

**Я. Н. БАРАНИКОВ**, КП Харьковское конструкторское бюро по машиностроению им. А.А.Морозова,  
**Н.А. ТКАЧУК**, докт. техн. наук, НТУ “ХПИ”,  
**А.В. ЛИТВИНЕНКО**, канд. техн. наук, Головной специализированный конструкторско-технологический институт, г. Мариуполь

## **ИНТЕГРИРОВАННЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ РАСЧЕТА ПРОЦЕССОВ ВЗРЫВА ПРИ ПОМОЩИ ПРЕ-ПОСТПРОЦЕССОРА ANSYS И РЕШАТЕЛЯ LS-DYNA**

У статті описаний створений програмний модуль, призначений для автоматизації розрахункового процесу в області аналізу вибухових явищ, розрахунку процесів детонації і дії суміші вибухової речовини, ґрунту і повітря на складений захист. Як робочі модулі застосовуються пре- і постпроцесор ANSYS і вирішувач LS-DYNA. Хоча усередині себе створений модуль оперує складним лагранжево-ейлеровим описом структури, створенням алгоритмів перемішування матеріалів і методом адвекції, він є простим в практичному застосуванні і орієнтований на широке коло наукових і інженерних працівників.

The created program module, intended for automation of calculation process in area of analysis of the explosive phenomena, calculation of processes of detonation and influence of mixture of explosive, soil and air on complicated defence, is described in the article. As workings modules ANSYS pre- and post-processor and LS-DYNA-solver are used. Although into itself the created module operates difficult Lagrange-Euler description of structure, creation of algorithms of interfusion of materials and method of advection, it is simple in practical application and oriented to wide circle of scientific and engineering workers.

**Введение.** В настоящее время не представляется возможным провести полноценный параметризованный расчет процессов детонации и взаимодействия взрыва с объектами в среде стандартной поставки известных конечно-элементных пакетов типа ANSYS, NASTRAN, хотя входящий в состав ANSYS решатель LS-DYNA полноценно решает такие задачи. Интеграция решателя LS-DYNA в пакет ANSYS происходит крайне медленно и с уклоном в структурную часть расчетов, и большая часть возможностей решателя LS-DYNA остается нереализованной в интерфейсе ANSYS. Входящий в состав ANSYS\LS-DYNA решатель LS-DYNA позволяет полноценно решать как традиционные расчеты механики сплошной среды, так и связанные задачи механики и термогазодинамики, особенно хорошо – быстропротекающие ударные процессы с разрушениями. Огромные возможности этого решателя отражены в интерфейсе ANSYS лишь скудным набором околоструктурных возможностей. Однако само сочетание препостпроцессора ANSYS и решателя LS-DYNA оказалось очень удобным и полезным. Не секрет, что сам пакет LS-DYNA не имеет удобного интерфейса построения конечно-элементной модели и уж тем более не поддерживает никакого языка параметризации типа ANSYS-APDL. В связи с этим

представляется перспективным создание внешних программ, формирующих всю необходимую информацию в параметрическом виде и использующих LS-DYNA как решатель и ANSYS в качестве постпроцессора. В данной работе приведен пример программы, которая по минимальному количеству исходных данных, известных любому инженерному работнику, производит сложный расчет процесса взаимодействия наиболее известных взрывчатых веществ с различным набором преград, обрабатывает полученные результаты и формирует отчет.

**Методика расчетов.** На основе большого объема открытых работ в области расчетов взрывных процессов и обобщенного параметрического подхода [1-20], был создан программно-аппаратный комплекс, с помощью которого успешно моделируется взрыв любой стандартной взрывчатки (рис. 1). Созданная программа является автономной, ориентированной на рядового инженера, не владеющего навыками ANSYS и уж тем более LS-DYNA. Это модуль, который запускается автономно. В него необходимо лишь ввести исходные данные о проектируемой защите и выбрать тип взрывчатки. Все остальное модуль выполняет самостоятельно, без вмешательства инженера.

Программный комплекс создан и протестирован на основе открытых данных Internet библиотеки <http://stinet.dtic.mil/>.

