

## Выводы

1. Исследование поперечных колебаний провисающих гусеничных ветвей скоростных гусеничных машин необходимо производить с учетом кориолисовых и центробежных сил, обусловленных продольным движением гусеничной ветви.

2. Получено уравнение частот, решение которого численным методом остатка позволяет проанализировать влияние на собственные частоты и формы поперечных колебаний скорости продольного движения ветви и инерционных, жесткостных и силовых параметров гусеничного обвода.

**Список литературы. 1.** *Кохановский Н.В., Магерамов Л.К.* Неустойчивые режимы поперечных колебаний верхней ветви гусеничного обвода танка. // Механика и машиностроение. – Харьков: НТУ „ХПИ“. – 1998. – № 2. – С.41-46. **2.** *Леонов С.И.* Поперечные колебания верхней ветви обвода гусеничного движителя с передним расположением звездочки. // Известия вузов. – М.: Машиностроение, 1958. – № 9. – С.10-19. **3.** *Платонов В.Ф.* Динамика и надежность гусеничного движителя. – М.: Машиностроение, 1973. – 232 с. **4.** *Ребров А.Ю.* К вопросу о моделировании звенчатой гусеничной цепи. // Вестник НТУ “ХПИ”. Собрание научных трудов. Тематический выпуск: Автомобиле- и тракторостроение. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2003. – № 4. – С.62-66. **5.** *Горошко О.А., Демьяненко А.Г.* О двухволновом представлении решения дифференциальных уравнений, описывающих динамику некоторых конструкций с подвижной нагрузкой. // Украинский математический журнал. – 1974, Т.29. – № 5. – С.638-641. **6.** *Бронштейн И.Н., Семендяев К.А.* Справочник по математике. – М.: Наука, 1967. – 608 с.

*Поступила в редколлегию 22.11.2005*

УДК 539.3:623.438

*А.Н. МАЛАКЕЙ*, ГП “Завод им. Малышева”

## **АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОРПУСА БОЕВОЙ МАШИНЫ ПРИ ДИНАМИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ**

Запропоновано розвинений узагальнений параметричний підхід до побудови систем автоматизованого проектування корпусів бойових машин за критеріями жорсткості та міцності. Використано технології структурних та ієрархічних побудов при розгляді параметричного простору. Це дає змогу різко підвищувати ефективність досліджень фізико-механічних процесів та формування на цій основі раціональних параметрів корпусів бойових машин.

The developed generalized parametrical approach is offered to construction of CAD systems of fighting machines hulls under criteria of rigidity and strength. Technologies of structural and hierarchical constructions are used at consideration of parametrical space. It enables sharply to promote efficiency of researches of physical and mechanical processes and forming of rational parameters of fighting machines hulls on this basis.

**1. Введение.** Процесс проектирования, в частности, выбора вариантов усиления бронекорпусов легкобронированных машин (ЛБМ) в процессе модернизации требует обоснованного выбора конструктивных схем исполнения и конструктивных параметров, обеспечивающих заданные тактико-технические характеристики модернизируемой машины при выполнении требований прочности и жесткости корпуса. В работах [1,2] предложена общая технология решения поставленной задачи. Большую актуальность и важность приобретают при этом конкретные задачи исследования влияния динамических нагрузок на корпус модернизируемого БТР-80. В частности, представляет интерес характер нагружения корпуса модернизируемого бронетранспортера при преодолении препятствий, а также характеристики напряженно-деформированного состояния бронекорпуса. Это составляет основную часть актуальной задачи моделирования напряженно-деформированного состояния корпуса боевой машины при динамическом воздействии.

Отечественное бронетанкостроение нацелено на разработку новых машин с повышенными тактико-техническими характеристиками, а также на модернизацию боевых машин, находящихся на вооружении армий многих стран мира. В процессе модернизации легких по массе боевых машин в первую очередь производится усиление вооружения и повышение мощности двигателей. Это в свою очередь приводит к росту силовых нагрузок на корпус легкобронированных машин (ЛБМ), который замыкает на себе все силовые потоки, в том числе от действия импульсных усилий стрельбы и динамических сил в процессе преодоления препятствий. Естественно, что возникает задача определения резерва по прочности и жесткости модернизируемого корпуса для определения рациональных схем его усиления.

