

Н.А. ТКАЧУК, докт. техн. наук, проф., зав. каф. ТММ и САПР НТУ „ХПИ”,
А.Д. ЧЕПУРНОЙ, докт. техн. наук, гл. инженер ОАО „Азовмаш”,
г. Мариуполь

СОВРЕМЕННОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ И САПР: РЕАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

У статті визначені проблемні для України питання впровадження комп'ютерних технологій у практику діяльності машинобудівних підприємств. Проілюстрована практика науково-освітньо-виробничої кооперації на прикладі центру „Тензор” НТУ „ХПИ”

В статье освещены проблемные для Украины вопросы внедрения компьютерных технологий в практику деятельности машиностроительных предприятий. Проиллюстрирована практика научно-образовательно-производственной кооперации на примере центра „Тензор” НТУ „ХПИ”

In the paper problematical questions of computer technologies introduction into the practical activity of Ukrainian machine-building enterprises are determined. The practice of scientific, educational and industrial cooperation is illustrated on the basis of NTU „KhPI” Tensor-center experience

Введение. Современное мировое машиностроение на данный момент уже не просто интегрировало в себя технологии CAD/CAM/CAE/PDM, а сделало их по сути основной средой разработки изделий. И проектирование, и технологическая подготовка, и моделирование физико-механических процессов, и обоснование принятия решений производятся на основе средств компьютерного проектирования, понимаемого в широком смысле. Отечественное машиностроение не стоит в стороне от этих тенденций. Этому есть и экономические, и правовые, и организационные предпосылки. В данной статье проводится анализ реалий, тенденций и перспектив внедрения технологий САПР в отечественном машиностроении.

1. Анализ состояния вопроса за 2005-2010 годы: база и способ. Как и любой сложный и масштабный вопрос, направление или проблема в сложной и масштабной системе (а именно таковым является рассматриваемый), он порождает ситуацию неопределенности при попытке спрогнозировать какие-либо тенденции на основе анализа текущей ситуации. Большую определенность можно получить, проанализировав процесс развития в хронологическом аспекте. Еще лучше – провести сравнительный хроно-анализ по технологии „предиктор-корректор”. Для этого нужно вооружиться некоторым прогнозом, отстоящим от сегодняшней ситуации на достаточное время, после чего проанализировать предсказываемое развитие, выделяя соответствия-несоответствия. На этой базе гораздо эффективнее делать прогнозы на будущее. С этой точки зрения, безусловно, достаточно привлекательным является обращение к серии публикаций „САПР в Украине: хроника? шок? ремиссия?” в журнале „Бизнес-мост” за 2005-2006 гг. В данном случае она не просто предоставляет материал для анализа, а дает в руки средство как объективной оценки изменения ситуации

в 2005-2010 гг., так и базу для обоснования дальнейших прогнозов.

2. Анализ мировых тенденций и отечественного рынка. В статье „Взгляд первый: чувства, впечатления, тенденции” [1] из упомянутого цикла в качестве основных мировых тенденций систем класса CAD/CAM/CAE отмечались:

- интеграция систем CAD/CAM/CAE/PDM „внутри класса”, т.е. объединение функций геометрического моделирования, исследований, изготовления, управления проектом и баз данных в одной системе;
- интегрирование систем CAD/CAM/CAE/PDM в общие информационные потоки систем MRP, ERP;
- автоматизация всех *основных сторон* жизни предприятия и всех *основных этапов* проектирования-изготовления;
- использование систем CAD/CAM/CAE/PDM как профессионального средства общения разработчиков разных фирм и разных специальностей;
- разделение рынка между несколькими основными мировыми лидерами и некоторое сближение функциональных возможностей их флагманских продуктов.

