України. – К.: Держбуд України, 1998. – 39 с. 11. *СНУП 2.09.03-85.* Сооружения промышленных предприятий / Госстрой СССР. – М.: ЦИТП, 1986. – 116 с. 12. Пособие по проектированию предприятий, зданий и сооружений по хранению и переработке зерна (к СНУП 2.10.05-85) / ЦНИИПромзернопроект. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 145 с. 13. *ДБН А.1.1-1-93.* Система стандартизації та нормування в будівництві. Основні положення / Держбуд України. – К.: Держбуд України, 1993. – 11 с. 14. *ДБН В.1.2-14-2009.* Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 32 с. 15. Правила обстежень, оцінки технічного стану та паспортизації виробничих будівель і споруд / Нормативні документи з питань обстежень, паспортизації, безпечної та надійної експлуатації виробничих будівель і споруд. – К.: Держбуд України, 1999. – С. 5-69. 16. *ДБН 362-92.* Оценка технического состояния стальных конструкций эксплуатируемых производственных зданий и сооружений. – К.: Госстрой Украины, 1993. – 47 с. 17. *Басов К.А.* ANSYS: справочник пользователя. – М. ДМК Пресс, 2005. – 640 с. 18. *Капун А.Б.* ANSYS в руках инженера. – М.: Единотриал, 2003. – 272 с. 19. *Бурдун Е.Т., Кочанов В.Ю., Курпиевич А.Б., Коссе В.К.* Напряженно-деформированное состояние гофрированных пластин и полых оболочек при действии поверхностных нагрузок // 3б. наук. пр. нац. ун-ту кораблебудування. – 2009 р. – №5(428). – 45-53 с. 20. *Короткий О.А.* Совершенствование конструкции цилиндрических силосов, устанавливаемых в сельском хозяйстве. Автореферат дис. канд. тех. наук., Москва, 2009 г. – 24 с. 21. *Рацеткин С.В.* Принципы конструирования и экспериментальные исследования новых металлических спиральных силосов. Дис. канд. тех. наук., Саратов, 2003. – 172 с. 22. *Кузнецов И.М.* Пространственная работа гибкого металлического силоса с наружным стержневым каркасом. Дис. канд. тех. наук., Москва, 2000. – 181 с. 23. *Ягофаров А.Х.* Совершенствование конструкции, уточнение расчета и оптимальные параметры стального круглого бункера. Дис. канд. тех. наук., Екатеринбург, 2005. – 146 с. 24. *Вершинина Н.И.* Трещиностойкость преднапряженных элементов стен сборных цилиндрических зерновых силосов. Дис. канд. тех. наук., Москва, 1984. – 220 с.

Поступила в редколлегию 07.09.12

И.Я. ХРАМЦОВА, научн. сотр. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ“;
С.Т. БРУЛЬ, директор департамента МО Украины, Киев;
Б.Я. ЛИТВИН, ген. директор ХЗТО, Харьков;
А.И. ШЕЙКО, зам. гл инж. ГП „Завод им. Малышева“, Харьков;
А.В. ГРАБОВСКИЙ, к.т.н., научн. сотр. каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ“;
Д.С. МУХИН, ст. гр. ТМ-88Б НТУ „ХПИ“

ДИНАМИКА И НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ КОРПУСОВ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ БОЕВЫХ МАШИН

У статті викладено розв'язання задачі про моделювання динамічних властивостей та напружено-деформованого стану в бронекорпусах легкоброньованих бойових машин. На прикладі бронекорпусів машин типу БТР-80, БТР-3, БТР-4 поставлені задачі про аналіз спектру власних коливань та напружено-деформований стан при дії навантажень у ході їх експлуатації. Наведено результати тестових розрахунків власних частот і форм коливань макетів бронекорпусів, а також розподіл компонент їх напружено-деформованого стану

Ключові слова: бронекорпус, бойова машина, напружено-деформований стан, власна частота

В статье изложено решение задачи о моделировании динамических свойств и напряженно-деформированного состояния в бронекорпусах легкобронированных боевых машин. На примере бронекорпусов машин типа БТР-80, БТР-3, БТР-4 поставлены задачи об анализе спектра собственных колебаний и напряженно-деформированном состоянии при действии нагрузок в ходе их эксплуатации. Приведены результаты тестовых расчетов собственных частот и форм колебаний макетов бронекорпусов, а также распределение компонент их напряженно-деформированного состояния.

Ключевые слова: бронекорпус, боевая машина, напряженно-деформированное состояние, собственная частота.

