

Г.Д.ГРИЦЕНКО, канд. техн. наук, ГП “Завод им. Малышева”,
С.Т.БРУЛЬ, Центральное бронетанковое управление Вооружения
Главного управления логистики Командования сил поддержки
Вооруженных Сил Украины,
А.В. ТКАЧУК, канд. техн. наук, НТУ “ХПИ”

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО АНАЛИЗА ПРОЧНОСТИ И ЖЕСТКОСТИ КОРПУСОВ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ МАШИН ДЛЯ ВЫБОРА ИХ РАЦИОНАЛЬНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ ИМПУЛЬСНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ ОТ УСИЛИЯ СТРЕЛЬБЫ

У статті описані метод, алгоритми та їх програмна реалізація для аналізу міцності і жорсткості корпусів легкоброньованих машин. Запропонована система автоматизованого проектування, що дозволяє вирішувати задачі оптимального вибору конструктивних і технологічних параметрів корпусів бойових машин.

In the article method, algorithms and their program realization are described for analysis of strength and rigidity of lightweight vehicles corps. A CAD system is offered which allows deciding of tasks of optimum choice of structural and technological parameters of fighting machines corps.

Введение. Последние тенденции развития технологий проектирования и производства новых видов продукции указывают на то, что использование современных универсальных систем автоматизированного проектирования, изготовления и исследования позволяет существенно сократить сроки от первых эскизов до серийного выпуска готовой продукции. Кроме временных ресурсов также существенно уменьшаются расходы на всех этапах проектирования, исследования, создания опытных образцов, подготовки серийного производства. Однако использование универсальных систем сопряжено с рядом проблем. Одним из самых важных вопросов остается сохранение двунаправленной параметризации по всей цепочке используемых систем, что на данном этапе – неразрешимая проблема для универсальных коммерческих систем.

В статье предложена технология решения этой задачи применительно к корпусам боевых машин.

1. Обобщенный параметрический подход при исследовании напряженно-деформированного состояния корпусов легкобронированных машин. Решить сформулированную проблему позволяет применение обобщенного параметрического подхода [1-6]. Обобщенный параметрический подход заключается в расширении области параметров геометрической модели параметрами физической модели, создаваемой на базе геометрической. Примерами таких параметров могут быть условия нагруже-

ния и закрепления, параметры конечно-элементной сетки и др. На основе обобщенного параметрического подхода производится построение пространственных геометрических и конечно-элементных моделей (КЭМ) исследуемых объектов.



Рис. 1. Структура цикла жизни элементов бронетанковой техники

Транспортные средства специального назначения на протяжении всего цикла жизни (рис. 1) описываются целым рядом параметров (конструктивных, технологических, эксплуатационных, а также режимов боевого применения). При этом сама машина, представляющая собой сложную разнокомпонентную систему, в процессе создания требует проведения целого ряда исследований, в том числе определения напряженно-деформированного состояния (НДС) наиболее нагруженных и ответственных элементов для обоснованного выбора основных конструктивных параметров. Необходимо проведение многовариантных исследований для определения

реакции элементов транспортного средства на внешние воздействия. Аналогичные исследования проводятся и при проектировании и исследовании элементов технологической оснастки для производства деталей транспортных средств специального назначения. Речь в данном случае идет о повышении точности изготовления деталей и обеспечении, соответственно, высоких тактико-технических характеристик (ТТХ) боевых машин.

В частности, при проектировании новых машин и модернизации машин, принятых ранее на вооружение, основной задачей является получение некоторых новых тактико-технических характеристик изделия, образующих некоторое множество параметров T . Существует определенная связь между характеристиками T и множествами параметров P :

$$T = T(P), \quad (1)$$

где P – множество, содержащее геометрические, технологические параметры, условия эксплуатации и боевого применения.

Решение обратной задачи, т.е. определение такого множества

$$P = P(T), \quad (2)$$

которое обеспечивает заданные ТТХ проектируемого изделия, является сложной задачей, не имеющей в большинстве случаев однозначного оптимального решения.

Среди множества параметров P присутствует и та его часть, которая определяет типы, структуру, конструктивные, технологические характеристики корпусов легкобронированных машин, а также тактико-технические характеристики отдельных модулей и систем, в частности, боевого модуля и силового агрегата.

Поскольку решение задачи (2) необходимо производить путем численных аналитических и экспериментальных исследований, то соответственно при этом определяется множество параметров

$$\bar{P} = \bar{P}(\bar{P}_m), \quad (3)$$

где \bar{P}_m – множество параметров, характеризующих аналитические, расчетные или экспериментальные модели, способы вычислений и измерений.