Эти мировые тенденции действительно реализовались в 2005-2010 гг. Более того, можно выделить еще несколько обнаруженных тенденций:

- стремление крупных фирм-разработчиков к созданию комплексных интегрированных решений CAD/CAM/CAE/PDM на своей платформе, в т.ч. путем интеграции разработок других фирм (примером могут быть DS-Catia-Abadus-Simulia);
- постоянное «заимствование» идей и реализация удачных решений, появляющихся у конкурентов, в разработках следующих версий (примером может быть интерфейсная оболочка Pro/ENGINEER, мигрировавшая по оформлению к „SW-подобной”). Можно добавить, что и „старые”, и „новые” тенденции в целом еще более интенсифицировались во времени.

Что касается отечественного рынка САПР, то отмечалось, что „в тенденции он стремится отразить мировые направления развития. Однако за ним „тянется” хвост-тормоз из разноплатформенных решений. Кроме того, на ситуацию давит масштабный фактор: ресурсы отечественных предприятий совершенно недостаточны не то что для тотального внедрения САПР, но и для мало-мальски комплексного их применения”.

В целом ситуация таковой и осталась. Но необходимо отметить отрядные факторы изменения корпоративной политики отдельных машиностроительных предприятий и объединений. Примером может быть проект внедрения CAD/CAM/CAE/PDM-технологий в практику деятельности ИГ „У.П.Э.К.” [www.upec.com.ua]. Эта положительная тенденция направлена на качественное улучшение не только процесса разработки, но и на его результаты – рост технических, технологических и экономических характеристик производимых изделий.

Таким образом, можно заключить, что мировые тенденции проникают на отечественный рынок. Из четырех мировых лидеров (PTC, DS, Siemens, AutoDesk) заметно продвинулись на украинском рынке некоторые продукты:

Pro/ENGINEER Wildfire, SolidWorks, Inventor, NX, а также КОМПАС российской фирмы АСКОН. При этом легальный лицензионный софт по-прежнему проблематичен для приобретения в массовом количестве вследствие, в основном, барьера непонимания руководителями их необходимости, выгоды и перспектив.

3. Требования текущего момента. В той же статье отмечалось „...то, что сегодня и завтра будет для отечественных предприятий объективно велением времени:

- требование легализации программного обеспечения;
 - требование интенсификации: сроки от начала проектирования до изготовления сокращаются от лет до месяцев, а иногда и до недель;
 - необходимость интегрируемости баз данных, „произшедших” от разных предприятий, организаций и программного обеспечения;
 - требования Всемирной торговой организации к разработке конструкторской документации в электронном формате, а также к проведению многочисленных исследований с применением лицензионного программного обеспечения
- Ситуация в этом смысле осталась той же. Несколько сглажена она была тем, что кризисные явления отвлекли внимание и самих промышленников, и международных органов от требований легализации софта в области САПР. Однако у этой ситуации есть и обратная сторона: сразу же после начала стабилизации и подъема в мировом машиностроении обязательно ужесточится конкурентная борьба. В этой ситуации вопросы легального софта станут не только тормозом для отечественных предприятий, но и оружием против них со стороны зарубежных конкурентов.

В связи с этим можно сказать, что в целом оценка ситуации, данная ранее, оказалась законсервированной: „и то плохо в данной ситуации, что ощущается дефицит времени, дефицит ресурсов. Но еще хуже, что сплошь и рядом ситуация развивается таким образом, что происходит дальнейшая потеря и ресурсов, и времени”. И основной вопрос приобретает альтернативный вид: проблема не только и не столько в деньгах, а в рациональных вариантах внедрения систем CAD/CAM/CAE/PDM.

К традиционным бедам нашего „промышленного кредо” (устаревшая ориентация на „материальную” составляющую и игнорирование информационной, в т.ч. „САПРовской”) добавляется актуальность, обусловленная качественно изменяющимися условиями существования предприятий, правовыми требованиями, к ним предъявляемыми, и экономической целесообразностью. Эта оценка, за исключением небольшого количества предприятий, обострена.

