

вание и применение к решению комплекса прикладных задач.

Список литературы. 1. Бых А. И., Кузнецова Л. Г., Мовиович А. Я. Напряженно-деформированное состояние вырубных матриц специализированных переналаживаемых штампов // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. – 2004. – № 8. – С.30-33. 2. Заярненко Е.И. Разработка математических моделей и расчеты на прочность разделительных переналаживаемых штампов – Дисс. докт. техн. наук. – Харьков, 1992. – 280 с. 3. Мовиович А.Я., Буденный М.М., Здор Г.В. Конструирование и изготовление оснастки для ударной импульсной штамповки // Удосконалення процесів і обладнання обробки тиском в металургії і машинобудуванні. Тем. зб. наук. праць. – Краматорськ: ДДМА, 2006. – С.480-486. 4. Романовский В.П. Справочник по холодной штамповке. – Л.: Машиностроение, 1979. – 520 с. 5. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1968. – 283 с. 6. Скворцов Г.Д. Основы конструирования штампов для холодной листовой штамповки. – М.: Машиностроение, 1972. – 360 с. 7. Ткачук Н.А., Мовиович А.Я., Ткачук А.Н. Элементы разделительных штампов: методы и модели для исследования напряженно-деформированного состояния // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка металлов давлением. – 2009. – № 2. – С. 16-25. 8. Львов Г.И., Ткачук Н.А. Моделирование и анализ элементов технологических систем листовой штамповки // Механика та машинобудування. – 1997. – № 1. – С.34-39. 9. Естратов В.А. Теория обработки металлов давлением. – Харьков: Вища школа, 1981. – 248 с. 10. Демина Н.А. Влияние конструктивных и технологических параметров на напряженно-деформированное состояние матриц штампов холоднолистовой штамповки // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2005. – № 60. – С.68-76. 11. Демина Н.А., Ткачук Н.А., Ткачук А.Н. Баланс перемещений и уровни напряженного состояния в системе „пуансон – матрица – заготовка // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2008. – № 2. – С.80-95. 12. Демина Н.А. Метод обобщенного параметрического описания моделей элементов штамповой оснастки // Вестник НТУ „ХПИ”. Тем. вып.: „Машиноведение и САПР” – Харьков: НТУ „ХПИ”. – 2008. – № 2. – С.71-79. 13. Кравчук А.С. Постановка задачи о контакте нескольких деформируемых тел как задачи нелинейного программирования // Прикл. мат. и мех. – 1978. – Т.42. – Вып.3. – С.466-474. 14. Дюво Г., Лионс Ж.Л. Неравенства в механике и физике. – М.: Наука, 1980. – 384 с. 15. Колтунов М.А., Кравчук А. С, Майборода В. П. Прикладная механика деформируемого твердого тела. – М.: Высш. школа, 1983. – 349 с. 16. Кравчук А.С., Сурсяков В.А. Численное решение геометрически нелинейных контактных задач // Доклады АН СССР, 1981. – Т.259. – № 6. – С.1327-1329. 17. Ткачук Н.А. Экспериментальное определение параметров конечно-элементных моделей // Механіка та машинобудування. – 1998. – № 1. – С.68-75. 18. Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Глуценко Э.В., Ткачук А.В. Решение задач расчетно-экспериментального исследования элементов сложных механических систем // Механіка та машинобудування. – 2004. – №2. – С.85-96. 19. Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Четурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // Механіка та машинобудування. – 2006. – № 1. – С.57-79.

Поступила в редколлегию 10.12.07

УДК 623.438:539.3

Н.М. СТЕПАНОВ, гл. конструктор ГП „Харьковский бронетанковый ремонтный завод”,
Н.А. ТКАЧУК, докт. техн. наук, проф., зав. каф. ТММиСАПР,
А.Ю. ВАСИЛЬЕВ, мл. научн. сотрудник каф. ТММиСАПР,
Г.Д. ГРИЦЕНКО, канд. техн. наук, **А.В. ТКАЧУК**,
канд. техн. наук, ст. науч. сотр. каф. ЭИКТ, НТУ „ХПИ”

О НОВЫХ ПОДХОДАХ К ОБОСНОВАНИЮ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ УНИВЕРСАЛЬНЫХ БОЕВЫХ БРОНИРОВАННЫХ ПЛАТФОРМ

105

У статті наведено опис нового підходу до обґрунтування структури і параметрів універсальних бойових броньованих платформ. Намічені основні проблемні напрями досліджень.