В (3) \bar{P} – множество вычисленных или измеренных параметров P . Степень близости значений соответствующих параметров из множества P и \bar{P} является некоторой функцией \bar{P}_m . Естественно, что при использовании достаточно адекватных моделей, эффективных методов решения систем уравнений и неравенств, а также рациональных алгоритмов и схем измерений

элементы множества \bar{P} приближаются к элементам множества P , и тогда соотношения (1), (2) можно формализовать в виде некоторого соотношения

$$\Psi(P^-) = 0, \quad (4)$$

где P^- – глобальное множество параметров, характеризующее все стороны проектирования, изготовления, боевого использования, модернизации и утилизации объекта бронетанковой техники.

Множество P^- состоит из подмножеств, количественно и качественно отличающихся друг от друга. Так, тактико-технические характеристики T являются или наперед заданными величинами, или максимизируемыми. Параметры \bar{P}_m , входящие в P^- через соотношения (3), влияют на тактико-технические характеристики объектов бронетанковой техники неявно. В связи с этим определение этой зависимости уже является достаточно сложной самостоятельной задачей. Например, параметры расчетных, аналитических моделей и моделей для экспериментальных исследований являются как раз теми, которые могут варьироваться в достаточно широких пределах.

Основная идея расширенного параметрического подхода состоит в том, что обычный параметрический подход, реализованный в CAD/CAM/CAE – системах, при использовании специализированных моделей может быть расширен. Действительно, в пределах этих модулей удобно организовать не только тривиальную параметризацию, но и принять в качестве обобщенных параметров, например, структуру расчетной модели, конструктивное решение, тип конечно-элементной разбивки, способы реализации сопряжения элементов сложной механической системы. При этом не требуется создание специального метаязыка, формализующего указанное описание модели. Для того или иного класса конструкции, исходя из опыта проектирования, изготовления и исследования, строится внутренний алгоритм, который по простому набору входных данных производит построение набора конструкций на языке команд CAD/CAM/CAE – систем высокого уровня для создания соответствующей модели (рис. 2).

Предложенная схема дает возможность не только оперировать со сложноформализуемыми данными, но также учитывать сложные системы связей между ними. Это, в свою очередь, позволяет организовать процедуру целенаправленного перебора вариантов исследуемых объектов (см. рис. 2). Важнейшей особенностью и преимуществом предложенного подхода является *нечувствительность к типу, виду и составу* множества P . Таким образом, в качестве обобщенных параметров могут выступать не только количественные (как в традиционном подходе), но и качественные параметры. Кроме того, сам состав множества P может быть обобщенным варьируемым параметром.

Предлагается обобщенный параметрический подход к описанию классов проектируемых, исследуемых и изготавливаемых деталей, систем, узлов и агрегатов. Его суть в том, что в качестве обобщенных параметров принимаются не только геометрические параметры, величины сил, физико-механические характеристики (т.е. параметры в традиционном понимании), но и виды конструкторских решений, характерные особенности расчетных схем, применяемые способы дискретизации задач анализа. Это позволяет формализовать процесс исследования и оптимизации исследуемых конструкций.

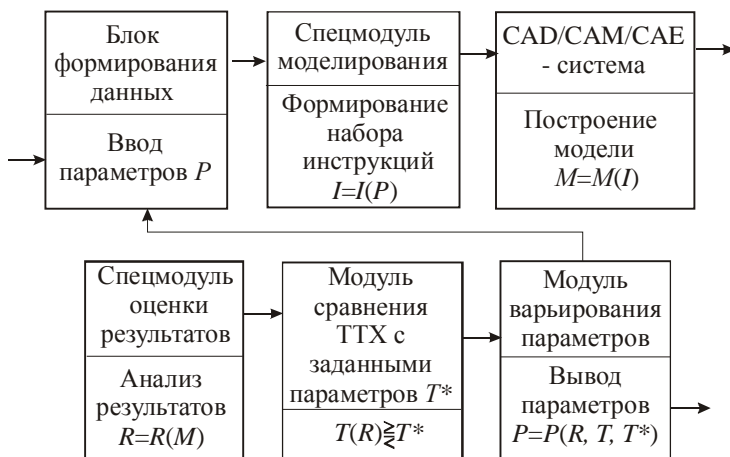


Рис. 2. Расширенный параметрический подход в процессе проектирования, исследования и изготовления корпусов легкобронированных машин

2. Общая структура системы специализированного автоматизированного анализа напряженно-деформированного состояния корпусов боевых машин. С использованием обобщенного параметрического подхода на базе универсальных CAD/CAM/CAE-систем возможно построить практически любую систему, обеспечивающую функционирование цепочки проектирование – исследование – изготовление. Для анализа и синтеза корпусов легкобронированных колесных машин предлагается один из вариантов специализированной системы, которая состоит из следующих элементов (рис. 3):