В мировой практике задачи такого типа решаются мощными научными коллективами с привлечением универсальных САПР и специализированных компьютерных систем моделирования напряженно-деформированного состояния, а также последующих лабораторных и полигонных испытаний. Для предприятий отечественного бронетанкостроения в силу ограниченных ресурсов программного и аппаратного обеспечения описанная задача представляет собой не только научную проблему, она имеет и другие составляющие: организационную, методологическую, проблему лицензионного программного обеспечения, вопрос обеспечения пиковой вычислительной мощности и необходимого дискового пространства. Требуется разработка подхода, который обеспечивал бы решение основной сформулированной задачи наравне с указанными сопутствующими ее составляющими. В первую очередь это относится к моделированию динамических процессов от воздействия элементов подвески. В связи с этим актуальной и важной задачей является разработка технологии автоматизированного исследования динамических напряжений и деформаций корпусов ЛБМ в тесной связи с остальными этапами проектных работ.

**2. Анализ и постановка задачи.** Этапы исследования напряженно-деформированного состояния корпусов легкобронированных машин являются составной частью всего процесса проектирования. Традиционным считается подход к проектированию как линейной последовательности этапов, выходная информация каждого из которых является входными данными для следующего. При этом внесение корректив и организация обратной связи затруднительна. К сожалению, такая технология, которая больше характерна для „бумажного” проектирования, зачастую механически переносится на новую, „безбумажную”, компьютеризированную. При этом теряется огромное преимущество последней – возможность организации параметрического подхода, ассоциативности и двунаправленности данных на всех этапах разработки изделия от выбора первых вариантов его структурной схемы до технологической подготовки производства.

Передовые компании мира при организации работ широко используют универсальные CAD/CAM/CAE/PDM-системы, а также специализированные системы собственной разработки либо созданные по заказу сторонними софтверными фирмами. Стоимость такого оснащения, равно как и его аппаратная составляющая, чрезвычайно высока при выборе любого из указанных путей решения проблемы.

В то же время для отечественного бронетанкостроения и науки характерно наличие большого количества математических моделей и баз данных, которые либо не реализованы в виде программных продуктов, либо реализованы в виде специальных систем, не имеющих выхода на другие системы. Этот недостаток можно обратить в преимущество, предложив технологию **интеграции** специализированных модулей, универсальных систем и интерфейсных модулей. Данный подход эффективно организовывается на базе обобщенного параметрического описания сложных механических систем, который оставляет пути для его творческого применения, дополнения и использования в зависимости от специфики решаемых задач.

В статье предлагается развитие разработанного ранее обобщенного параметрического подхода, направленное на повышение эффективности самого процесса проектирования на основе выделения разделенных по времени, содержанию и характеру процессов.

Действительно, исследование физико-механических процессов на *первых этапах* проектных работ, когда речь идет о выборе вариантов реализации создаваемой машины, ее основных тактико-технических характеристик, компоновки, отличается от задач оптимального проектирования на завершающих этапах (получение научно обоснованных конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров).

На этапе лабораторных, стендовых и полигонных испытаний характер данных исследований претерпевает еще одно изменение: речь идет об улучшении тактико-технических характеристик машины по отдельным направлениям с учетом данных, полученных на лабораторных образцах, макетах и опытных образцах боевой машины.

В связи с этими факторами предлагается этапная структуризация предлагаемой система автоматизированного исследования напряженно-деформированного состояния корпусов легкобронированных машин „БТР – ДИНАМИКА”.