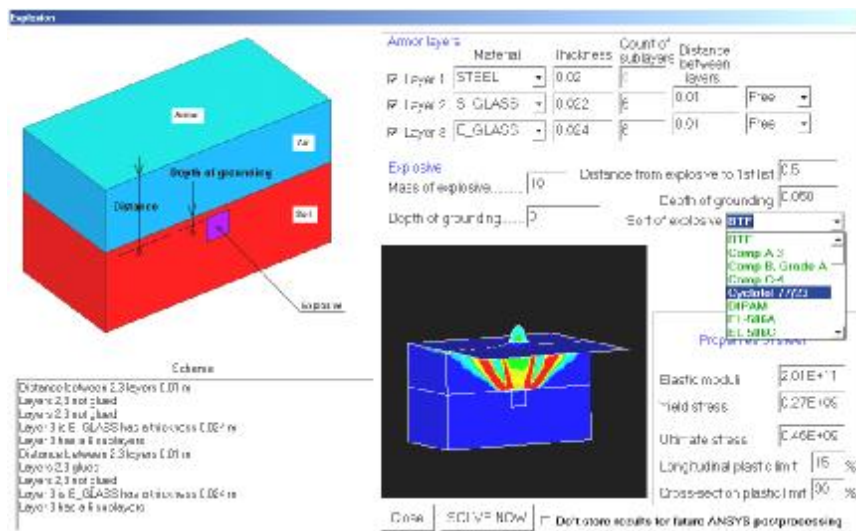


Рис. 1. Интерфейс задания исходных данных программы

В процессе расчета модуль выполняет следующие действия:

- Вызывает ANSYS для подготовки модели.
- Формирует непредусмотренные в ANSYS модели взрывчатки и

методы решения.

- Формирует файл исходных данных \*.k (в формате, воспринимаемом LS-DYNA).

- Передает модель на решение в LS-DYNA.
- Вызывает ANSYS для обработки результатов.
- Формирует стандартные файлы Microsoft Office.
- Выводит на экран отчет в формате Microsoft Word с иллюстрациями напряжений, деформаций и скоростей, реакциями на защите.
- Сохраняет в отдельный каталог отчет и анимированные картины реакции системы на взрывное воздействие.

Работа модуля полностью автоматизирована и не требует вмешательства в процессе расчета. При работе решателя LS-DYNA на экране монитора (рис. 1-3) демонстрируется текущее время процесса, прогресс решения, шаг по времени и реакции на защите. Программа показала полное соответствие расчетных и экспериментальных данных.

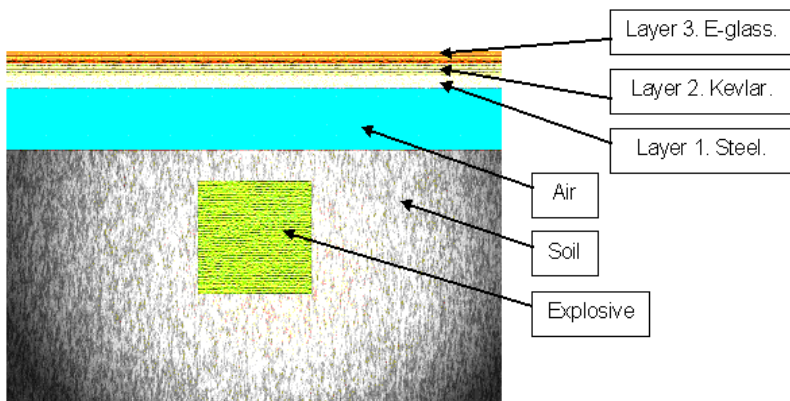


Рис. 2. Схема расположения взрывчатки по отношению к защите. Сечение

Программа работает автономно, но может быть легко встроена в меню ANSYS. Она имеет следующий выбор вариантов расчетов:

**Возможности комплексного моделирования:**

1. Рассчитать удар от 35 типов взрывчаток: BTF, Comp A-3, Comp B (Grade A), Comp C-4, Cyclotol 77/23, DIPAM, EL-506A, EL-506C, Explosive D, FEFO, H-6, HMX, HNS  $\rho=1000$ , HNS  $\rho=1400$ , HNS  $\rho=1650$ , LX-01, LX-04-1, LX-07, LX-09-1, LX-10-1, LX-11, LX-14-0, LX-17-0, NM, Octol-78/22, PBX-9010, PBX-9011, PBX-9404-3, PBX-9407, PBX-9501, PBX-9502, Pentolite50/50, PETN, TETRYL, TNT.

