

тов, т. к. незатяжка хотя бы одного из них в 2 раза снижает устойчивость приспособления к опрокидыванию.

4. При анализе жесткости базовых плит необходимо учитывать влияние Т-образных пазов, которые в 3 раза увеличивают их прогибы.

5. Базовые плиты являются более податливым элементом подсистемы „корпус – базирующий элемент”, в связи с чем ужесточения приспособления при необходимости можно в первую очередь достигнуть за счет базовых плит путем введения для них дополнительных опорных площадок и увеличения количества мест крепления.

6. Для надежного закрепления приспособлений усилия крепления должны как минимум в 2÷3 раза превышать уровень действующих сил резания.

В дальнейшем на основе полученных результатов и метода обобщенного параметрического описания элементов сложных механических систем планируется разработка методов исследования жесткостных и прочностных характеристик приспособлений с целью научно обоснованного выбора их рациональных, конструкторских и технологических параметров, структуры и режимов эксплуатации.

Список литературы. 1. Ткачук Н.А., Ряховский А.В., Кузнецова Л.Г., Ткачук Г.В. Влияние Т-образных пазов на прочностные и жесткостные характеристики базовых плит // Вопросы оборонной техники. – 1993. – Сер. 2, вып.3-4 (247–248). – С.28-35. **2.** Ряховский А.В., Бых А.И., Мовшиович А.Я. Исследование точностных параметров изготовления элементов унифицированной технологической оснастки // Механiка та машинобудування.– 2003.– № 1.– Том 2.– С.308-312. **3.** Борончукова И.М., Гусев А.А. Проектирование технологии автоматизированного машиностроения. – М.: Высшая школа, 1999. – 416 с. **4.** Кочетков А.М., Жолткевич Н.Д., Мовшиович И.Я., Глуценко В.И. Концепция создания отраслевой системы ускоренной технологической подготовки производства на базе универсально-сборной перенастраиваемой технологической оснастки // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.3-7. **5.** Глуценко В.И., Кобзев А.С. Механизированная станочная оснастка – эффективное средство повышения производительности станков // Вопросы оборонной техники. – 1990. – Сер. 2, вып.10 (229).– С.8-13. **6.** Назарова О. П., Ткачук А.В., Литвиненко А.В. Специализированная система расчетно-экспериментальное исследование базовых плит для оснащения приспособлений для станков с числовым программным управлением и обрабатывающих центров // Вісник НТУ “ХПІ”. Тем. вип. „Машинознавство та САПР”. – Харків: НТУ “ХПІ”, 2005. – № 60. – С. 121-130. **7.** Капустин А.А., Ткачук Н.А. Расчетно-экспериментальный метод исследования деформаций элементов механических систем // Вестник Харьковского государственного политехнического университета. – Харьков: ХГПУ – 1999.– вып.53.– С.148-155. **8.** Ткачук Н.А. Комбинированные расчетно-экспериментальные методы исследования прочностных и жесткостных характеристик элементов технологических систем // Механiка та машинобудування. – 1999. – № 1.– С.37-46. **9.** Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Чепурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н., Бруль С.Т. Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // Механiка та машинобудування. – 2006. – № 1.– С.57-79. **10.** Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высш. школа, 1985. – 304 с.

Поступила в редколлегию 21.02.2007

УДК 623.438:539.3

Е.В. ПЕЛЕСКО, Н.Н. ТКАЧУК, Г.Д. ГРИЦЕНКО, канд. техн. наук,
Н.А. ТКАЧУК, докт. техн. наук, НТУ „ХПИ”

СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЙ ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ПРОГРАММНО-МОДЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

У статті описані основи теорії узагальненого параметричного опису складних механічних систем. Пропонується новий підхід до технології досліджень їх напружено-деформованого стану, який полягає в інтеграції спеціалізованих параметричних моделей в універсальні програмні комплекси. Наведені результати досліджень корпусів легкоброньованих машин.

Bases of theory of the generalized parametrical description of complicated mechanical systems are described in the article. New approach is offered to technology of researches of its stressedly-deformed state which consists in integration of the specialized parametrical models in universal programmatic complexes. The results of researches of corps of the lightly armoured machines are presented.

1. Состояние вопроса и постановка задач исследований. 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 [1-4]. 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.

Решить указанную проблему позволяет применение обобщенного параметрического подхода, суть которого заключается в расширении области параметров геометрической модели параметрами физической и численной моделей, создаваемых на базе геометрической. Примерами таких параметров могут быть условия нагружения и закрепления, параметры конечно-элементной сетки и др. На основе обобщенного параметрического подхода производится построение пространственных геометрических и конечно-элементных моделей исследуемых объектов.

На основе разработанных математических моделей и обобщенного параметрического подхода [1-4] предлагается новая технология исследований с реализацией в виде специализированного интегрируемого программно-модельного комплекса для решения задач анализа и синтеза элементов механических систем по критериям прочности и жесткости в условиях импульс-

ного нагружения с целью обоснования их рациональных конструктивных параметров. В качестве базовой универсальной CAD/CAM/CAE-системы выбрана система Pro/ENGINEER с интегрированным модулем Pro/Mechanica.