4. Анализ организационных и технологических моментов. Рассматриваются два варианта ситуации: „Не редкость в наше время ситуация, когда вновь созданная с нуля фирма продуманно проводит закупку лицензионного программного обеспечения, обучение персонала, осуществляет „привязку специалистов”, обеспечивает им достойную зарплату, приобретает документацию. И потом, все это завязано на реальные проекты, заказы, производство. Тогда у такой фирмы появляются только „нормальные” задачи развития, а не

проблемы, обусловленные недостатками проведенного или проводимого „оСАПРивания”. Но: обычно лицензионных версий программного обеспечения – единицы (только прикрытие), а то они и вовсе отсутствуют. Кроме того, такие фирмы обычно конкурентоспособны на внутреннем рынке, но не обязательно – на внешнем. Вдобавок, зачастую исследовательская компонента (системы CAE) у этих фирм „в загоне” (спасает либо старый багаж опытных специалистов, либо нетребовательность заказчиков, либо скорая оценка, прикидка „на глаз” результатов расчетов)”.

Учитывая экономическую ситуацию, такой оптимистический сценарий реализован был в единицах случаев. Упомянутая выше ИГ „У.П.Э.К.” организовала, к примеру, отдельное подразделение и осуществила многомесечный проект с фирмами РТС и Pro/Technologies по внедрению CAD/CAM/CAE/PDM в деятельность компании. В то же время, такие примеры в Украине за последние 5 лет редки, а, в основном, ситуация развивалась по более пессимистическому сценарию.

Для многих средних и крупных заводов-производителей, КБ характерны следующие варианты развития ситуации с системами CAD/CAM/CAE/PDM:

вариант А. На предприятии создается отдельная структура, в которой сконцентрировано: программное обеспечение, аппаратное обеспечение, часть персонала, ресурсы. Тогда возникают следующие противоречия:

- 1) слабая связь с конструкторскими и технологическими подразделениями;
- 2) противоречия с отделами по поводу форматов документации, сроков, качества выполнения заказов и обязанностей;
- 3) финансово-экономические противоречия: мало финансов – дискредитируется сама идея, и тогда – „вялотекущее” состояние застоя, безразличие персонала, квалифицированные кадры уходят;

вариант Б. Все ресурсы – персонал, программное обеспечение, аппаратное обеспечение, финансирование – сосредотачиваются в подразделениях.

Плюсы: 1) тесная органическая связь с внутренними проблемами, задачами отдела и предприятия в целом, а также с заказчиком;

2) желание „работать на свою команду” заставляет персонал „сверхэффективно” использовать ПО, АО, рабочее время;

3) всегда проявляются через непосредственную „обратную связь” потребности в конкретном ПО, АО, персонале, литературе.

Минусы: 1) отсутствие единой технической политики на предприятии: отделы „мигрируют” – каждый в свою сторону ПО и АО, отсюда – нестыковка при передаче документации из отдела в отдел и из службы в службу, неэффективность, и опять же – дискредитация идеи САПР;

2) непонимание некоторыми руководителями среднего звена и „неразумное” использование АО, ПО и персонала;

3) просто некому заниматься обучением и переобучением персонала;

4) никто не занимается согласованием и модернизацией АО, обновлением ПО;

5) страдает система связи и передачи информации между отделами, не

ведется единая база данных проектов;

6) вместо единой сквозной цепочки от начальных этапов проектных работ до освоения производства в лучшем случае образуются локальные циклы конструкторских и технологических подразделений, расчетных отделов;

7) отсутствует единая политика распределения объемов работ, в т.ч. передача части работ внешним исполнителям;

8) отсутствуют стандарты предприятия по организации САПР, по форматам данных, моделей и документации.

Таким образом, и в первом, и во втором случае происходит девальвация ценности и снижение эффективности использования САПР на предприятии».

Нужно отметить, что поскольку задача внедрения САПР – это *объективная* потребность предприятия, то рано или поздно она „пробьет” дорогу в субъективно воспринимаемую руководством и персоналом картину осознаваемых потребностей. За эти годы это, в основном, и происходило. Важно, чтобы осознание этой необходимости стало указателем в правильном направлении (см. выше „Оптимистическая ситуация”).