2. Варьировать количество слоев защиты.

3. Варьировать материал каждого слоя, например Сталь, Кевлар, E-glass, S-glass, металлические пены и др.

4. Варьировать количество слоев в перекрестно армированном композите.

5. Допускать возможность склейки слоев защиты.

6. Варьировать величину заглибления взрывчатки в землю.

7. Варьировать расстояние от первого листа защиты до взрывчатки.

8. Варьировать массу взрывчатки.

9. Варьировать свойства стали, т.е. можно имитировать любой изотропный материал с нелинейными свойствами.

10. Возможность обмена данными с известными пакетами, такими как ANSYS, NASTRAN.

11. Генерировать готовый к печати отчет о результатах в формате Microsoft Word и анимационных файлов изменения распределения скоростей, напряжений и деформаций. Запись отчета производится в автоматически пронумерованный каталог.

**Комплекс расчетов основан** на неявном лагранж-эйлеровом методе расчета и математических моделях (“1-point ALE multi-material element”) для воздуха, земли и взрывчатки, и “Fully integrated shell element” для защиты. Применяется алгоритм перемешивания субстанций \*INITIAL\_VOLUME\_FRACTION и \*ALE\_MULTI-MATERIAL\_GROUP\_SET. Решение ведется методом Arbitrary Lagrangian Eulerian, методом “адвекции” Van Leer+HIS с применением Equilibrium smooching. Между слоями защиты формируются контакты (см. рис. 2, 3).

Математический аппарат реализован на базе лицензионного комплекса LS-DYNA, теоретической поддержки пользователей LS-DYNA [1-20] и мощной кластерной вычислительной системы.

**Пример расчета.** На рис.4-7 приведены примеры расчета подрыва мины весом 10 кг С-4 под композитной броней, состоящей из пеноалюминия, облицованного стекловолокном типа S-glass.

Возможные пути развития программы:

- Добавление действия осколков на защиту.
- Задание произвольного закона действия давления от взрывчатки

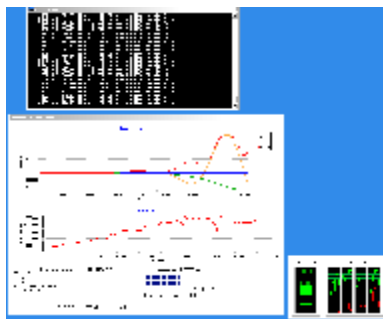


Рис. 3. Процесс мониторинга решения задачи

(собственные свойства материала).

- Расширение количества слоев защиты.
- Добавка произвольной геометрии листов защиты и стандартных элементов армирования (уголки, швеллеры, ребра).

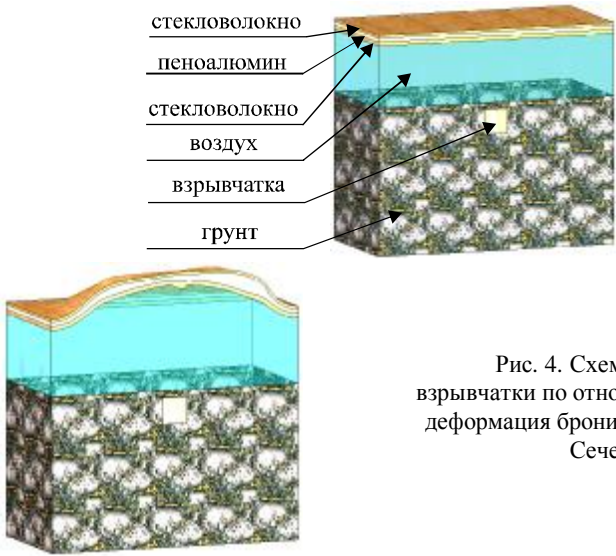


Рис. 4. Схема расположения взрывчатки по отношению к защите и деформация брони во время взрыва. Сечение