2. Обоснование методики исследований. Одним из вариантов реализации технологии обобщенного параметрического описания сложных механических систем является интеграция этой технологии с системами CAD/CAM/CAE на уровне моделей. В настоящее время большее внимание уделяется вариантам „внешней” интеграции специализированных систем автоматизированного проектирования с универсальными [4]. В то же время задача „внутренней” интеграции, т.е. внедрение специально подготовленных моделей с присущими им свойствами параметричности, в системы CAD/CAM/CAE рассмотрена недостаточно. В статье ставится и решается именно эта задача, поскольку данный путь предоставляет чрезвычайно высокую оперативность и гибкость моделей. Указанные факторы являются определяющими на начальных этапах проектирования сложных изделий, когда и структура, и параметры конструкции, и геометрическая их форма являются не просто варьируемыми, а зачастую и искомыми. В этих условиях именно „внутренняя” интеграция моделей в системы CAD/CAM/CAE является одним из наиболее эффективных инструментов интенсификации исследований физико-механических процессов в сложных механических системах.

Предлагаемая технология частично апробирована в процессе проектирования и исследования элементов гидрообъемных передач [5], бесконусных загрузочных устройств для доменных печей [6], двухпараметрических передач [7, 8], корпусов бронетранспортеров, тягачей, боевых машин пехоты [9-12], ветроэнергетических установок [13-15], вибрационных выбивных машин [16] и других машиностроительных конструкций. Ниже изложены теоретические основы разработанного подхода на примере корпусов транспортных средств специального назначения.

3. Метод обобщенного параметрического описания элементов сложных механических систем. Транспортные средства специального назначения на протяжении всего цикла жизни, как отмечается в [1-6], 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 наиболее нагруженных и ответственных элементов для обоснованного выбора основных конструктивных параметров. Необходимо проведение многовариантных исследований для определения реакции элементов транспортного средства на внешние воздействия. Речь в данном случае идет об обеспечении высоких тактико-технических характеристик 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 неко-

торое множество параметров T . Существует определенная связь между характеристиками T и множествами параметров P [1-4]:

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

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.

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 , так, тактико-технические характеристики T являются или наперед заданными величинами, или максимизируемыми).

Основная идея расширенного параметрического подхода [4] состоит в том, что обычный параметрический подход, реализованный в CAD/CAM/CAE – системах, при использовании специализированных модулей и моделей может быть расширен. В пределах этих модулей и моделей 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 создания 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. 1). Данная схема, предложенная в работах [1, 2, 4, 10], 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. 1). 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.



Рис. 1. Обобщенный параметрический подход в процессе проектирования, исследования и изготовления корпусов легкобронированных машин

Предложенный обобщенный параметрический подход [4] к описанию классов проектируемых, исследуемых и изготавливаемых деталей, систем, узлов и агрегатов очень плодотворен и используется во многих работах [4-12]. Основная особенность его применения в данной работе состоит 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, причем именно в виде и формате, естественно интегрируемом в модели CAD/CAE-систем, которые используются в качестве базовых при проведении исследований. Это позволяет формализовать процесс исследования и оптимизации исследуемых конструкций. В упомянутых работах этот подход предложен и реализован в варианте специализированной интегрированной системы автоматизированного исследования и проектирования систем и агрегатов легкобронированных машин. А это, в свою очередь, требует создания совокупности методов, алгоритмов, программных модулей,

специальным образом подготовленных параметрических моделей, причем при изменении объекта проектирования необходимо перестраивать все созданные расчетные комплексы. Учитывая ситуацию лавинообразного роста моделей и режимов боевого применения, это приводит к существенному возрастанию трудоемкости и длительности исследований (на рис. 2 – предложенная ранее [4, 10, 11] технология исследования). Действительно, такая технология организации исследований достаточно эффективна и универсальна. Однако при росте количества объектов исследований (на рис. 2 – вертикально объединенные системы автоматизированного анализа и синтеза) она требует существенных затрат усилий как вследствие роста количества N типов этих легкобронированных машин, так и объема исследований на каждом „этаже” (см. рис. 2), представляющих собой составную часть каждой специализированной интегрируемой системы автоматизированного анализа и синтеза. Таким образом, технология создания *интегрированных* с универсальными CAD/CAM/CAE-системами специализированных систем *продуктивна* на этапе, когда объект проектирования определен, и *затратна* – в процессе такого выбора.

На рис. 3 предлагается новая, альтернативная предложенной ранее технология исследований, ориентированная прежде всего на комплексное исследование *семейств* объектов. Ее принципиальное отличие от схемы, представленной на рис. 2, состоит в том, что основной упор делается на создание достаточно адаптированных для использования в универсальных CAD/CAM/CAE-системах *интегрируемых* в эти системы параметрических моделей. В дальнейшем на основе технологии интеграции, основанной на использовании метода обобщенного параметрического описания сложных механических систем, производится „внедрение” этих моделей *полностью* в среду универсальных САПР, где и организовывается основная часть исследований. При этом сокращается и количество этапов, и упрощается этап подготовки моделей, а также уменьшается общая трудоемкость и ресурсоемкость процесса исследований. Однако требуется, во-первых, наличие соответствующих инструментов анализа и синтеза как в интегрируемых, так и в универсальных CAD/CAM/CAE-системах. Кроме того, желательно, чтобы модули геометрического и конечно-элементного моделирования в используемой CAD/CAM/CAE-системе были интегрированы на уровне базового формата представления и обработки информации. В дополнение к этим требованиям необходимо также, чтобы модуль CAE в используемой системе обладал достаточно качественным инструментарием анализа основного исследуемого физико-механического процесса. Для рассматриваемого случая исследования динамической реакции корпусов легкобронированных машин на импульсные воздействия предложено использование связки „Pro/ENGINEER-Pro/Mechanica”, которая полностью отвечает предъявленным требованиям.