5. Состояние вопроса исследований физико-механических процессов. Нужно согласиться с данной в публикации 5-летней давности оценкой [1]: среди „триады” CAD/CAM/CAE-систем наибольшее применение нашли CAD, меньшее – CAM, и совсем слабое – CAE. Остались прежними и причины:

- отсутствие у руководства предприятий понимания всей важности данного направления. А ведь оно – неотъемлемый процесс проектирования. Более того, в соответствии с требованиями западных стандартов это обязательная часть проектных работ. Ни один заказчик, страховая фирма или потребитель не будут иметь дела с фирмой, которая не проводила всего комплекса необходимых исследований при проектировании, испытаниях, технологической подготовке производства новых изделий.

- CAE-системы обладают очень высокой стоимостью одного рабочего места: в десятки и сотни раз больше, чем CAD или CAM.

- отсутствие удовлетворительных технологий и форматов для автоматизированного формирования расчетных моделей по электронным данным, полученным из модулей CAD и CAM: до сих пор технология их формирования является все же сочетанием этапов автоматизированных и искусства расчета.

6. Анализ картины в целом. Можно согласиться с оценкой [1], что „в Украине немало фирм и предприятий, в которых не просто *освоены* CAD/CAM/CAE-технологии, а они стали способом *„мышления, общения”*, резко повышая эффективность при использовании систем PDM – способа управлять, согласовывать, структурировать все этапы проектирования. Но, к сожалению: а) их мало; б) на предприятиях, в т.ч. и с первого взгляда, успешных, очень мало лицензионных версий программных продуктов из серии CAD/CAM/CAE/PDM; в) при вступлении Украины во Всемирную торговую организацию резко нахлынул вопрос лицензирования и тотального перевода на CAD/CAM/CAE/PDM-технологию проектирования; г) требование рез-

кого повышения технического уровня выпускаемой продукции и культуры производства в условиях „открытых границ” и „мировых стандартов” требует *одномоментной* реакции по многим направлениям САПР”.

В заключение был сделан вывод о том, что „возможен *САПР-шок*, который нужно предвидеть и предпринимать определенные превентивные меры”.

К счастью, в силу ряда обстоятельств такой „САПР-шок” не состоялся. Это просто значит, что он отложен на эти годы, и ситуация обязательно „взорвется”. При этом может случиться и „громкий взрыв”, когда к какому-либо предприятию будут применены значительные штрафные санкции, а сама ситуация будет освещена в прессе, и „тихий пожар”, когда в обычном порядке, без громких публикаций, но будет проведена серия судебных разбирательств с исками против предприятий и фирм Украины. И тот, и другой сценарий объективно не отличаются последствиями (они пагубны), но разнятся по восприятию общественности. Но уже сейчас нужно понять, что ситуация с CAD/CAM/CAE-системами в Украине требует коренного изменения.

7. Центр „Тензор” НТУ „ХПИ”. НТУ „ХПИ” всегда старается не только отслеживать текущую ситуацию в науке, образовании и промышленности, но и упреждать ее конкретными действиями. С удовольствием можно процитировать [1]: „В Национальном техническом университете „Харьковский политехнический институт” приказом ректора Товажнянского Леонида Леонидовича как реакция на ситуацию (и еще больше – как стратегическая профилактика) создан в 2002 г. центр компьютерных методов проектирования, исследования и изготовления машиностроительных конструкций „Тензор”, эволюционирующий в государственный аналитический центр”.