**3. Формализация задачи.** Рассмотрим традиционную постановку задачи оптимального проектирования элементов боевых машин. В параметрическом пространстве  $V = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  по заданным тактико-техническим характеристикам (обозначим их множеством  $T$ ) находится такой набор параметров, который удовлетворяет ряду требований, в том числе по прочности, жесткости, массе, скоростям, ускорениям и т.д., а также доставляет минимум (максимум) функции качества системы:

$$p^* = p(T). \quad (1)$$

Обобщенный параметрический подход позволяет качественно расширить понятие параметра, а значит, и обобщенного параметрического пространства. В их состав можно включать и такие трудноформализуемые факторы, как структура, свойства численных моделей и т.д. Тогда множество варьируемых параметров  $p$  можно **структурировать**:

$$p = C \mathbf{U} \Pi \mathbf{U} K, \quad (2)$$

где  $C$  – множество, в основном описывающее создаваемую конструкцию в „скелете”;

$\Pi$  – множество проектных параметров, описывающее конструкцию в виде проектной документации;

$K$  – множество конструктивных, технологических и эксплуатационных параметров, уточняемых на этапе испытаний отдельных элементов и опытных образцов изделий.

Естественно, что множества  $C$ ,  $\Pi$ ,  $K$  не являются независимыми. Более того, между ними существует определенная иерархическая связь типа „порождающее множество  $U$  – порождаемое множество  $E$ ”, или „родитель – потомок”:

$$K = K(\Pi), \quad \Pi = \Pi(C). \quad (3)$$

Эта относительная зависимость означает, в том числе, и то, что:

1) если среди порождающих параметров не существует решения задачи  $T = T(U)$ , то теряет смысл задача  $T = T(E)$ ;

2) если существует решение  $T = T(U)$ , то в принципе возможно (но не обязательно), получение оптимального решения  $T = T(E)$  (в связи с оговоркой предполагается поиск и альтернативного решения).

Структуризация и иерархизация параметрического пространства дает два существенных преимущества: предотвращается лавинообразный рост информационных массивов; резко уменьшаются требуемые объемы вычислительных ресурсов.

**4. Структура многоуровневой системы автоматизированного исследования физико-механических процессов в корпусе боевой машины.** Предлагаемая структура многоуровневой САПР корпусов боевых машин по критериям прочности, жесткости и динамических характеристик представлена на рис. 1.