- 1) Система управления – обеспечивает взаимодействие всех модулей;
- 2) Модуль 3-хмерного моделирования – обеспечивает создание геометрических моделей в одной из универсальных САД-систем, таких как Pro/ENGINEER или Solidworks;
- 3) Модуль конечно-элементного моделирования – отвечает за создание конечно-элементных моделей с использованием универсальных САЕ-систем (ANSYS или Pro/Mechanica);
- 4) Модуль анализа и оптимизации – отвечает за просмотр результатов, а

также отдельных расчетов и оптимизационных процедур.

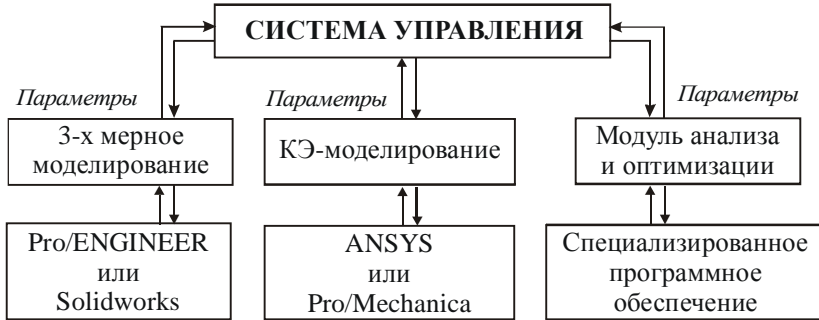


Рис. 3. Схема организации предложенной специализированной системы "БТР – ИМПУЛЬС"

Один из вариантов систем был построен на базе САД-системы Pro/ENGINEER и САЕ-системы ANSYS. Модуль анализа и система управления реализованы в виде отдельных программ на языке Delphi.

Предложенный вариант позволяет организовать следующую схему работы цепочки САД/САЕ-систем ANSYS и Pro/ENGINEER (рис. 4).

В качестве основных варьируемых параметров были выбраны следующие параметры:

- **геометрические параметры:**

- 1) толщина листа отсека МТО;
- 2) толщина швеллера вертикальной подпорки и дополнительных швеллеров;



Рис. 4. Поток информации при решении задач

- **характеристики артиллерийской установки:**

- 1) скорострельность;
- 2) усилие отдачи;

- **масса башни;**

• **характеристики режима боевого применения (углы стрельбы):**

- 1) угол возвышения;
- 2) угол рыскания;

- **свойства материала листов корпуса:**

- 1) модуль упругости;
- 2) предел текучести;
- 3) предел прочности;
- 4) плотность.

В качестве базового варианта рассмотрен корпус БТР-80 при модернизации с установкой двигателя ЗТД и боевого модуля "Гром" с 30-ти

мм пушкой. Обобщенные варьируемые параметры:

- усилие отдачи;
- темп стрельбы;
- свойства материала корпуса.

В основу специализированного программного комплекса "БТР – ИМПУЛЬС" положена модульная структура. Модули реализованы на языке программирования Object Pascal в пакете Borland Delphi. В качестве основы были использованы универсальные программные комплексы Pro/ENGINEER и ANSYS.

Универсальное программное обеспечение (УПО) обладает рядом преимуществ и ограничений. Его *преимущества*:

- практически неограниченные принципиальные возможности;
- взаимодействие и интеграция с САПР различных типов;
- отработанный удобный интерфейс.

Недостатки:

- необходимость затрат времени на разработку моделей;
- высокая стоимость;
- высокие требования к вычислительным ресурсам;
- высокие требования к квалификации пользователя.

Поэтому использованное УПО дополняется комплексом собственных разработок – специализированным программным обеспечением (СПО). Применение СПО, несмотря на свои недостатки (ограниченная функциональность, необходимость при изменении постановки задачи дорабатывать программное обеспечение), в данном случае оправдано благодаря своим преимуществам, а именно:

- минимальные ресурсы;
- оперативность;
- низкие требования к квалификации пользователя.

3. Пример программной реализации. На рис. 5 приведен снимок экрана с окном программы, управляющей изменением параметров, для исследования напряженно-деформированного состояния при производстве серии выстрелов.

На рис. 6 приведен снимок экрана с окном программы, управляющей изменением параметров, для проведения серии исследований для выявления влияния нескольких или одного отдельно взятого параметра.