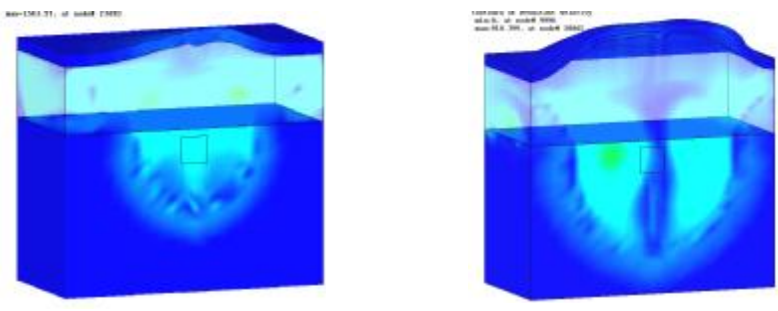


Рис. 5. Распределение скорости продуктов детонации, грунта и деформация композитной и пенометаллической брони

**Заключение.** Таким образом, комплекс может рассчитывать сложный процесс взрыва без громоздких ручных операций по изменению промежуточных файлов и заданию моделей. Следует отметить, что тандем ANSYS-LS-DYNA по-прежнему не использует всех возможностей ANSYS как мощнейшего средства пре-постпроцессора и LS-DYNA как обширнейшего

решателя всех известных инженерных проблем, что открывает возможности для параметризации различных типовых инженерных расчетов с использованием внешних оригинальных программ и моделей.

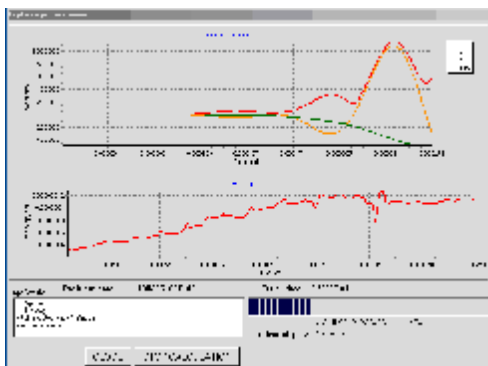


Рис. 6. Реакции, напряжения и деформации на листах бронезащиты во время взрыва

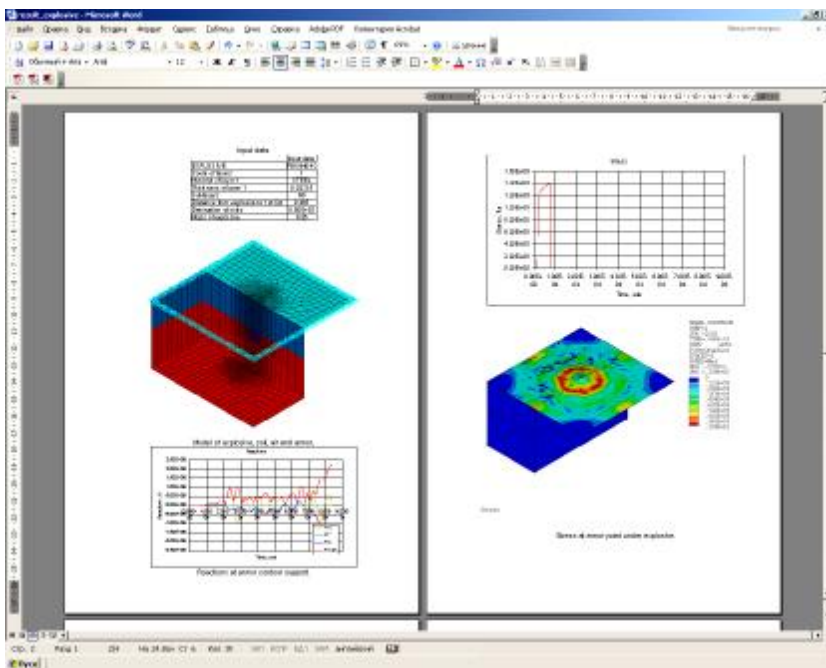


Рис. 7. Вид части отчета о результатах расчетов (генерируется автоматически)