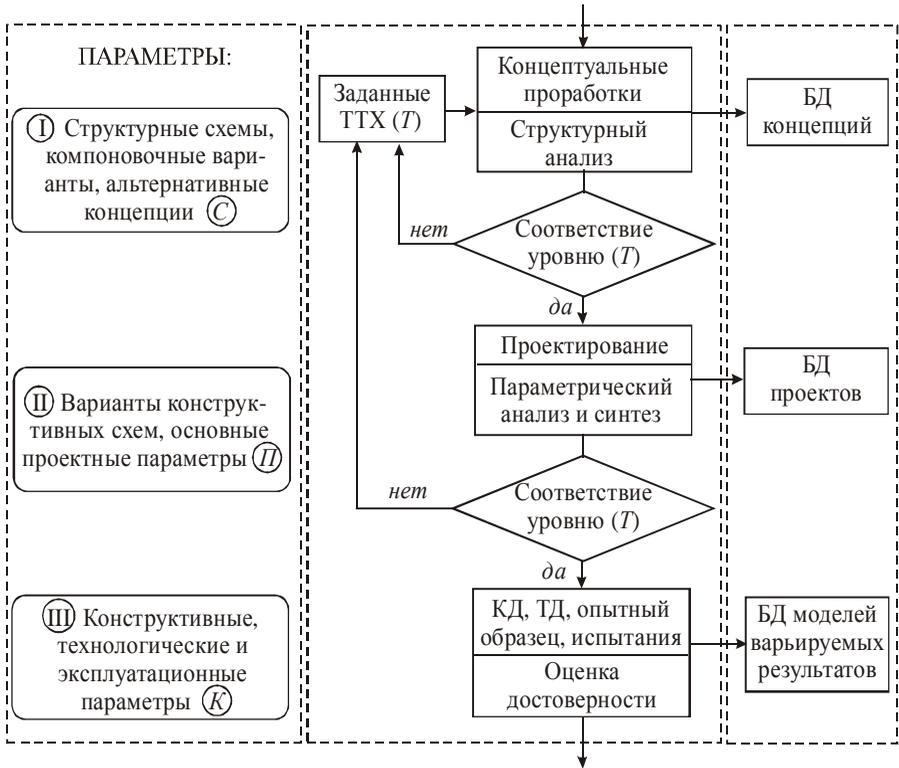


Рис.1. Структура многоуровневой САПР

При исследовании динамических процессов и напряженно-деформированного состояния для оптимального проектирования корпусов бронетранспортеров, как и в других конкретных случаях, структура специализированной интегрированной САПР обуславливается общей идеологией обобщенного параметрического подхода, модифицированного с учетом технологии структуризации и иерархизации применительно к спе-

цифике конкретного объекта. В данном случае предлагаемая структура САПР приведена на рис. 2.

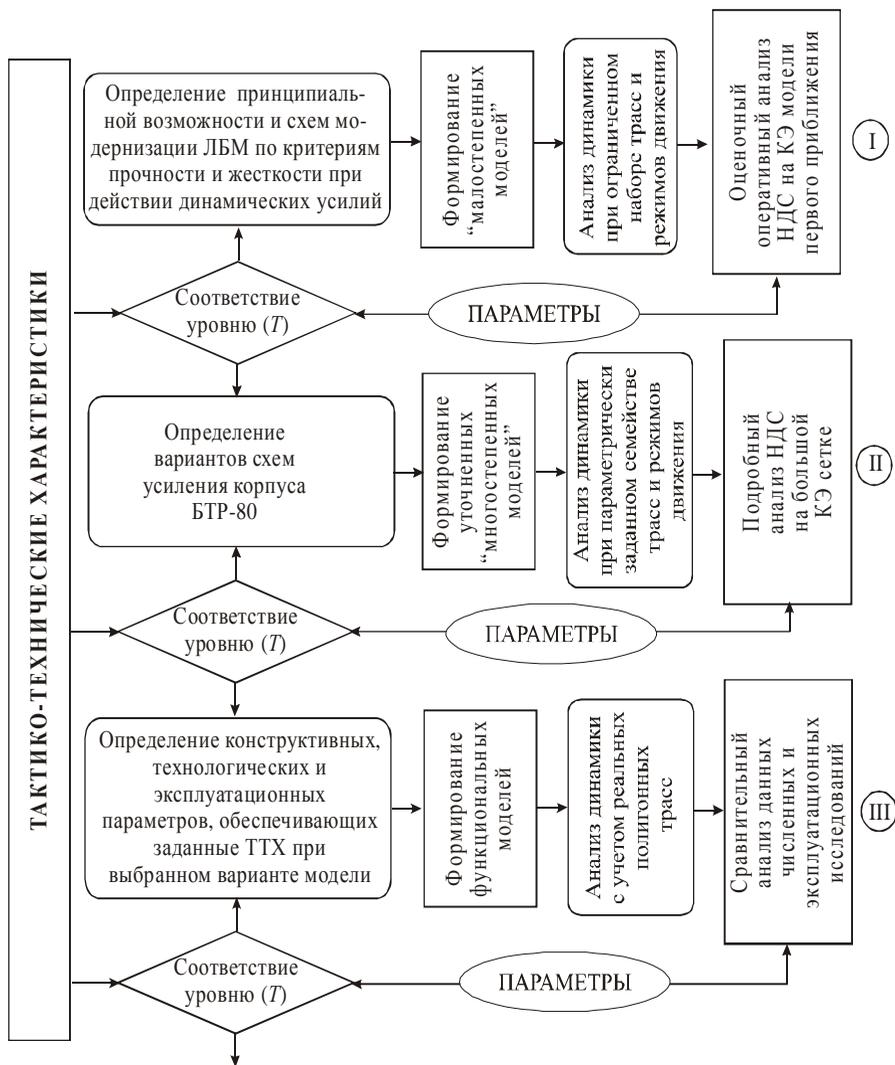


Рис.2. Структура специализированной интегрированной САПР для анализа напряженно-деформированного состояния и синтеза корпусов бронетранспортеров по критериям прочности и жесткости

5. **Программная реализация предложенного подхода.** На рис.3 представлен вариант реализации специализированной интегрированной САПР применительно к модернизируемому БТР-80.