В результате работы специальных модулей по управлению параметрами и универсальных: CAD-системы Pro/ENGINEER и CAE-системы ANSYS, мы получаем отчет о значениях контролируемых величин в заданных точках в виде html-файла.

На следующем этапе используется другая программа (рис. 7), которая проводит обработку данных из html-отчетов. Обработанные данные экспортируются в Microsoft Excel, где по ним строятся соответствующие графические зависимости.



Рис. 8. Потоки данных в процессе анализа и синтеза корпусов БТР-80 при действии усилий стрельбы

Видно, что напряжения в корпусе БТР-80 концентрируются в зонах подбашенного листа, соседствующих с башней. Различные компоненты тензора напряжений имеют разные распределения, но интенсивность напряжений по Мизесу, главные напряжения σ_1 и σ_3 имеют четко выраженную тенденцию к концентрации именно в области погонного кольца.

Более подробный анализ необходимо провести для определения влияния конкретных факторов на напряженно-деформированное состояние корпуса боевой машины в целом и в отдельных наиболее напряженных зонах.

Заключение. Предложенная технология исследований дает возможность строить специализированные CAD/CAM/CAE-системы для анализа и синтеза корпусов боевых машин по критериям прочности и жесткости.

В дальнейших исследованиях с использованием описанного мощного инструмента возможно построение численных моделей корпусов боевых машин. Сама созданная специализированная система автоматизированного анализа прочности и жесткости корпусов легкобронированных машин может

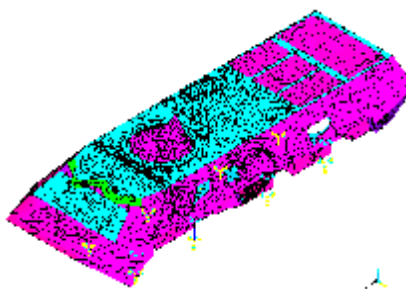
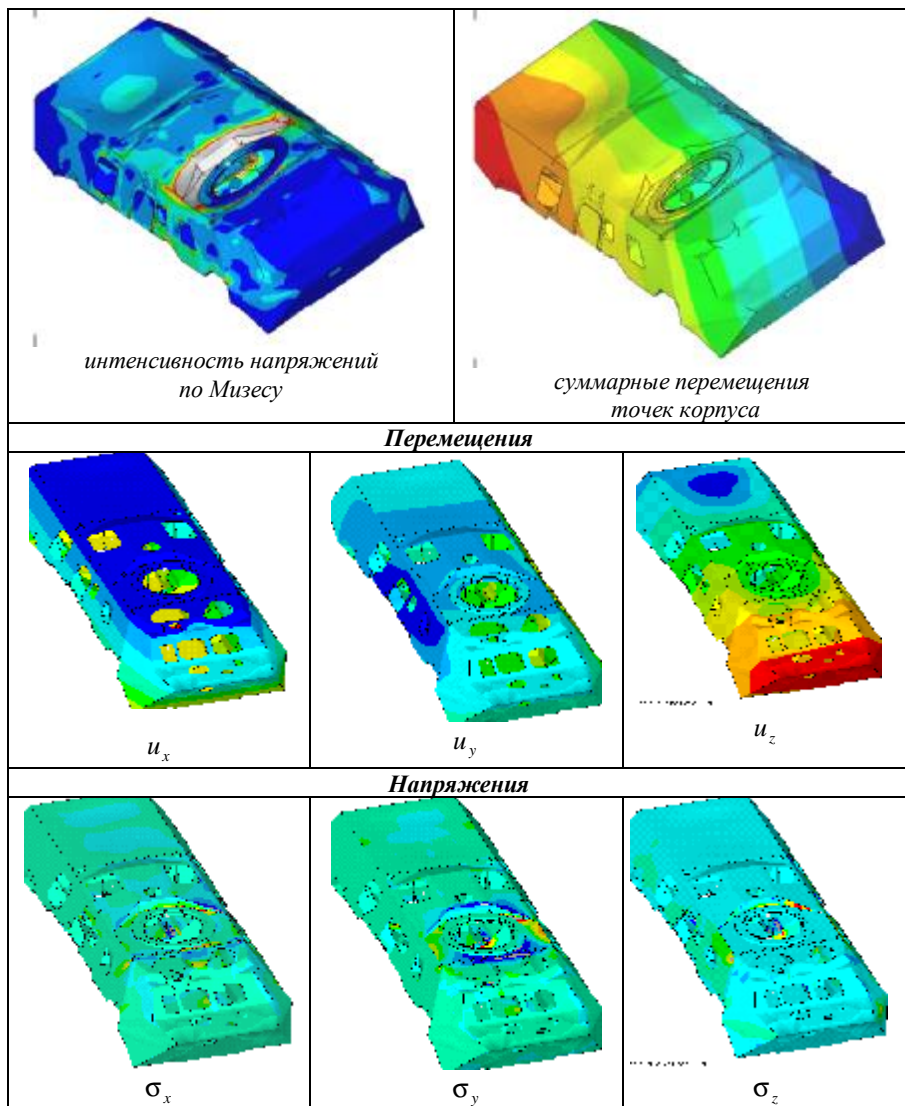