Основные его цели:

- 1) подготовка и переподготовка специалистов по информационным технологиям проектирования;

- 2) проведение научных исследований по оптимальному проектированию элементов машиностроительных конструкций на основе глубокого анализа физико-механических процессов;

- 3) „лицензионное” обеспечение отечественных разработок по направлению CAD/CAM/CAE/PDM: в центре лицензионные версии систем Pro/ENGINEER, ANSYS, Pro/Mechanica, Inventor, WinMachine, КОМПАС, SolidWorks, Siemens PLM, LSDYNA-3D;

- 4) формирование мощного, ударного „кулака” ученых (профессоров, преподавателей, научных сотрудников, аспирантов, инженеров) для решения актуальных, важных и масштабных задач в оперативном и сверх-оперативном режиме;

- 5) создание мощных вычислительных ресурсов для исследования сложных и сверхсложных систем. В центре развернут комплекс 2-х процессорных компьютерных станций на базе процессоров Intel Pentium, Xeon, AthlonMP с объемом оперативной памяти 2-4 Гб и дисковым пространством 300-400 Гб каждая. Создан 10-узловой компьютерный кластер „Политехник-120” с объемом оперативной памяти 14 Гб, дисковым рабочим пространством 1,5 Тб. В результате возможно решение таких сложных задач, которые физически просто

„не по зубам” рядовым компьютерам. Кроме того, созданы уникальные расчетно-экспериментальный метод и расчетно-экспериментальная установка, объединяющие методы конечных элементов и голографической интерферометрии;

6) разработана технология обобщенного параметрического описания элементов сложных и сверхсложных механических систем, составляющая научную базу создаваемых специализированных интегрированных систем автоматизированного проектирования, исследования и изготовления;

7) центр „Тензор” является тем волнорезом, который может принять на себя первый шквал исследований;

8) центр, как „не продающий” ту или иную систему САПР, объективно заинтересован в сравнительном анализе возможностей, преимуществ и недостатков этих систем;

9) центр является *банком проектов*, пополняемым в процессе выполнения, а также концентратором и носителем *баз знаний* в различных областях исследования физико-механических процессов в сложных и сверхсложных механических системах;

10) центр является прекрасным „окном” за рубеж: существуя в стенах НТУ „ХПИ”, он может на льготных условиях приобретать лицензионные версии различных программных продуктов, существенно облегчая груз затрат отечественных предприятий;

11) научный, исследовательский и учебный центр „Тензор” представляет собой один из оптимальных вариантов получения услуг отечественными предприятиями „в складчину, в рассрочку и со скидкой”;

12) центр обладает огромным опытом успешного выполнения нескольких десятков научно-исследовательских проектов по заказам министерств, предприятий и международных организаций.

Примеры успешных проектов: по заказу ХТЗ проводятся исследования корпусных элементов многоцелевых тягачей МТ-ЛБ, элементов систем охлаждения ДВС; для ГП „Завод им. Малышева” рассчитывались элементы трансмиссий, литевых форм для изготовления сложнопрофильных фрагментов радиаторов; в рамках гранта №1064 Научно-технологического центра в Украине исследовались густоперфорированные пластины и оболочки, элементы технологического обеспечения, элементы индивидуальной защиты, плиты с Т-образными пазами, пресс-формы, эндопротезы; по заказу ОАО „ГСКТИ” проведены исследования сварных рам ветровых корпусов энергоустановок; для завода „Свет шахтера” исследованы элементы шахтных конвейеров”.

Нужно добавить, что за это время существенно расширен пункт 3 перечня (добавились SolidWorks и Siemens PLM). Обновлено версии почти всех программных продуктов из прежнего списка. Кроме того, пункт 5 пополнен специализированным учебно-исследовательским кластером „Политехник-125”. Он требует отдельного описания, поэтому – только краткая характеристика: 64 процессорных ядра, 128 Гб ОЗУ, 16 Тб дисковой памяти. Направленность – компьютерное моделирование нелинейных, нестационарных физико-механических процессов и состояний в сложных и сверхсложных механиче-

ских системах. Соответственно, можно пополнить и цикл успешных проектов, выполненных и выполняемых с применением страто-кластера „Политехник-125”: по заказу ОАО „ГСКТИ” проведены исследования механизма наклона уникальной дуговой сталеплавильной печи емкостью 60 тонн, а также виброударной машины для выбивки крупного вагонного литья; для предприятия бронетанкостроения исследовались динамические характеристики бронекорпусов легких по массе боевых машин; для Изюмского тепловозоремонтного завода проведено исследование напряженно-деформированного состояния рам тепловозов и обработанных методом дискретного упрочнения коленчатых валов тепловозных двигателей.