In the paper the description of the new approach is presented to the ground of structure and parameters of the universal battle armored platforms. Basic problem directions of researches are listed.

Введение. Современное бронетанкостроение развивается по разным направлениям. Одним из основных тенденций на данном этапе является создание высокоунифицированных универсальных боевых бронированных платформ (УББП), на которые по модульному принципу устанавливаются те или иные боевые модули, капсулы, отсеки. В некоторых случаях это могут быть даже сменные или агрегируемые узлы, системы, агрегаты. Но принцип остается прежним – все они монтируются на едином универсальном шасси.

По данному пути идут и отечественные бронетанкостроители. Так, бронетранспортер БТР-4 (разработчик – Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А. Морозова) может быть реализован [<http://morozov.com.ua>] и как классический бронетранспортер, и как БМП, и как самоходная артиллерийская установка, и как санитарная машина, и т.д.

Таким образом, наблюдается достаточно устойчивая прогрессивная тенденция в бронетанкостроении, которая распространяется и на тяжелые боевые машины. Однако при этом возникает множество проектных задач, которые необходимо решать на основе комплекса критериев и ограничений с привлечением методов математического моделирования физико-механических процессов и состояний основных элементов проектируемых машин. В настоящее время отсутствуют отработанные подходы и математические модели для решения сформулированной проблемы.

Цель данной работы – разработка новых подходов к обоснованию структуры, конструктивных параметров для обеспечения высоких тактико-технических характеристик (ТТХ) универсальных боевых бронированных платформ на основе математического моделирования физико-механических процессов и состояний, сопровождающих боевое применение создаваемых машин.

Анализ некоторых тенденций при проектировании бронированных машин. Наибольшее внимание в современном бронетанкостроении уделяется вопросам создания не отдельных колесных и гусеничных легкобронированных машин, а их семейств. Именно на основе анализа тенденций в их проектировании можно обосновать наиболее прогрессивные пути повышения ТТХ современных боевых бронированных машин (ББМ). В частности, по результатам анализа некоторых тенденций [<http://armor.kiev.ua>, <http://www.army-technology.com>] можно сделать следующие выводы.

1. При проектировании современных боевых бронированных машин большое внимание уделяется не одной отдельно взятой машине, а их семейству, имеющему единое базовое шасси.

2. Одной из основных тенденций является попытка обеспечения наиболее широкой универсальности создаваемых платформ, т.е. возможности установки широкого спектра боевых модулей.

3. В качестве базовых требований к ТТХ проектируемых машин высту-

106

пает защищенность от действия широкого комплекса средств поражения во всех проекциях боевой машины.

4. Требуется высокая маневренность ББМ, что в свою очередь требует установки двигателя высокой мощности.

5. Для размещения боевых модулей, личного состава и оборудования на создаваемых машинах требуется обеспечение большого бронезащитного пространства.

Общий подход к решению проблемы. На основе анализа и обобщения тенденций в развитии бронетанкостроения, а также учитывая исторические и экономические обстоятельства, для создания универсальной боевой бронированной платформы в условиях отечественного бронетанкостроения одним из важных вариантов решения проблемы является проектирование тяжелой ББМ на базе танков. На рис. 1 представлена общая структура решения этой задачи.

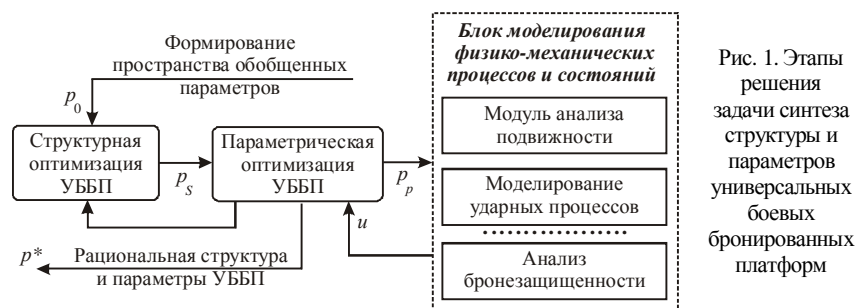


Рис. 1. Этапы решения задачи синтеза структуры и параметров универсальных боевых бронированных платформ