In the paper task solution is expounded for modeling of dynamic properties and stressed-deformed state in lightly armored fighting machines hulls. On the example of BTR-80, BTR-3, BTR-4 hulls tasks set about analysis of spectrum of eigentones and stressed-deformed state at loading action during their exploitation. Results of test calculations for eigenfrequencies and forms of vibrations of hulls models and also distribution of their stressed-deformed state components are presented.

Keywords: armored hull, fighting vehicle, stressed-deformed state, eigenfrequency.

Введение. Как известно, концепция и способы ведения боевых действий вооруженными силами на суше в большинстве ведущих стран мира за последние десятилетия очень серьезно изменились. С появлением мощного высокоточного оружия традиционное крупномасштабное применение тяжелой бронированной техники становится все более дорогостоящим и менее эффективным. В связи с этим в настоящее время, когда высокая мобильность и относительно низкая стоимость легкобронированной и особенно колесной техники в сочетании с мощным вооружением стали приоритетными, в полный рост стал вопрос

© И.Я. Храмцова, С.Т. Бруль, Б.Я. Литвин, А.И. Шейко,
А.В. Грабовский, Д.С. Мухин

о насыщении вооруженных сил именно боевыми легкобронированными современными машинами (БТР, БМП, БМД нового поколения и т.п.). При анализе тактико-технических характеристик (ТТХ) таких легкобронированных боевых машин (ЛБМ) наглядно прослеживается стремление разработчиков максимально удовлетворить ряд противоречивых требований – универсальное и мощное вооружение, хорошая защищенность при высокой подвижности, плавучесть и авиатранспортабельность.

Одним из основных противоречий при реализации перечисленных ТТХ является несоответствие запросов по функциональным требованиям и ограничениям по суммарной массе машины. Наиболее узким местом при решении этой проблемы является создание достаточно прочного и при этом легкого бронированного корпуса машины. Это связано с тем, что к росту нагрузок на корпус приводят самые разные факторы. Действительно, при применении новых систем вооружений, при росте скоростей движения в конечном результате резко интенсифицируются динамические процессы, ухудшающие достижение требуемых ТТХ ЛБМ.

Таким образом, эти противоречивые требования при столь жестких ограничениях на нынешнем этапе невозможно без применения мощного аппарата по математическому и компьютерному моделированию и оптимизации, как параметрической, так и структурной, бронекорпусов ЛБМ. Анализ ситуации приводит к выводу, что возникает актуальная и важная задача совершенствования методов компьютерного моделирования динамических процессов в бронекорпусах ЛБМ, решение которой составляет содержание данной работы, выполненное на примере бронетранспортеров.

Состояние вопроса в литературе. Математическое и компьютерное моделирование динамических процессов в элементах колесных и гусеничных транспортных средств специального назначения в различных аспектах рассмотрены в работах Д.О. Волонцевича, В.В. Дущенко, Е.Е. Александрова, Н.А. Ткачука, А.Н. Малакея, Г.Д. Гриценко, Е.П. Пономарева и ряда других авторов [1-6]. В этих работах с разной степенью детализации строятся математические модели или отдельных элементов динамической системы „боевой модуль – остова – двигатель – движитель”, или всей системы в целом. Принимая во внимание, что задача создания достаточно полной, точной и адекватной модели динамических процессов в такой сложной системе на сегодняшний день решена далеко не в полном объеме, а потребности промышленности и Вооруженных сил настоятельно требуют результатов такого моделирования уже в настоящее время, то одним из компромиссных вариантов может быть создание множества параметрических расчетных моделей, которые нацелены по отдельности на тот или иной тип динамических процессов. В то же время все эти модели связаны на уровне параметров и силовых воздействий, образуя таким образом „конвейер” моделей и процессов, результирующим итогом функционирования которых является база данных о реакции отдельных систем и элементов той или иной боевой машины на то или иное воздействие. В совокупности получаемый массив информации может быть использован в ходе итерационного уточнения проектных параметров, обеспечивающих требуемый уровень ТТХ

создаваемых или модернизируемых боевых машин.

В частности, представляют интерес динамические характеристики и напряженно-деформированное состояние бронекорпусов легкобронированных машин, т.к. они в значительной степени определяют прочность, защищенность, точность ведения огня из боевых модулей и другие компоненты ТТХ боевых машин.

Цель и задачи исследований. Целью работы является создание параметрических моделей для численного моделирования собственных частот колебаний и напряженно-деформированного состояния (НДС) бронекорпусов боевых машин легкой категории по массе при варьировании их структуры, конструктивных параметров и режимов боевого применения, которые могут быть использованы в ходе многовариантных расчетов для обеспечения заданных ТТХ данных машин.