Кроме того, был выигран и успешно выполнен грант ИТ/480-2007 «Розробка теоретичних основ комп’ютерних кластерних технологій та унікального програмно-апаратного комплексу для дослідження складних та надскладних механічних систем» (2007-2008 гг.) в рамках Государственной программы „Інформаційні та комунікаційні технології в освіті і науці” (2006-2010 гг.). Он составил научно-методологическую основу всех разработок центра „Тензор” НТУ „ХПИ”.

Таким образом, можно заключить, что в НТУ „ХПИ” в центре „Тензор” успешно реализованы новые научные разработки по интегрированию методик отечественных ученых в среду CAD/CAM/CAE-систем с целью создания специализированных программно-модельных комплексов по заказам предприятий Украины и зарубежных фирм. Кроме того, развернут уникальный комплекс АО и ПО, в сочетании с новыми научными разработками и мощным кадровым потенциалом дающий возможность решить важные и масштабные проекты, цель которых – повышение технического уровня продукции отечественных предприятий и культуры производства.

8. Предложения и заключение. Как ни парадоксально, но практически без изменений и дополнений можно оставить заключительные положения статьи [1]: „Анализ отдельных тенденций позволяет заключить, что оптимальным путем для отечественных предприятий является, по мнению автора, создание „смешанной” (рациональное сочетание централизованной – децентрализованной) службы САПР. Общее требование – комплексность и продуманность стратегии внедрения систем CAD/CAM/CAE/PDM как с точки зрения выбора самих систем, так и кадровых вопросов, организационных моментов, обучения, сопровождения. Обязательно должна в качестве первого и очень важного этапа присутствовать выработка *стратегии* выполнения работ в данном направлении на предприятии, причем с привлечением мнения спектра фирм-дистрибьюторов, с выполнением ряда пилотных проектов на этапе сравнительной опытной эксплуатации различных систем, но с учетом решающего мнения *собственных* специалистов предприятия. Экономия времени и средств на этом этапе чревата многократно большими потерями на последующих. Результаты данного этапа должны быть оформлены *документально*.”

В части систем CAE очевидным путем решения возникших и грядущих проблем является использование преимуществ догоняющих (по принципам:

„дорогое – в складчину” и соединения преимуществ заимствованных зарубежных компьютерных систем и специализированных оригинальных модулей), а отсюда – необходимость создания **центров** систем CAD/CAM/CAE/PDM. В частности, уже *создан* центр „Тензор” НТУ „ХПИ”, который проводит *оперативное* выполнение заказов и „*олицензировывание*” исследований. При этом созданы *новые технологии* исследований, позволяющие соединить научные разработки отечественных ученых и передовые технологии компьютерного моделирования машиностроительных конструкций, получены в результате качественно более совершенные системы. Организована структура центра «Тензор», позволяющая *цивилизованно* решать все возникающие перед предприятиями проблемы, причем по доступным ценам и в короткие сроки. Разработана *технология и направление* исследований, решающие проблемы *достоверности и точности* исследований при помощи специально созданных расчетно-экспериментальных методов и установок.

В итоге можно заключить, что та ситуация, когда не ясно, в каком направлении идти, – эта ситуация испарилась: уже ясно, куда идти, да и налицо достаточно успешное продвижение по пути творческого развития и применения систем CAD/CAM/CAE/PDM в сочетании с оригинальными научными разработками. Знамя *прагматизма, творческого подхода, комплексности, компетентности*, поднятое производственными и научными коллективами, позволяет и тем, и другим подняться с колен, ощутить свою полноценность, востребованность, способность влиться в мировые процессы не в качестве вечно отстающих, но партнеров и конкурентов”.