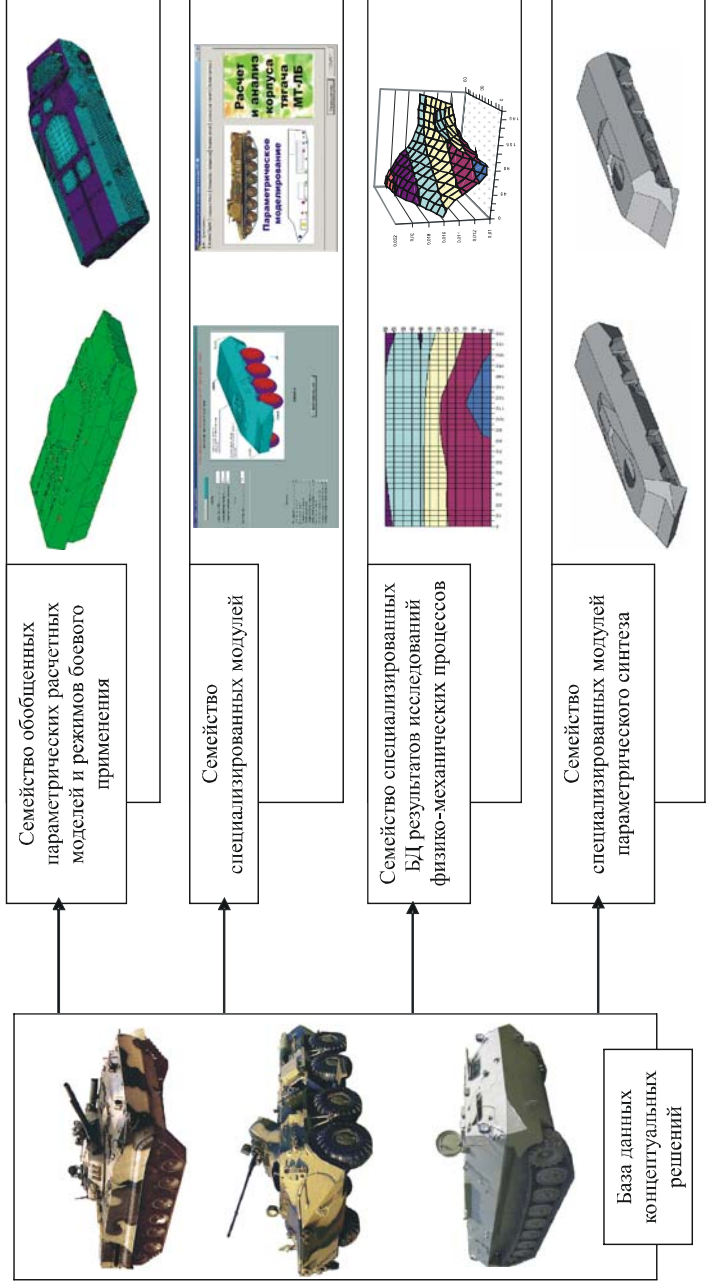


Рис. 2. Существующая технология, реализующая обобщённый параметрический подход в виде комплекса специализированных интегрированных систем автоматизированного анализа и синтеза корпусов легкобронированных машин по критериям защищённости и эффективности ведения огня из скорострельных артиллерийских систем

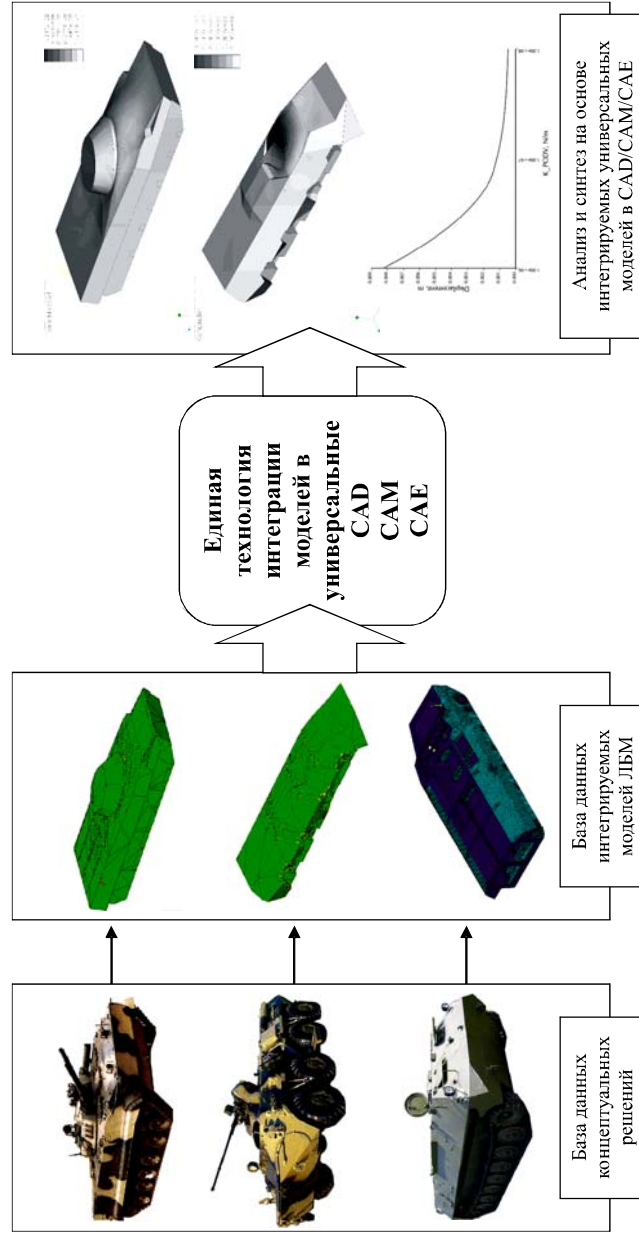


Рис. 3. Предлагаемая технология исследований с разработкой параметрических моделей, интегрируемых в универсальные CAD/CAM/CAE

