

**ИЗЫСКАНИЕ, ПРОЕКТИРОВАНИЕ,  
СТРОИТЕЛЬСТВО И МОНТАЖ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ  
ОБЪЕКТОВ АТОМНОЙ ОТРАСЛИ**

УДК 539.42

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО  
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОРПУСА АВИАБЛОКА С АКТИВНЫМИ  
СРЕДСТВАМИ ЗАЩИТЫ ЦЕЛИ**

© 2015 г. И.А. Приб, Ю.С. Зуев

*Снежинский физико-технический институт – филиал  
Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Снежинск, Челябинская обл.*

Приведены результаты численного моделирования в программной среде LS-Dyna взаимодействия с различными скоростями и углами встречи корпуса управляемого авиаблока с активными средствами противовоздушной обороны, такими, как осколки зенитных управляемых ракет.

*Ключевые слова:* высокоскоростное взаимодействие, поражающий элемент, численное моделирование.

Поступила в редакцию 25.02.2015 г.

Управляемые авиационные блоки (УАБ) являются одним из наиболее эффективных видов авиационного оружия, предназначенного для нанесения ударов по наземным (надводным) целям. Результаты боевого применения УАБ в войнах и локальных конфликтах дают основание зарубежным специалистам отнести их к высокоточным авиационным боеприпасам. В настоящее время разработка УАБ ведется в США, Израиле, Франции, Великобритании, Чили, Аргентине и ЮАР, они находятся на вооружении армий практически всех стран НАТО, а также Австралии, Японии, Бразилии, Саудовской Аравии и ряда других. В управляемых авиабомбах сочетаются высокие поражающая способность и точность наведения на цель [1].

Одним из активных средств противодействия применению УАБ являются зенитные управляемые ракеты малой дальности с осколочно-фугасной боевой частью. Такая ракета движется со скоростью в несколько километров в секунду. При сближении с целью происходит подрыв боевой части и направленный разлет осколков, которые при попадании повреждают корпус и внутренние, жизненно-важные части бомбы.

В данной работе приведены результаты численного моделирования в программной среде LS-Dyna взаимодействия с различными скоростями и углами встречи корпуса управляемой авиабомбы с активными средствами противовоздушной обороны, такими, как осколки зенитных управляемых ракет.

### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В программном комплексе ANSYS была построена средняя часть стального цилиндрического корпуса авиабомбы диаметром 15 см. Толщина стенки корпуса была принята 5мм. Затем модель была разбита на конечные элементы. Из ANSYS модель корпуса была перенесена в LS-Dyna и преобразована в SPH-модель (Smoothed Particle Hydrodynamics). В качестве поражающего элемента средствами LS-Dyna был построен вольфрамовый кубический осколок массой 50 граммов. Общее количество узлов составило 198532.

Для расчетов была использована модель материала Джонсона-Кука с уравнением состояния в форме Ми-Грюнайзена. Модель материала требует определения таких параметров, как:

$\rho_0$  – начальная плотность;

$G$  – модуль сдвига;

$A$  – начальный предел текучести;

$B$  – модуль упрочнения;

$N, c, m$  – экспериментально определяемые постоянные;

$T_M$  – температура плавления;

$T_R$  – комнатная температура;

$\epsilon_0$  – скорость деформации, при которой были определены начальные параметры;

$CP$  – теплоемкость;

$PC$  – откольная прочность.

$A$  для уравнения состояния:

$C$  – свободный член в уравнении ударной адиабаты;

$S_1$  – угол наклона ударной адиабаты в  $D-U$  координатах, где  $D$  – скорость ударной волны,  $U$  – массовая скорость;

$\gamma_0$  – коэффициент Грюнайзена.

Осколок налетал на корпус со скоростями 300, 2000 и 3000 м/с в плоскости продольной оси корпуса под углом  $45^\circ$  к ней (оси), сам осколок был ориентирован произвольно.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

При скорости осколка 300 м/с пробития корпуса не происходит. При скоростях 2000 м/с и 3000 м/с корпус пробивается, и внутри цилиндра распространяется поле вторичных осколков вместе с деформированным поражающим элементом. Причем при скорости соударения 3000 м/с поле вторичных осколков достигает противоположной стороны корпуса со скоростью, достаточной для его разрушения.

На рисунке 1 приведена расчетная модель в начальный момент времени. На рисунке 2 и 3 в разрезе по продольной оси приведены результаты моделирования со скоростями осколка 2000 м/с и 3000 м/с соответственно.



Рис. 1. – Расчетная модель



Рис. 2. – Результат соударения осколка с корпусом со скоростью 2000 м/с



Рис. 3. – Результат соударения осколка с корпусом со скоростью 3000 м/с

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты работы показали принципиальную возможность построения такой схемы расчета. Приближенные аналитические оценки возникающих давлений и массовых скоростей показали удовлетворительное сходство с давлениями и скоростями, полученными при численном моделировании в LS-Dyna. Расчетная модель вполне может быть усложнена: возможно построение внутренних функциональных узлов авиабомбы, увеличение количества налетающих осколков и так далее.