Можно только отметить, что актуальность проблемы за 5 лет только выросла, значительно обострившись и приобретя актуальность и важность не только потенциальную, но и реальную. При этом подтверждена правильность прогнозов, сделанных 5 лет назад [1]. Более того, ученые, преподаватели, аспиранты и студенты университета совместно с сотрудниками центра «Тензор» активно претворяют свои разработки в жизнь. Создан высокоэффективный научно-программно-аппаратный комплекс, дающий возможность решать уникальные задачи в оперативном режиме.

Приглашаем к *взаимовыгодному* сотрудничеству при исследовании элементов сложных и сверхсложных механических систем (<http://tmm-sapr.org/> <http://www.kpi.kharkiv.edu/tmm-sapr/html/tensor.html>, tma@kpi.kharkov.ua).

В планах дальнейших публикаций цикл – развитие САПР в Украине, отдельные направления систем автоматизированного проектирования, исследования, изготовления - CAD/CAM/CAE, проекты, программное обеспечение, аппаратное обеспечение, фирмы, решения.

Список литературы: 1. Ткачук Н.А. САПР в Украине: хроника? шок? ремиссия? Взгляд первый: чувства, впечатления, тенденции / Н.А. Ткачук // Бизнес-мост. – 2005.

Поступила в редколлегию 16.06.10

УДК 539.3:623.438

С.Т. БРУЛЬ, канд. техн. наук, зам директора департамента разработок и закупки вооружения и военной техники МО Украины, Киев,
И.Н. КАРАПЕЙЧИК, ген. директор ОАО „Азовмаш”, Мариуполь,
В.М. МАЗИН, ген. директор ГП „Завод им. Малышева”,
Н.А. ТКАЧУК, докт. техн. наук, проф., зав каф. ТММиСАПР НТУ „ХПИ”

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕАКЦИИ КОРПУСОВ ЛЕГКОБРОНИРОВАННЫХ МАШИН НА ДЕЙСТВИЕ УДАРНО-ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗОК

У статті описано узагальнений підхід до числового моделювання напружено-деформованого стану корпусів легкоброньованих машин. Досліджується випадок дії ударно-імпульсних навантажень. Наведено опис удосконаленої математичної моделі.

В статье описан обобщенный подход к численному моделированию напряженно-деформированного состояния корпусов легкобронированных машин. Рассматривается случай действия ударно-импульсных нагрузок. Приведено описание усовершенствованной математической модели.

In the paper the generalized approach to numerical modeling of stress-strained state of lightly armoured vehicles hulls is described. The case of shock impulsive loadings action is considered. The description of improved mathematical model is given.

Введение. При проведении проектно-технологических работ, неизбежно возникающих в процессе разработки новых легкобронированных машин (ЛБМ) или при модернизации существующих, требуется определение реакции бронекорпусов этих машин на действие поражающих факторов.

Один из наиболее ответственных режимов боевого применения современных ЛБМ – ударная нагрузка от действия реактивных усилий отдачи. Поскольку в данное время очевидна тенденция к резкому росту калибров и скорострельности вооружения боевых модулей ЛБМ, то возникают проблемы обеспечения прочности и жесткости бронекорпусов при действии этих усилий. Уровень этих характеристик в силу тонкостенности бронекорпусов легкобронированных боевых машин может быть на уровне критических величин. Это напрямую влияет на тактико-технические характеристики (ТТХ) легкобронированных машин, в частности, на защищенность и точность стрельбы, особенно при осуществлении стрельбы очередями. Если рассматривать данную систему (боевой модуль – бронекорпус – подвеска) как сложную систему с распределенными массово-жесткостными характеристиками, то упрощенные модели этой системы не всегда могут описать весь спектр эффектов, которые возникают в реальной машине. Дело в том, что разные элементы этой системы имеют разный спектр собственных колебаний. Особенностью общего спектра бронекорпуса ЛБМ является то, что по сравнению с тяжелыми боевыми машинами, где есть резкое и значительное отличие между спектрами парциальных частот собственных колебаний машины на подвеске, с одной стороны, и частот упругих колебаний бронекорпуса –