4. Общая структура семейства специализированных интегрируемых программно-модельных комплексов. **С использованием обобщенного параметрического подхода [4] на базе универсальных CAD/CAM/CAE-систем возможно построить практически любой специализированный интегрируемый программно-модельный комплекс, обеспечивающий функционирование цепочки „проектирование – исследование – изготовление” в автоматизированном режиме. Для анализа и синтеза корпусов легкобронированных колесных машин предлагается один из вариантов – специализированный интегрируемый программно-модельный комплекс, описанный ниже. Основа его построения – блочно-модульный подход к созданию программно-модельных комплексов.**

Как известно, на сегодня практически любой продукт автоматизированного проектирования и моделирования построен на основе блочно-модульного подхода. В его основе лежит принцип разделения задач между отдельными частями (модулями) программы. Это позволяет существенно упростить написание и использование систем автоматизированного проектирования. Эти же принципы были использованы при создании специализированного интегрируемого программно-модельного комплекса для анализа и синтеза корпусов легкобронированных боевых машин по критериям прочности и жесткости при производстве выстрелов.

Рассмотрим характерные особенности такой технологии создания программно-модельных комплексов.

1) *Простота написания исходного кода.* Разделение программных продуктов на модули позволяет разнести написание отдельных модулей во времени и пространстве. Написание различных модулей может осуществляться различными разработчиками. Это позволяет производить написание специализированных модулей специалистом в той или иной области без необходимости его глубоких знаний в других областях, не касающихся разработанного им модуля. Так, например, автор модуля построения 3-хмерных моделей исследуемых объектов может быть специалистом в расчетах на прочность и жесткость только поверхностно, не вникая в особенности расчетной схемы. И наоборот, специалист по конечно-элементному анализу может использовать модули, построенные более квалифицированным геометрическим моделировщиком.

Модульность программных продуктов позволяет использование одних и тех же модулей при решении различных задач. При этом нет необходимости написания однотипных модулей. Один и тот же модуль может выполнять различные функции при решении различных задач. Например, модуль пре- и постпроцессорной обработки отвечает за построение геометрической модели исследуемой конструкции, а также визуализацию результатов расчетов. В данном примере модуль выполняет функцию графического ядра, используемого для отображения на экране той или иной информации.

Кроме того, что модули могут выполнять несколько близких функций в одной системе автоматизированного проектирования, они могут использо-

ваться в различных системах. Так, например, для расчета быстротекающих процессов программный комплекс ANSYS может использовать внешний модуль LS-DYNA.

2) *Простота использования создаваемых специализированных интегрируемых программно-модельных комплексов.* Для проведения того или иного расчета нет необходимости хранения в памяти компьютера всей программы по расчету различных типов задач. При блочно-модульном построении программного комплекса достаточно загрузить нужный модуль для решения той или иной задачи. При этом после выполнения необходимых действий модуль может быть выгружен из памяти или оставлен при необходимости решения аналогичных задач. Это позволяет сэкономить объем расходуемой памяти под программу и выделить больше памяти под задачу. Особенно актуальным является выделение большого объема оперативной памяти при решении задач большой размерности, нелинейных задач и задач динамики, где время решения существенно зависит от выделенного объема компьютерной памяти.

Еще одним существенным преимуществом блочно-модульного подхода к созданию программных комплексов является возможность приобретения отдельных модулей. Как правило, нет необходимости приобретения программного продукта целиком со всеми модулями. Это обычно дорого и неэффективно. В основном, у предприятий возникает необходимость решения одного или нескольких классов задач, для решения которых используются далеко не все модули программного комплекса. Поэтому целесообразной является приобретение только необходимых модулей с последующей, при необходимости, докупкой дополнительных модулей. К тому же при модернизации программного комплекса часто достаточно обновить только необходимые модули.

Основным преимуществом блочного подхода является возможность покупки уже существующих модулей с последующим написанием собственных модулей для решения специфических задач. Так, например, в работе [9] описывается программный комплекс для проведения многовариантных исследований корпуса МТ-ЛБ. Приведенный в работе комплекс позволяет варьировать различные конструктивные параметры, используя написанный на языке программирования Delphi модуль. Для создания геометрической модели конструкции используется программный комплекс Pro/ENGINEER, а для построения КЭ модели и проведения расчетов – программный комплекс ANSYS.

3) *Интегрируемость в универсальные CAD/CAM/CAE-системы.* При решении задач обеспечения повышения прочностных, жесткостных и динамических характеристик корпусов легкобронированных машин на первом месте находится задача анализа напряженно-деформированного состояния корпусов, которые представляют собой сложные пространственные пластинчато-стержневые конструкции. Эти характеристики напрямую влияют на такие тактико-технические характеристики, как защищенность, огневая мощь, подвижность, обитаемость. Для построения параметрических геометрических моделей предлагается использовать универсальную систему автоматизиро-

ванного проектирования (CAD) высокого уровня Pro/ENGINEER. Для расчета НДС корпусов транспортных средств специального назначения при варьировании различных конструктивных параметров и конструктивных решений используется система Pro/Mechanica.

В качестве силового воздействия при расчете напряженно-деформированного состояния корпусов предлагается использовать один из режимов эксплуатации транспортных средств специального назначения – ведение стрельбы очередью из артиллерийского орудия. Предлагается для взаимодействия между различными системами, варьирования параметров и задания нагрузок использовать структуру специализированных модулей и моделей. Схема специализированного интегрируемого программно-модельного комплекса изображена на рис. 4.