**Список литературы. 1.** Композиционные материалы. Справочник. // Васильев В.В., Протасов В.Д., Болотин В.В. – М.: Машиностроение, 1990. – 512 с. **2.** *McIntosh G.* The Johnson-Holmquist Ceramic Model as used in LS-DYNA2D. Scientific and Technical Information Network. **3.** *Kevin Williams.* Combining head models with composite models to simulate ballistic impacts. Waterloo, Canada. University of Waterloo. **4.** Finite Element Analysis of Barriers. U.S. Coast Guard Research and Development Center. **5.** *Ir. W. Trouwborst.* Shock transmission analyses of a simplified frigate compartment using LS-DYNA. **6.** Improved Barriers to Turbine Engine Fragments. Interim Report III. Office of Aviation Research, Washington, DC 20591. **7.** *Боровков А.И.* Возможности системы конечно-элементного моделирования ANSYS/LS-DYNA. (Dynamical contact interaction). Первая международная конференция пользователей программного обеспечения ANSYS. 22-23 октября 2003 г. EMT-ANSYS-центр, Москва. **8.** *L.L.Clements, R.L.Moore.* Composite properties for E-glass in a room temperature curable epoxy matrix. Lawrence Livermore laboratory. – 1977. **9.** *L.L.Clements, R.L.Moore.* Composite properties for S-2-glass in a room temperature curable epoxy matrix. Lawrence Livermore laboratory. – 1978. **10.** *L.L.Clements* Problem testing aramid/epoxy composites. Lawrence Livermore laboratory. – 1977. **11.** *C.O.Pruneda, W.J.Steele, R.P.Kershaw, R.J. Morgan.* Stucture-property relations of Kevlar 49 fibers. Lawrence Livermore laboratory. **12.** *Стенанов Г.В., Зубов В.И., Александров Е.Е.* Анализ процесса ударного индентирования по результатам компьютерного моделирования. //Механика та машинобудування. –2003/1. – Том 2. – С.45-52. **13.** *Веретельник Ю.В., Миргородский Ю.Я., Пелешко Е.В., Ткачук Н.А.* Параметрические модели элементов сложных систем как основа построения специализированных расчетных систем //Механика та машинобудування. – 2003/1. – том 2. – С.3-8. **14.** *Ченков И.Б.* Методика регистрации ударно-волнового нагружения боевого элемента противотанкового средства при воздействии на него кумулятивной плоскости удлиненного кумулятивного заряда // Механика та машинобудування. – 2005. – №1. – С.100-104. **15.** *Гриценко Г.Д., Ткачук Н.А.* Постановка и общая схема решения задачи выбора рациональных параметров конструкции корпуса колесной машины по критериям прочности и жесткости //Машинобудування: Вісник Харківського державного політехнічного університету. Збірка наукових праць. Випуск 101. – Харків: ХДПУ. – 2000. – С.86-91. **16.** *Гриценко Г.Д.* Интегрированная схема создания параметрических конечно-элементных моделей корпуса БТР для исследования его собственных колебаний //Машинобудування: Вісник Харківського державного політехнічного університету. Збірка наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2001. –№7. – С.56-59. **17.** *Ткачук Н.А., Пономарев Е.П., Медведева А.В., Миргородский Ю.Я., Малакей А.Н., Гриценко Г.Д.* Определение рациональных параметров элементов механических систем // Механика та машинобудування. – 2001.– №1,2. – С.308-314. **18.** *Васильев А.Ю., Пелешко Е.В.* Построение параметрических моделей корпусов многоцелевых транспортеров для расчета их прочностных и жесткостных характеристик – Вісник НТУ “ХПІ”. Збірник наукових праць. Тематичний випуск “Колісні та гусеничні машини спеціального призначення”. – Харків: НТУ “ХПІ”. – 2003. – №27 – С. 102-112. **19.** *Васильев А.Ю., Малакей А.Н., Пелешко Е.В., Шаталов О.Е.* К вопросу интегрированных систем анализа динамических процессов в корпусах транспортных средств специального назначения // Механика та машинобудування. – 2004.– №1. С.46-55. **20.** *Гриценко Г.Д., Малакей А.Н., Миргородский Ю.Я., Ткачук А.В., Ткачук Н.А.* Интегрированные методы исследования прочностных, жесткостных и динамических характеристик элементов сложных механических систем // Механика та машинобудування. – 2002.– №1. – С. 6-13.

*Поступила в редколлегию 08.02.2006*

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

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

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

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

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

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

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