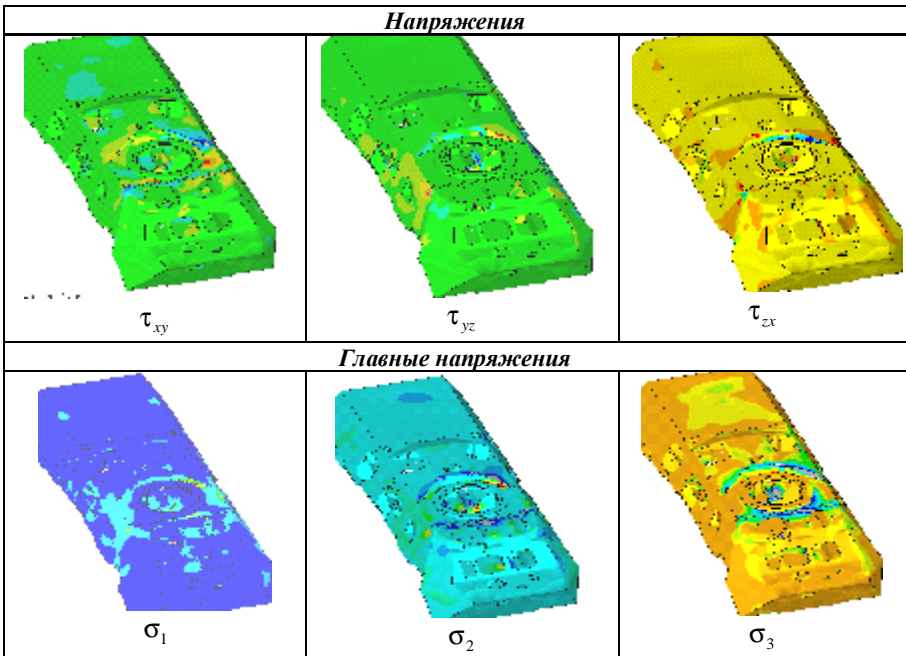
Рис. 9. Конечно-элементная модель корпуса легкобронированной машины

быть встроена в общий процесс проектно-конструкторских работ и технологической подготовки производства боевых машин на отечественных предприятиях.

Таблица 1

Распределения компонент напряженно-деформированного состояния корпусов БТР-80, реагирующих на действие импульсной нагрузки





Список литературы. 1. Ткачук Н.А., Бруль С.Т., Малакей А.Н., Гриценко Г.Д., Орлов Е.А. Структура специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза элементов транспортных средств специального назначения // *Механика та машинобудування*. – 2005. – № 1.– С.184-194. **2.** Гриценко Г.Д., Малакей А.Н., Миргородский Ю.Я., Ткачук А.В., Ткачук Н.А. Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем // *Механика та машинобудування*. – 2002.– №1. – С.6-13. **3.** Ткачук Н.А. Комбинированные расчетно-экспериментальные методы исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологических систем // *Механика та машинобудування*. – 1999. – № 1.– С.37-46. **4.** Ткачук Н.А. Параметрические модели при расчетно-экспериментальном исследовании прочности и жесткости элементов сложных механических систем // *Висока технологія в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ “ХПИ”*. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2002.– 1(5). – С.386-390. **5.** Ткачук Н.А. Специализированные системы автоматизированного исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологической оснастки // *Вісник Національного технічного університету “ХПИ”. Тематичний випуск: “Динаміка і міцність машин”*. Збірник наукових праць НТУ “ХПИ”. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2003.– № 12. – Т.1.– С.166-171. **6.** Ткачук Н.А., Пономарев Е.П., Миргородский Ю.Я., Веретельник Ю.В., Гриценко Г.Д. Специализированные системы для автоматизированного проектирования, исследования и изготовления транспортных средств специального назначения и элементов технологических систем // *Вісник Національного технічного університету “ХПИ”. Тематичний випуск: “Колесные и гусеничные машины специального назначения”*. Збірник наукових праць НТУ “ХПИ”. – Харків: НТУ “ХПИ”, 2003.– № 12. – Т.1.– С.166-171.

Поступила в редколлегию 29.12.2005