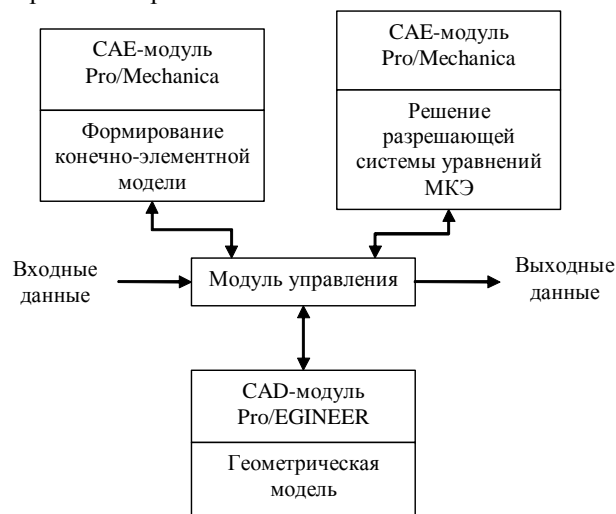


Рис. 4. Схема специализированного интегрируемого программно-модельного комплекса для автоматизированного анализа и синтеза корпусов легкобронированных машин по критериям прочности и жесткости при производстве выстрелов

Предложенная модульная структура специализированного интегрируемого программно-модельного комплекса исследования дает возможность на основе параметрического подхода автоматизировать процесс решения задач анализа, что в свою очередь создает предпосылки для организации в автоматизированном же режиме процедур направленного поиска рациональных решений. Несомненным преимуществом предложенного подхода является огромная экономия времени на решение задач оптимального проектирования при изменяемых критериях, очевидным же недостатком – необходимость „больших начальных капитальных вложений” в виде многовариантных решений задач анализа при создании базы данных. Однако этот недостаток преодолевается путем использования вычислительных систем большой мощности. Кроме того, на начальном этапе проектирования всегда есть резервы времени для решения исследовательских задач, в то время как на конечных этапах таких временных резервов, как правило, нет.

Таким образом, предложенная стратегия сдвигает основные затраты вы-

числительных усилий на начальные этапы проектных работ. Именно на этих этапах разработчикам особенно нужны данные результаты. Кроме того, можно рассматривать предложенный подход как магистральное направление автоматизированного анализа и синтеза при проектировании новых конструкций легкобронированных машин, при определении вариантов модернизации образцов боевых машин, разработанных ранее, а также при создании баз знаний в данной отрасли бронетанкостроения.

5. Технология создания семейства геометрических моделей в специализированном интегрируемом программно-модельном комплексе. **Несущий корпус легкобронированной боевой машины является сложной пространственной сварной конструкцией, внешняя обшивка которой сформирована в основном плоскими поверхностями (бронелистами различной толщины), расположенными под различными углами друг к другу. Изнутри листы подкрепляются силовыми элементами в виде балок, стоек, ребер, имеющих поперечные сечения различных размеров и профилей. Необходимость стыковки разнообразных элементов корпуса под углами друг к другу, наличие пластинчатых и объемных деталей приводят к построению модели как совокупности различных поверхностей, которые при назначении толщин выступают впоследствии в качестве срединных.**

При построении базы данных о геометрии применяется структурный подход. В основе „классификации” корпусов лежит тип. Так, для отечественных машин в качестве базовых можно выбрать существующие типы машин, таких как: МТ-ЛБ, БМП-1, БМП-3, БТР-80, БРДМ и другие. Дальнейшее разделение геометрических моделей осуществляется по структурным решениям, поскольку существует множество структурных исполнений модификации той или иной легкобронированной машины.

Схема базы данных о геометрии корпусов транспортных средств специального назначения в интегрированной среде „Pro/ENGINEER-Pro/Mechanica” выглядит следующим образом (рис. 5).

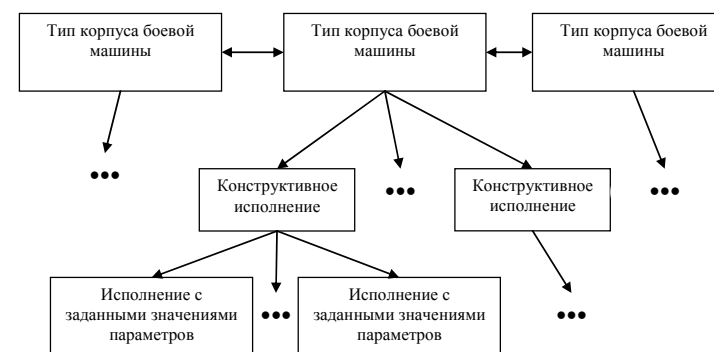


Рис. 5. Схема базы данных о геометрии корпусов бронемашин

Для упрощения построения геометрических моделей и расчета необходимо строить модель в виде оболочечно-стержневой конструкции. Это позволит существенно ускорить процесс решения задачи анализа напряженно-деформированного состояния конструкции, а также увеличить точность расчетов при относительно небольшой размерности задачи. В системе Pro/ENGINEER предлагается создание для каждого типа машины специального назначения отдельного файла. Для решения задачи подбора геометрических параметров конструкции необходимо учесть при построении модели возможность варьировать геометрические размеры конструкции. Кроме геометрических размеров, существует возможность варьирования различных конструктивных решений, таких как дополнительные бронелисты, балки и т.д.