Для решения поставленной задачи необходимо осуществить следующие этапы исследований: провести анализ конструкций бронекорпусов и создать их параметрические геометрические модели; разработать способ варьирования параметров бронекорпусов и режимов боевого применения в ходе многовариантных расчетов; разработать расчетные средства для определения собственных частот колебаний и НДС бронекорпусов; провести тестовые расчеты на примерах макетов бронекорпусов.

Общая постановка задачи определения динамики и напряженно-деформированного состояния корпусов бронетранспортеров. Рассмотрим, следуя работам [1-12], бронетранспортер как единую сложную механическую систему, состоящую из корпуса, на котором изнутри и снаружи смонтированы системы, приборы, агрегаты и узлы. Введем в рассмотрение неподвижную прямоугольную систему координат $Oxyz$ (Ox, x_2, x_3). Произвольная точка M в выбранной таким образом общей системе координат задается радиус-вектором

$$\vec{r} = x_i \vec{e}_i, \quad i = 1, 2, 3, \quad (1)$$

где x_i – координаты точки в этой системе координат; \vec{e}_i – единичные векторы вдоль осей x_i , образующие базис в системе координат $Ox_1x_2x_3$ (рис. 1). В (1) и ниже использовано известное правило суммирования по повторяющимся индексам.

Для удобства вводится также подвижная декартова прямоугольная система координат $C\xi_1\xi_2\xi_3$, „вмороженная” в бронетранспортер в начальный момент времени $t_0 = 0$. В связанной системе координат радиус-вектор

$$\vec{\rho} = \xi_i \vec{k}_i, \quad i = 1, 2, 3. \quad (2)$$

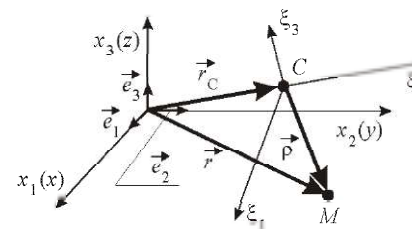


Рис.1 – Фиксированная и связанная системы координат для исследования динамических процессов в ЛБМ

Здесь ξ_i – координаты произвольной точки M ; k_i – единичные орты.

Связь радиус-векторов (см. рис.1)

$$\vec{r} = \vec{r}_c + \vec{\rho}. \quad (3)$$

Радиус-вектор $\vec{\rho}$ в свою очередь представим как (рис. 2)

$$\vec{\rho} = \vec{\eta} + \vec{u}, \quad (4)$$

где $\vec{\eta}$ – радиус-вектор произвольной фиксированной точки M в связанной системе координат в исходном (ненагруженном) состоянии; \vec{u} – вектор перемещения точки вследствие упругих деформаций при действии нагрузок с течением времени.

Представления (4), (3) разделяют и объединяют процессы переносного движения бронекорпусов ЛБМ (а, значит, и всей боевой машины), а также деформированное их состояние. Таким образом, из совокупного поля $\vec{r}(t)$ можно вычлени из общей системы уравнений движения те составляющие, которые описывают, с одной стороны, движение бронекорпуса как абсолютно жесткого тела, а с другой, – как упруго деформируемого. В частности, если к исследуемой системе применить процедуру дискретизации по методу конечных элементов (МКЭ), то разрешающая система уравнений

$$L(\vec{r}, f, t) = 0, \quad (5)$$

после интегрирования доставляет полную информацию как о перемещениях, скоростях, ускорениях в любой точке исследуемой машины, так и об упругих деформациях и напряжениях в элементах бронекорпусов. Здесь L – дифференциальный оператор, связывающий радиус-вектор \vec{r} , действующие усилия f и время t . Таким образом, если в уравнения (5) ввести некоторые параметрические зависимости L от конструктивных схем и геометрических параметров корпусов ЛБМ, то можно установить в результате многовариантных исследований параметрические зависимости и кинематических характеристик, и компонент НДС от совокупности этих параметров. Кроме того, от этих параметров p зависят также и собственные частоты колебаний бронекорпусов. Учитывая, что МКЭ дает возможность автоматизировать процесс формирования разрешающей дискретизированной системы уравнений (5), то, если автоматизировать процесс формирования геометрических и конечно-элементных моделей бронекорпусов, то тем самым можно автоматизировать весь комплекс параметрического анализа динамических процессов в корпусах ЛБМ. Данный инструмент исследований может быть использован также для построения процедуры синтеза параметров p^* , обеспечивающих требуемый уровень ТТХ проектируемых ЛБМ.