Данная работа может быть использована как методология при проведении подобного моделирования и схожих исследований взаимодействия реально существующих конструкций с достоверно известными размерами комплектующих узлов и параметрами используемых материалов деталей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ефимов, Е.* Управляемые авиационные бомбы зарубежных стран [Текст] / Е. Ефимов // Зарубежное военное обозрение. – 1995. – №4.
2. *Johnson G.R., Cook W.H.* A constitutive model and data for metal subjected to large strains high strain rate and high temperatures // Proc. Of 7<sup>th</sup> Symposium of Ballistics. – 1983. – pp. 541–547.
3. *Николаевский, В.Н.* Высокоскоростные ударные явления [Текст] / В.Н. Николаевский. – М.: Мир, 1973. – 536 с.
4. *Орленко, Л.П.* Поведение материалов при интенсивных динамических нагрузках [Текст] / Л.П. Орленко. – М.: Машиностроение, 1964. – 168 с.
5. *Райхарт, Дж.С.* Поведение металлов при импульсных нагрузках [Текст] / Дж.С. Райхарт. – М.: Изд-во Иностранной литературы, 1958. – 296 с.
6. *Канель, Г.И.* Ударно-волновые явления в конденсированных средах [Текст] / Г.И. Канель. – М.: Янус-К, 1996. – 408 с.
7. *Зукас, Дж.А.* и др. Динамика удара. [Текст] / Дж.А. Зукас, Х.Ф. Свифт, Л.Б. Грещук, Д.В. Курран. – М.: "Мир", 1985. – 296 с.
8. *Кузькин, В.А. и др.* Применение численного моделирования для идентификации параметров модели Джонсона-Кука при высокоскоростном деформировании алюминия [Текст] / В.А. Кузькин, Д.С. Михалюк // Вычислительная механика сплошных сред. – 2010. – Том 3. – №1. – С. 32–43.
9. *Орленко, Л.П.* Физика взрыва [Текст] / Л.П. Орленко. – М.: Физматлит, 2002. – Том 1. – 832 с.
10. *Зельдович, Я.Б.* Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений [Текст] / Я.Б. Зельдович. – М., 1963. – 632 с.

### REFERENCES

- [1] Efimov Ye. Upravlyaemye aviatsionnye bomby zarubezhnykh stran.[Steered aviation bombs of foreign countries].[ Foreign military review], 1995, Vol. 4, ISSN 0134-921X (in Russian)

- [2] Johnson G.R., Cook W.H. A constitutive model and data for metal subjected to large strains high strain rate and high temperatures // Proc. Of 7<sup>th</sup> Symposium of Ballistics. – 1983. – pp. 541–547. (in Russian)
- [3] Nikolayevsky V.N. Vysokoskorostnye udarnye yavleniya.[High-speed shock phenomena]. M. Pub. “Mir” [World], 1973, 536 p. (in Russian)
- [4] Orlenko L.P. Povedeniye materialov pri intensivnykh dinamicheskikh nagruzkakh [Materials conduct at intensive dynamic loadings]. M. Pub. “Mashinostroyeniye” [Mechanical Engineering], 1964, ISBN 100-0-00005-833-3, 168 p. (in Russian)
- [5] Raykhart Dzh.S. Povedeniye metallov pri impulsnykh nagruzkakh [Metals conduct at pulse loadings]. M. Pub. Inostrannaya literatura [Foreign literature], 1958, 296 p. (in Russian)
- [6] Kanel G.I. Udarno-volnovye yavleniya v kondensirovannykh sredakh [The shock and wave phenomena in the condensed environments], M. Pub. “Yanus-K” [Janus-K], 1996, ISBN 5-88929-024-X, 408 p. (in Russian)
- [7] Zukas Dzh.A., Swift KH.F., Greshhuk L.B., Kurran D.V. Dinamika udara [Dynamics of blow], M. “Mir” [World], 1985, p. 296.
- [8] Kuzkin V.A. Primeneniye chislennogo modelirovaniya dlya identifikatsii parametrov modeli Dzhonsona-Kuka pri vysokoskorostnom deformirovanii alyuminiya [Application of numerical simulation for identification of Johnson-Cook model parameters at high-speed deformation of aluminum] [Computing mechanics of continuous environments], 2010, Vol. 3, №1, ISSN 1999-6691, p. 32–43. (in Russian)
- [9] Orlenko L.P. Fizika vzryva [Physics of explosion], M. Pub. “Fizmatlit” [Physical and mathematical literature], 2002, Vol. 1, ISBN 5-9221-0219-2, 832 p. (in Russian)
- [10] Zeldovich Ya.B. Fizika udarnykh voln i vysokotemperaturnykh gidrodinamicheskikh yavleniy [Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamic phenomena], M., 1963, 632 p. (in Russian)

## **Numerical Simulation of High-Speed Interaction of Aerial Bomb with Active Tools Target’s Defense**

**I.A. Prib, Y.S. Zuev**

*Snezhinsk Physisc-Technical Institute the Branch of National Nuclear Research University MEPHI  
8 Komsomolsk st., Snezhinsk city, Cheliabinsk reg. 456776  
e-mail: YSZuev@mephi.ru*

**Abstract** – The results of numerical simulation software environment LS-Dyna interaction with different speeds and angles of the meeting body controlled bombs with active air defense, such as fragments of anti-aircraft guided missiles.

*Keywords:* high-speed interaction, striking element, numerical simulation.