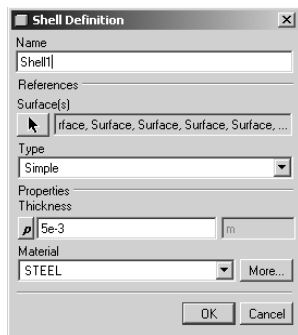


Рис. 6. Задание толщины и материала бронелистов

Одними из основных варьируемых параметров являются толщины бронелистов. Так как геометрия, построенная в системе автоматизированного проектирования, представляет собой пластинчато-балочную конструкцию с нулевыми толщинами и сечениями соответственно, то необходимо „образмерить” конструкцию, то есть задать недостающие размеры. Эти размеры являются составными компонентами обобщенного параметрического пространства, однозначно определяющего проектируемый корпус легкобронированной машины. Задание недостающих размеров осуществляется в системе автоматизированного моделирования Pro/Mechanica путем задания толщин листов и сечений балок (рис. 6, 7). Вместе с толщинами бронелистов и сечениями балок также задаются физические свойства материала. Физические свойства материала также могут выступать в качестве варьируемого параметра.

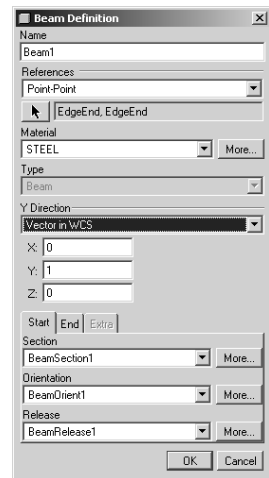


Рис. 7. Задание материала и сечения балок

Таким образом, получаем базу данных геометрических моделей корпусов транспортных средств специального назначения, идентифицируемую своим множеством параметров для каждого типа легкобронированных машин.

6. Технология создания базы данных о нагрузках и граничных условиях. Для построения базы данных нагрузок и граничных условий необходимо разделить нагрузки на типы (в зависимости от природы возникновения нагрузки). Граничные условия, как правило, существенно зависят от типа на-

грузки. Это связано со спецификой решаемых задач, в частности для случая, когда основным типом нагружения является стрельба из боевого модуля.

С учетом текущих тенденций развития современного бронетанкостроения основным видом модернизации боевых машин легкой категории по массе является установка на них новых боевых модулей. Так как в зависимости от установленного на боевую машину модуля меняются нагрузки, действующие на корпус легкобронированной машины, то необходимо нагрузки хранить в базе данных для каждого модуля.

В предлагаемом специализированном интегрируемом программно-модельном комплексе с применением системы автоматизированного проектирования Pro/ENGINEER задание нагрузок и граничных условий осуществляется в интегрированном в комплекс модуле Pro/Mechanica. В дереве модели (рис. 8) раздел, в котором расположены различные условия нагружения и закрепления, называется Loads/Constraints. Различными подпунктами в дереве модели обозначены различные типы нагружения и закрепления. Так, ConstraintSet1 и ConstraintSet2 соответствуют первый и второй тип закрепления, а LoadSet1 и LoadSet2 – различные типы нагружения. Каждый из типов нагружения или закрепления может содержать в себе несколько условий. Например, для закрепления могут быть заданы в различных точках различные ограничения на перемещения. При выполнении различных расчетов выбирается один тип закрепления и один или комбинация нескольких видов нагружения.

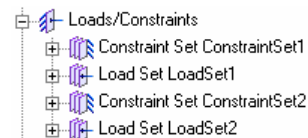


Рис. 8. Фрагмент дерева модели, отвечающая за нагружения и закрепления корпуса легкобронированной машины

На рис. 9 изображена в качестве примера модель корпуса БТР-80, на которой задано одно условие закрепления ConstraintSet1 и три типа нагружения, соответствующие силе (Force) и моменту (Moment), действующим на корпус при выстреле, и приложенным в точке расположения артиллерийского орудия, а также силе тяжести (Gravity), действующей на конструкцию.

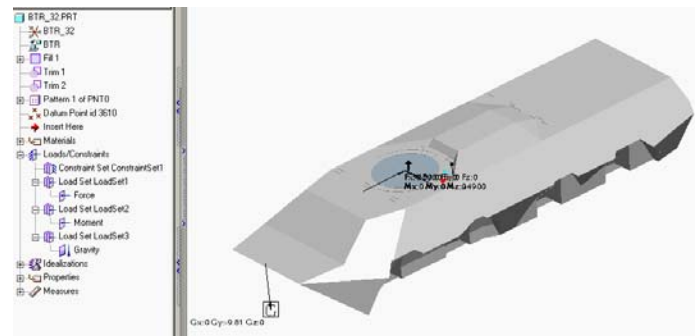


Рис. 9. Модель корпуса БТР-80 с заданными нагрузками

Так как ось приложения силы не совпадает с осью орудия, для компенсации смещения точки приложения вводится соответствующий момент.

Для возможности варьирования направлением выстрела вводятся дополнительные параметры. На рис. 10 показано окно задания параметров нагрузки в системе Pro/ENGINEER. Параметры PHI и ALPHA обозначают угол азимута и угол возвышения орудия при стрельбе. Параметр P соответствует силе, возникающей в момент выстрела из артиллерийского орудия. H – высота от оси цапф до плоскости погонного кольца.