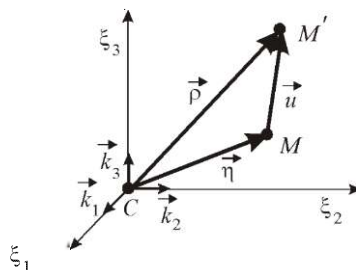


Рис. 2 – Перемещение точки M в связанной системе координат

Структура специализированного программно-модельного комплекса. Для решения задач параметрического анализа и синтеза бронекорпусов ЛБМ был разработан специализированный программно-модельный комплекс (СПМК), который состоит из специальных модулей, который по заданным их параметрам p генерирует систему команд для универсальных CAD/CAE систем типа Pro/ENGINEER, SolidWorks, ANSYS, Nastran и др., в которых проводится формирование и решение систем разрешающих уравнений (5). Анализ совокупности полученных решений составляет базу данных для обоснования искомых рациональных параметров p^* , которые и обеспечивают заданные ТТХ проектируемых ЛБМ.

Примеры текстовых расчетов динамических процессов в макетах бронекорпусов ЛБМ. В качестве иллюстрации рассмотрим исследование динамических процессов движения и напряженно-деформированного состояния бронекорпусов машин БТР-80 и БТР-3. На первом этапе были созданы модели их бронекорпусов с размерами в плане, соответствующими натурным изделиям, но с одинаковыми толщинами, а не дифференцированными в различных проекциях, как в реальных бронекорпусах (что существенно упрощает процесс варьирования моделей бронекорпусов). Далее были решены задачи: преодоление единичного препятствия; реакция на действие реактивных усилий отдачи при производстве выстрелов из боевых модулей; собственные частоты колебаний бронекорпусов. Все получаемые характеристики напрямую влияют на прочность, жесткость, динамику БТР-80 и БТР-3, то есть, в конечном итоге – на компоненты ТТХ.

На рис. 3 представлены параметрические конечно-элементные модели макетов бронекорпусов БТР-80, БТР-3, соответствующие толщине всех панелей 6 мм. На рис. 4, 5 приведены характерные картины распределения перемещений и напряжений, а также собственные формы колебаний макетов исследуемых бронекорпусов.

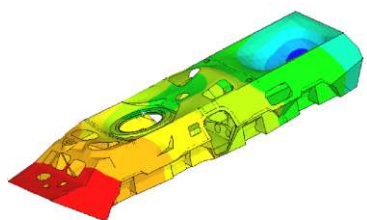


Рис 3 – Пример конечно-элементных моделей макетов бронекорпусов БТР-80 и БТР-3

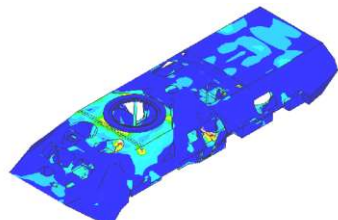
Заключение. Анализ представленных картин (см. рис. 4, 5) и спектра собственных частот колебаний (рис. 6) дает основание для следующих выводов.

1. Предлагаемый подход и разработанный СПМК дают возможность автоматизировать процессы параметрического анализа и синтеза бронекорпусов ЛБМ, которые обеспечивают заданный уровень ТТХ.
2. Спектр собственных частот колебаний бронекорпусов достаточно густой и плотный, а локализация максимальных прогибов и напряжений – в различных

зонах бронекорпусов. Таким образом, нельзя выделить доминирующую, опасную с точки зрения возможного резонанса, частоту возбуждения. Соответственно, необходимо принимать в расчет не одну из частот, а некоторый их интервал.



Полные перемещения: выстрел на борт



Эквивалентные напряжения по Мизесу: выстрел по курсу

Рис.4 – Картины распределения компонент НДС в корпусе макета БТР-80

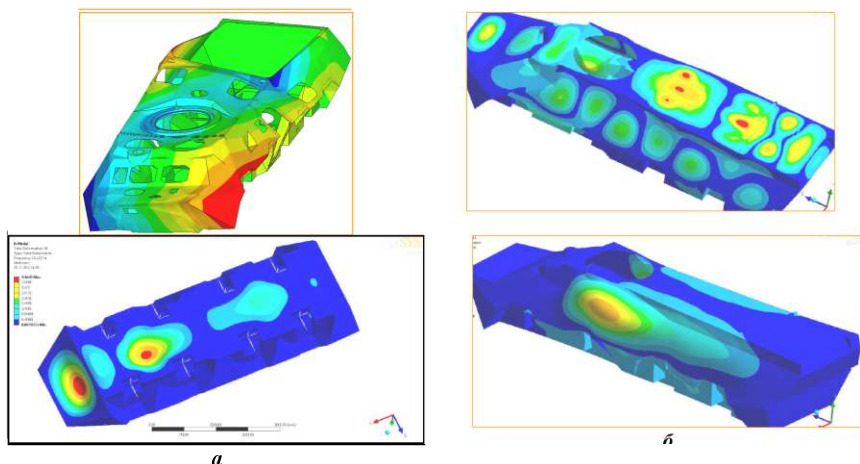


Рис. 5 – Примеры собственных форм колебаний макетов бронекорпусов: а – БТР-80; б – БТР-3