Особенностью предложенной специализированной САПР является широкое использование преимуществ мощных универсальных программных комплексов Pro/ENGINEER, ANSYS, NASTRAN, ADAMS в сочетании с гибкой структурой данных и возможностями интерфейса.



Рис. 3. Модули специализированной системы “БТР – ДИНАМИКА”

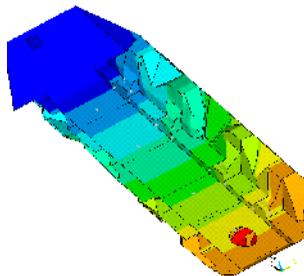
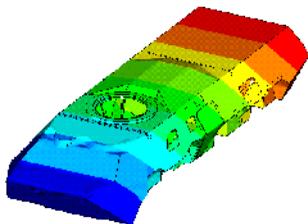
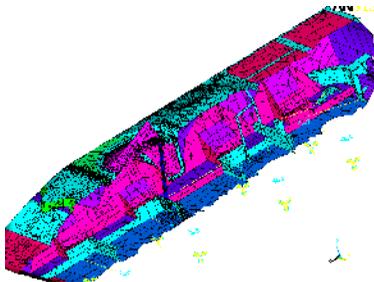
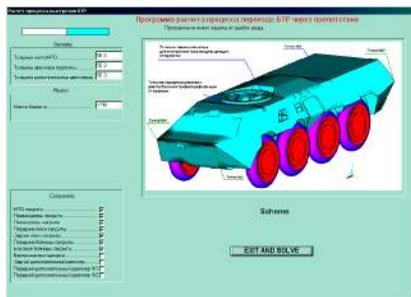


Рис. 4. Интерфейс системы “БТР – ДИНАМИКА”, конечно-элементная модель и распределение перемещений точек корпуса

**6. Решения тестовых задач.** На рис. 4 приведен интерфейс системы “БТР – ДИНАМИКА”. Реализованная система позволяет на основе ограниченного количества информации получать:

- на первом этапе – характеристики динамического воздействия от подвески на корпус;
- на втором этапе – оценивать напряженно-деформированного состояния корпуса;
- в последующем – проводить параметрический анализ и синтез конструкции.

Таким образом, покрывается весь цикл задач, возникающих в процессе модернизации корпусов легкобронированных машин.

**7. Заключение.** Предложенный в статье подход, реализованный в виде специализированной интегрированной САПР, продемонстрировал его работоспособность, показал высокую эффективность и оперативность при решении задач анализа напряженно-деформированного состояния корпусов БТР-80 в процессе модернизации. В дальнейшем требуется проведение многовариантных исследований с варьированием режимов движения, параметров препятствий и формирование на этой основе соответствующей базы данных.

**Список литературы:** 1. *Ткачук Н.А.* Интенсивная схема экспериментальных исследований элементов технологических систем // Сб. научн. тр. “Динамика и прочность машин”. – Харьков: ХГПУ. – 1998. – вып.56.– С.175-181. 2. *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 // Механіка та машинобудування. – 2005. – № 1.– С.184-194.

*Поступила в редколлегию 02.12.2005*

УДК 515.2

***В.Є.МИХАЙЛЕНКО***, докт.техн.наук, проф., ***Т.О.БОРЦОВА***,  
Київський національний університет будівництва та архітектури

### ***ДО ПИТАННЯ ПРО МОЖЛИВІСТЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ПРОЕКТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ***

В статті запропоновано підхід до автоматизації процесу проектування роботів-маніпуляторів. Аргументується необхідність використання сучасних САПР для автоматизації процесу. Наведено класифікацію роботів-маніпуляторів, яку виконано з точки зору зручності автоматизації процесу проектування роботів.