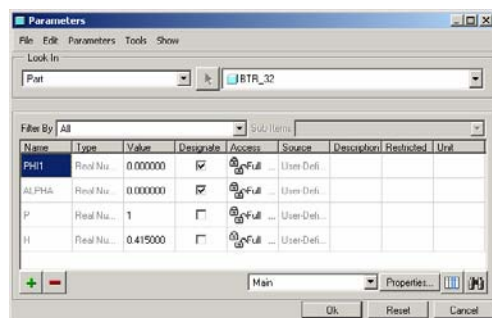


Рис. 10. Параметры силового воздействия от единичного усилия отдачи, заданные в среде системы Pro/Mechanica

Заданные параметры учитываются при задании нагрузок, действующих на корпус бронемашины, путем разложения силы и момента, действующих на корпус ЛБМ, на координатные оси (рис. 11-12). Для задания моделирования стрельбы задается импульсная функция. Частота импульса соответствует темпу стрельбы. Для различных боевых модулей необходимо задавать индивидуальную временную функцию в зависимости от скорострельности орудия. Таким образом, можно накапливать базу данных скорострельности и силы отдачи различных артиллерийских орудий.

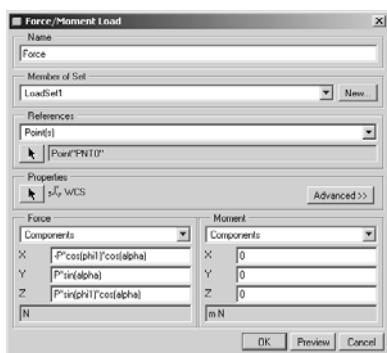


Рис. 11. Задание силы в специализированном интегрируемом программно-модельном комплексе

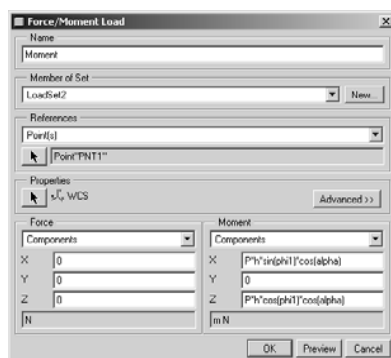


Рис. 12. Задание момента, возникающего при выстреле, в специализированном интегрируемом программно-модельном комплексе

При расчете динамики стрельбы специализированный интегрируемый программно-модельный комплекс осуществляет умножение амплитудных значений нагрузки (тактико-технические характеристики соответствующего орудия) на временную (импульсную) функцию.

Заключение. Предложенная в статье альтернативная схема организации исследования напряженно-деформированного состояния элементов сложных механических систем на примере корпусов легкобронированных машин обладает рядом следующих характерных особенностей по сравнению с разработанной ранее.

1. Подход к проектированию легкобронированных машин с заданными тактико-техническими характеристиками на основе создания специализированного интегрируемого программно-модельного комплекса решает основное противоречие процесса проектирования их корпусов – между *ограниченными* ресурсами времени, средств и технических ресурсов, выделяемых на цели исследования напряженно-деформированного состояния корпусов данных машин от воздействия усилий отдачи при стрельбе из скорострельных артиллерийских систем, и требуемым высоким *качеством* моделирования, определяющего физико-механического процесса, протекающего при восприятии корпусом этих импульсных воздействий.

2. Отличительной особенностью предполагаемого подхода, его принципиальной новизной является смещение центра тяжести при проведении исследований на первые этапы проведения проектных работ, что существенно повышает эффективность принимаемых на этой стадии решений для обеспечения в целом заданных тактико-технических характеристик по уровню защищенности, точности стрельбы и обитаемости.

3. Основным элементом создаваемого семейства специализированных интегрируемых программно-модельных комплексов для исследования реакции корпусов легкобронированных машин на воздействие усилий стрельбы являются параметризованные интегрируемые модели, полностью адаптированные для решения проектных задач в среде универсальных CAD/CAM/CAE-систем.

4. В качестве базовой среды исследований напряженно-деформированного состояния и создания проектных вариантов корпусов легкобронированных машин, обеспечивающих заданные тактико-технические характеристики боевой машины, была выбрана интегрированная среда разработки и исследований „Pro/ENGINEER – Pro/Mechanica”, обладающая, как показали специальные дополнительные исследования, всем необходимым инструментарием для моделирования сложных физико-механических процессов, а также свойствами сквозной параметричности моделей, ассоциативностью, расширенными возможностями геометрического поверхностного и твердотельного моделирования.

5. Внедрение предлагаемой технологии исследований осуществляется путем ее встраивания естественным образом в существующие процессы проектирования, так как она не использует никаких посторонних форматов данных, отличных от форматов базовой среды (в данном случае Pro/ENGINEER).

6. Предложенный специализированный интегрируемый программно-модельный комплекс создается на основе модульного построения, что улучшает

качество программного кода, расширяет возможности получаемых моделей и повышает оперативность проведения всего цикла исследований.

В заключение можно отметить, что создаваемые *семейства* специализированных интегрируемых программно-модельных комплексов обладают всем комплексом качеств для удовлетворения требований, предъявляемых в современных условиях для оперативного и научно обоснованного выбора рациональных параметров корпусов легкобронированных машин с целью обеспечить требуемые тактико-технические характеристики проектируемых боевых машин.

В качестве потенциального недостатка, кроме достаточной трудоемкости этапа подготовки исходных моделей исследуемых объектов, можно отметить присутствие всем интегрированным универсальным CAD/CAM/CAE-системам проблемы точности моделирования физико-механических процессов встроенными средствами. Это приводит к необходимости проведения верификационных исследований параметров создаваемых моделей с использованием более мощных вычислительных систем и результатов эксперимента.

Отмеченные особенности, преимущества и недостатки присущи предлагаемой технологии исследований элементов сложных механических систем независимо от объекта и физико-механических процессов.