3. При преодолении препятствий на местности усилия от действия динамических усилий от подвески приводят к напряженному состоянию, локализованному в днище и элементах нижнего пояса внутреннего силового каркаса. В то же время усилия от отдачи создают напряженное состояние, локализованное в подбашенном листе бронекорпуса и элементах усиления панелей его верхней проекции.

Отмеченные особенности дают

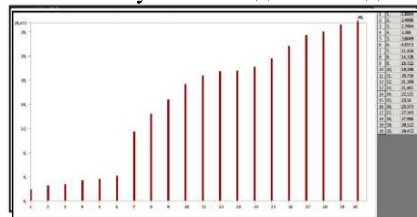


Рис. 6 – Спектр собственных частот колебаний макета бронекорпуса БТР-3 (Гц)

основание для обоснования проектных решений с точки зрения достижения заданных ТТХ проектируемых ЛБМ. То обстоятельство, что данные особенности установлены для макетов, а не натуральных конструкций бронекорпусов, не снижает их востребованности, так как отражает качественные особенности поведения целого множества подобного типа конструкций. Кроме того, полученные результаты являются отправной точкой и ориентиром для анализа и синтеза натуральных конструкций бронекорпусов, что является направлением дальнейших исследований.

Список литературы: 1. Александров Е.Е. Об особенностях построения математической модели совместного движения башенки и боевого модуля как объектов регулирования в комплексах управления вооружением для легкобронированных боевых машин / Е.Е. Александров, В.А. Кононенко, С.Н.Беляев [и др.] // Механiка та машинобудування. – 2007. – №2. – С. 3-27. 2. Александров Е.Е. Динамика транспортно-тяговых колесных и гусеничных машин / Е.Е. Александров, Д.О. Волонцевич, А.Т. Лебедев. – Харьков: ХАДИ, 2001. – 642 с. 3. Волонцевич Д.О. Спосiб пiдвищення допустимої швидкостi ведення вогню з ходу при русi бойових машин по пересiченiй мiсцевостi / Д.О. Волонцевич, I.В. Костяник, Д.I. Камфенкель // Механiка та машинобудування. – 2011. – №2. – С. 94-102. 4. Гриценко Г.Д. Специализированная система автоматизированного анализа прочности и жесткости корпусов легкобронированных машин для выбора их рациональных конструктивных параметров при импульсном воздействии от усилия стрельбы / Г.Д.Гриценко, С.Т.Бруль, А.В.Ткачук // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2006. – №3. – С.10-20. 5. Гриценко Г.Д. Экспериментальное исследование элементов корпусов БТР-80 / Г.Д. Гриценко, А.Н. Малакей, Н.А. Ткачук // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Машиноведение и САПР. – 2006. – №33. – С.23-27. 6. Пелешко С.В. Комплексне дослідження мiцностi та жорсткостi корпусiв транспортних засобiв спецiального призначення / С.В. Пелешко, М.А. Ткачук, С.Т. Бруль [и др.] // Вестник НТУ «ХПИ». Тем. вып.: Транспортное машиностроение. – 2010. – №39. – С. 116-131.

Поступила в редколлегию 30.11.2012

УДК 621.01: 539.3

П.В. ЧУРБАНОВ, нач. бюро КОГКО НТК ЧАО „АзовЭлектроСталь”, Мариуполь

ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ И ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ ОТВАЛООБРАЗОВАТЕЛЕЙ

У статті описані результати аналізу конструкції і умов експлуатації отвалоперевантажувачів. Вони будуть використані в подальших дослідженнях напружено-деформованого стану силових елементів цих машин.

Ключові слова: отвалоперевантажувач, аналіз конструкції, напружено-деформований стан, силові елементи.

В статье описаны результаты анализа конструкции и условий эксплуатации отвалоперегрузателей. Они будут использованы в дальнейших исследованиях напряженно-деформированного состояния силовых элементов этих машин.

Ключевые слова: отвалоперегрузатель, анализ конструкции, напряженно-деформированное состояние, силовые элементы.

© П.В. Чурбанов