Предложенный подход базируется на методе обобщенного параметрического описания сложных и сверхсложных механических систем, описанных в работах [1-3]. Основное преимущество данного метода состоит в том, что на базе обобщения понятия «параметр» обеспечивается возможность математической формализации при решении трудноформализуемых этапов синтеза. Кроме того, идеология параметризации распространяется на этап моделирования физико-механических процессов и состояний (см. рис. 1), обеспечивая автоматизацию многовариантных исследований, в т.ч. с привлечением современных CAD/CAM/CAE- систем.

В результате применения предложенного подхода происходит взаимодействие на этапе решения различных задач:

- структурной оптимизации

$$S^* : I(\bar{p}, S^*) \rightarrow \max; H(\bar{p}, S^*) \leq H^* ; \quad (1)$$

- параметрической оптимизации

$$p^* : I(p^*, S^*) \rightarrow \min(\max); H(p^*, S^*) \leq H^* ; \quad (2)$$

- анализа процессов и состояний

$$L(u, p, S, f, t) = 0 . \quad (3)$$

Здесь L – оператор начально-краевой задачи моделирования исследуемого физико-механического процесса; p – подмножество традиционных параметров обобщенного параметрического пространства; S – структура проектируемой машины (подмножество обобщенного параметрического пространства); u – переменные состояния (например, перемещения точек исследуемой конструкции); f – нагрузки (в т.ч. режимы боевого применения, характеристики поражающих факторов); t – время; I – оптимизируемые характеристики машин (например, составляющие ТТХ по массе, скорости, высоте преграды и т.д.); H – характеристики ТТХ и состояния, на которые установлены ограничения (например, по прочности, бронезащитности, точности стрельбы и т.д.)

При этом важно, что представленный на рис. 1 алгоритм решения задачи и формат структурирования информации предоставляет возможности беспрепятственного встраивания создаваемых программно-модельных средств в реальный процесс проектирования на отечественных предприятиях, в т.ч. с применением САПР, а также бесконфликтного обмена информацией и бесколлизийного решения трудноформализуемых задач, в т.ч. не только на основе оптимизационных, но и компромиссных критериев.

Еще одним важным преимуществом предложенного подхода является присущая ему возможность расчетно-экспериментальной верификации параметров расчетных моделей при численном моделировании физико-механических процессов и состояний [1-3]:

$$p_N^* : \|u_N(p, S, p_N, t) - u_E(p, S, p_E, t)\| \rightarrow \min . \quad (4)$$

Здесь p_N, p_E, u_N, u_E – параметры и переменные состояния, соответствующие численной («N») и экспериментальной («E») моделям.

Таким образом, предложен новый подход к решению сложной задачи, обладающий самым широким потенциалом для автоматизации решения задач синтеза, верификации и моделирования. Строгость решения задач моделирования обеспечивается путем использования соответствующего математического аппарата (например, метода конечных элементов, механики разрушения, нелинейной динамики и т.д.).

Пример компоновочного решения. В качестве использования технологии, предложенной в статье, рассмотрим тяжелую бронированную машину, смонтированную на базе танка Т-80 (рис. 2). При обосновании структуры данной УББП были учтены все основные тенденции современного бронетанкостроения.

При выборе структуры и параметров машины преследовались цели:

- обеспечения максимальной защиты в различных проекциях (за счет разнесения бронелистов, использования элементов активной защиты, применения наклонных бронелистов);

- уменьшения силуэта за счет применения двухтактных оппозитных двигателей (ХКБД);
- дополнительного бронирования боевого модуля (или десантного отделения);
- универсализации (за счет выделения отдельного объема, предназначенного для установки широкого спектра модулей);
- подвижности (за счет установки мощных двухтактных двигателей и ограничения массы машины);
- комфортности (за счет большого заброневоего объема);
- огневой мощи (путем возможности установки в боевых модулях самого разнообразного современного вооружения).