В дальнейшем предлагается данную технологию развивать с учетом специфических особенностей проектируемых изделий.

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 // *Механіка та машинобудування*. – 2005. – № 1. – С.184-194. 2. *Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Глуценко Э.В., Ткачук А.В.* Решения задач расчетно-экспериментального исследования элементов сложных механических систем // *Механіка та машинобудування*. – 2004. – № 2. – С.85-96. 3. *Гриценко Г.Д., Бруль С.Т., Ткачук А.В.* Специализированная система автоматизированного анализа прочности и жесткости корпусов легкобронированных машин для выбора их рациональных конструктивных параметров при импульсном воздействии от усилия стрельбы // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *Машинознавство та САПР*. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2006. – № 3. – С.10-20. 4. *Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Чепурной А.Д., Орлов Е.А., Ткачук Н.Н., Бруль С.Т.* Конечно-элементные модели элементов сложных механических систем: технология автоматизированной генерации и параметризованного описания // *Механіка та машинобудування*. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – № 1. – С.57-79. 5. *Ткачук А.В., Ткачук Н.Н.* Математическое моделирование динамических процессов и напряженно-деформированного состояния элементов гидрообъемной передачи // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *“Колісні і гусеничні машини спеціального призначення”*. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2003. – № 28. – С.9-19. 6. *Пеклич М.М., Сердюк Ю.Д., Апостолов В.И., Голинка С.Н., Литвиненко А.В.* Конструктивные особенности бесконусного загрузочного устройства доменной печи с лотковым распределителем шихты производства ОАО “Азовмаш” // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *“Машинознавство та САПР”*. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – № 24. – С.121-128. 7. *Ткачук Н.Н.* Особенности построения дискретных моделей тел с кинематически генерируемыми поверхностями // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *“Машинознавство та САПР”*. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – № 33. – С.133-152. 8. *Ткачук Н.Н.* Особенности реализации тематического метода расчета двухпараметрических передач // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *Машинознавство та САПР*. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2006. – № 3. – С.133-151. 9. *Васильев А.Ю., Пономарев Е.П., Бруль С.Т.* Исследование динамики поведения корпуса МГ-ЛБ при стрельбе // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *“Машинознавство та САПР”*. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – № 33. – С.3-8. 10. *Ткачук Н.А., Гриценко Г.Д., Бараников Я.М., Литвиненко О.В.* К вопросу создания интегрированных специализированных систем для моделирования процессов пробивания преград // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *“Машинознавство та САПР”*.

– Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – № 3. – С. 16-172. 11. *Гриценко Г.Д., Бруль С.Т., Ткачук А.В.* Специализированная система автоматизированного анализа прочности и жесткости корпусов легкобронированных машин для выбора их рациональных конструктивных параметров при импульсном воздействии от усилия стрельбы // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *“Машинознавство та САПР”*. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2006. – № 3. – С.10-20. 12. *Бруль С.Т., Васильев А.Ю.* К вопросу о моделировании воздействия ударной волны на корпус боевой машины // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *Машинознавство та САПР*. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2005. – № 53. – С.66-79. 13. *Глінін Г.П., Гусев Ю.Б., Головченко В.І., Орлов Є.А.* Методи автоматизованого аналізу міцності та жорсткості просторових конструкцій // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *Машинознавство та САПР*. – Харків: НТУ „ХПІ”. – 2006. – № 3. – С.58-69. 14. *Ткачук М., Чепурной А., Головченко В., Орлов Є.* Метод скінченних елементів у спеціалізованих інтегрованих системах автоматизованого аналізу і синтезу елементів механічних систем // *Машинознавство*. – 2005. – № 6. – С.18-23. 15. *Васильев А.Ю., Ткачук М.М., Головченко В.І.* Напружено-деформований стан просторових конструкцій: методи автоматизованого аналізу // *Машинознавство*. – 2006. – №1. – С.23-28. 16. *Артемов И.В., Барчан Е.Н., Глинин Г.П., Пеклич М.М., Роменский В.И., Ткачук Н.А.* К вопросу об интеграции систем автоматизированного проектирования, технологической подготовки производства и управления предприятием // *Вісник НТУ „ХПІ”*. Тем. вип.: *“Машинознавство та САПР”*. – Харків: НТУ „ХПІ”, 2005. – № 60. – С.9-29.

Поступила в редколлегию 20.01.07

УДК 621.91

И.Б. ПЛАХОТНИКОВА, В.П. МАРШУБА, канд. техн. наук,
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ В СВЕТЕ ОБЩЕЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Розглядаються особливості створення фізичної моделі процесу різання при свердленні отворів в різних матеріалах залежно від впливу фізичних явищ на цей процес в зоні різання і зоні обробки. Запропонований підхід до створення фізичної моделі є інструментом для побудови загальної математичної моделі, яка описує процеси взаємного впливу фізичних явищ, що супроводжують глибоке свердлення.

The features of making of physical model of process of cutting at boring of openings are considered in different materials depending on influence of the physical phenomena on this process in the zone of cutting and zone of treatment. Offered approach to making of physical model, is instrumental in appearance of general mathematical model, which describes the processes of influencing of the physical phenomena between itself and accompanying the deep boring.

Введение. В процессе среза и транспортировки стружки, при резании материалов происходит возникновение, протекание и взаимное влияние друг на друга различных по сути физических явлений. Известно, что процесс резания, особенно при глубоком сверлении, является многопараметричным, т.е. на данный процесс оказывает влияние большое количество как переменных, так и постоянных факторов или физических явлений. Следовательно, основой исследований процесса резания различных материалов в