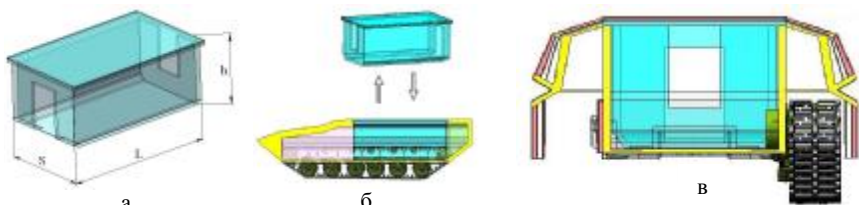


Рис. 2. Схема компоновочных решений универсальных боевых бронированных платформ: а – капсула; б – схема установки капсулы на платформе; в – платформа с установленной капсулой (вид спереди)

Моделирование процессов и состояний при применении средств поражения при анализе динамики, напряженно-деформированного состояния осуществляется в современных интегрированных CAD/CAM/CAE-системах, дополненных соответствующими математическими моделями, составляющими интеллектуальное «ноу-хау».

Заключение. Предложенный в статье подход к обоснованию структуры и параметров универсальных боевых бронированных платформ обладает следующими преимуществами по сравнению с традиционными.

1. На основе развиваемого подхода с использованием единой сквозной формализованной математической модели производится и структурная, и параметрическая оптимизация, а также моделирование физико-механических процессов и состояний.

2. Предложенный алгоритм решения задачи и формат хранения информации позволяют встраивать создаваемый программно-модельный комплекс в реальный процесс проектирования, в т.ч. с применением САПР.

3. Обеспечивается расчетно-экспериментальная верификация расчетных моделей на основе предложенного подхода, разработан вариант тяжелой боевой бронированной машины – универсальной боевой бронированной платформы.

В дальнейшем планируется развитие предложенного подхода, реализация созданной математической модели, совершенствование программно-мо-

дельного комплекса, а также обеспечение высоких ТТХ проектируемых с его применением боевых бронированных машин.

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. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2005. – №1. – С.184-194. **2.** Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Чепурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // Механика та машинобудування. – 2006. – №1. – С.57-79. **3.** Пелешко Е.В., Васильев А.Ю., Гриценко Г.Д., Бруль С.Т., Пономарев Е.П. Расчетно-экспериментальная идентификация параметров численных моделей корпусных элементов транспортных средств // Механика та машинобудування. – 2007. – №1. – С.95-100.

Поступила в редколлегию 10.10.09

УДК 539.3:612.76:616.001

Н.А. ТКАЧУК, докт. техн. наук, проф., зав. каф. ТММиСАПР,
О. В. ВЕРЕТЕЛЬНИК, мл. науч. сотр. каф. ТММиСАПР, НТУ «ХПИ»,
И.И. ТРУФАНОВ, ортопед-травматолог, Запорожская медицинская академия последипломного образования, Городская клиническая больница экстренной скорой и медицинской помощи, г. Запорожье

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ НАГРУЖЕНИИ

У статті описані нові підходи, методи і моделі для розв'язання задач аналізу напружено-деформованого стану біомеханічних систем з урахуванням контактної взаємодії. Для розв'язання задач синтезу залучено і адаптовано метод узагальненого параметричного опису складних механічних систем.

In the paper new approaches, methods and models are described for tasks solution of stressed and deformed state analysis of biomechanical systems taking into account contact interaction. For the solution of synthesis tasks the method of generalized parametrical description of complicated mechanical systems is attracted and adapted.

Введение. В настоящее время в связи с широким распространением травм опорно-двигательного аппарата актуальной и важной проблемой является разработка и обоснование эффективных схем их оперативного лечения с учетом индивидуальных особенностей пациентов и видов травм. В современных условиях для этой цели наиболее подходят численные методы моделирования напряженно-деформированного состояния (НДС) биомеханических систем (БМС) реализованные в виде мощных компьютерных систем, в частности, метод конечных элементов (МКЭ). Однако прямое применение МКЭ к исследованию напряженно-деформированного состояния БМС малозэффективно, поскольку данные компьютерные системы напрямую для этого не адаптированы. В связи с этим большую актуальность и важность приобретает задача разработки новых