

КОМПЛЕКСЫ ПРОГРАММ

УДК 159.93

АЛГОРИТМ РЕАЛИЗАЦИИ РАСЧЕТОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОСМИЧЕСКОГО МУСОРА НА КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ

В.С. Асатурьян, Д.И. Григорьев, Э.Р. Юмагулов

В статье приводится описание аппаратно-программного комплекса "Риск-удар", предназначенного для комплексной оценки рисков, обусловленных воздействием частиц космического мусора и метеороидов на космические аппараты.

The article provides a description of the «Risk-udar» hardware-software complex intended for a comprehensive assessment of the risks caused by the effects of particles of space debris and meteoroids on spacecraft.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

Космические аппараты, космический мусор, пробой, вероятность, оценка рисков, вероятность непробоя.

ДЛЯ ЦИТАТЫ

В.С. Асатурьян, Д.И. Григорьев, Э.Р. Юмагулов. Алгоритм реализации расчетов воздействия космического мусора на космические аппараты // Моделирование и анализ данных. 2019. №2. С.109-114.

V.S. Asaturjan, D.I. Grigorev, E.R. Jumagulov. Algorithm for calculating the effects of space debris on spacecraft. Modelirovaniye i analiz dannykh=Modelling and data analysis (Russia). 2019, no.2, pp.109-114.

1. ВВЕДЕНИЕ

Одним из результатов космической деятельности стало накопление в околоземном пространстве осколков отработавших ракет-носителей и космических аппаратов (космический мусор). Основным показателем стойкости конструкций является вероятность непробоя (ВНП) их оболочек в течение заданного времени нахождения на орбите. Этот показатель определяется статистикой распределения частиц в пространстве по размерам и скоростям, параметрами орбиты и ориентацией космических аппаратов (КА) по отношению к потокам частиц, характеристикой защищённости стенок конструкции - баллистической предельной зависимостью (БПЗ) - зависимостью минимального размера частицы, пробивающей защищаемую стенку конструкции, от скорости и от угла соударения. Комплекс вопросов, связанных с определением условий соударения частиц с КА, прочностью конструкции при высокоскоростном ударе, прогнозированием вероятности сохранения герметичности и работоспособности аппарата, в течение ряда лет был предметом исследований; часть из них, непосредственно свя-

званная с предметом данной статьи, изложена в работах [6-13]. На их основе созданы методики расчета, охватывающие все стороны проблемы. Их программная реализация аппаратно-программный комплекс (АПК) «Риск-удар». Ниже излагаются структура комплекса, используемые программные инструменты и возможности для практического применения.

2. КЛАССЫ РЕШАЕМЫХ ЗАДАЧ

Программный комплекс «Риск-Удар» предназначен для инженерных расчётов вероятностных характеристик взаимодействия КА с метеороидной и техногенной средой космического мусора, в том числе для разработки экранной защиты КА. Программа позволяет решать следующие задачи: математическое моделирование 3D-объекта сложной формы (КА), формирование раstra изображения 3D-объекта с заданного направления и реализация трассировки траекторий частиц; расчёт потока частиц на отдельные элементы поверхности КА в соответствии выбранной моделью метеороидной или техногенной среды, расчет физических процессов воздействия высокоскоростных ударов осколков космического мусора и определение баллистических предельных зависимостей, расчёт вероятности пробоя и катастрофических последствий пробоя гермооболочки; организация надежного, простого и удобного интерфейса (способов взаимодействия пользователя и системы) подготовки и ввода исходных данных для расчёта.

3. НАЗНАЧЕНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА

Программа реализует алгоритмы комплекса расчётов, в результате которых определяются:

- геометрические параметры 3D-модели объекта (КА);
- плотность потока частиц в системе координат движущегося КА и распределение частиц по скорости соударения и по углам подхода к объекту в соответствии с существующими моделями среды космического мусора и естественных метеороидов;
- прочностные (противоударные) характеристики элементов конструкции объекта - баллистические предельные зависимости (БПЗ);
- вероятность непробоя КА в течение заданного времени пребывания на орбите.

Результаты работы программы размещаются в базе данных (БД), в текстовом файле в стандартной форме, а также в виде изображения рассчитываемого объекта на экране монитора, раскрашенного в соответствии с распределением риска пробоя единицы площади поверхности объекта.

4. ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Исходными являются данные, присущие любому типу конструкции и защищаемого КА и экранной защиты,

- скорость и угол столкновения,
- плотность материала ударяющейся частицы,
- механические параметры защищаемой конструкции (гермооболочки КА);
- механические параметры защитных экранов,
- расстояние между экраном и защищаемой стенкой для двустенной преграды;
- критерии критического повреждения защищаемой стенки (пробой, недопустимое кратерообразование, откол на задней стороне стенки) и т.д.

Результаты работы блока расчёта БПЗ размещаются в соответствующих таблицах БД, которые являются входными данными для блока расчёта вероятности непробоя.

5. СТРУКТУРА АПК

Структурно АПК состоит из двух самостоятельных программных блоков: блока расчёта ВПП и блока расчёта БПЗ.

Блок расчёта БПЗ, предназначенный для расчёта ударной стойкости конструкции КА с защитными экранами и подготовки исходных данных для блока расчёта вероятности не-пробоя, состоит из следующих основных программных модулей:

- Модуль *Dictionary* предназначен для хранения и управления всей справочной информацией по модулям КА, характеристикам защитных конструкций, свойствам материалов;
- Модуль *Calculation* реализует расчёт баллистических предельных зависимостей и предназначен для выполнения последовательности шагов:
 1. Расчет БПЗ в низкоскоростном диапазоне;
 2. Расчет пробивания частицей лицевого экрана в низкоскоростном диапазоне;
 3. Расчет пробивания частицей промежуточного экрана;
 4. Расчет ударного воздействия деформированной частицы на защищаемую стенку и определение баллистического предела;
 5. Расчет БПЗ в среднескоростном диапазоне.
 6. Расчет БПЗ в высокоскоростном диапазоне.
 7. Расчет пробивания частицей лицевого экрана;
 8. Расчет параметров «лидирующего (максимального) осколка» частицы;
 9. Расчет пробивания «лидирующим осколком» промежуточного экрана;
 10. Расчет ударного воздействия «лидирующего осколка» на защищаемую стенку и определение баллистического предела;
 11. Расчет параметров облака вторичных частиц (продуктов разрушения частицы и лицевого экрана);
 12. Расчет пробивания облаком промежуточного экрана;
 13. Расчет воздействия облака на защищаемую стенку и определение баллистического предела;
- Модуль *Test* предназначен для подготовки новых типов защитной конструкции и их тестирования. Модуль оснащён 3D конструктором и обладает следующим функционалом:
 1. возможность создание новой защитной конструкции из заранее подготовленных шаблонов экранов;
 2. возможность создания новой защитной конструкции из уже существующих защитных конструкций, создание *по - образцу*;
 3. присваивание характеристик элементам конструкций и сохранение их в специальной библиотеке, с возможностью дальнейшего переноса в БД.
- Модуль *Master* предназначен для подготовки новых проектов, которыми могут быть новые космические аппараты, новые защитные конструкции и новые алгоритмы расчёта. Модуль представляет собой пошаговую инструкцию для пользователя, где за 8 шагов пользователь размещает подготовленную заранее защитную конструкцию в БД защитных конструкций для последующего расчёта БПЗ.
- Модуль *Report* предназначен для подготовки отчётов по результатам расчётов БПЗ и конвертирования их в различные популярные форматы. Помимо встроенных шаблонов печати, пользователь имеет возможность создания свои собственных отчётов.
- Модуль *Experiment* служит для хранения результатов экспериментов и документов;
- Подсистема хранения информации. Реализована на двух файлах базы данных, связанных друг с другом с помощью встроенного в базу данных механизма «связан-

ных таблиц». Не имеет собственного интерфейса в программе. Подсистема может быть размещена на любой СУБД, где есть соответствующие ODBC- драйверы.

Блок расчёта ВНП состоит из следующих основных программных модулей:

- модуль декомпозиции трехмерного объекта сложной формы. Предназначен для преобразования поверхности сложной формы в набор фрагментов поверхностей, описываемых 3D-примитивами.;
- модуль реализации трассировки лучей (траекторий частиц) решает две основных задачи:
 1. Определение координат встречи трассирующего «луча» (траектории частицы) с поверхностью заданной формы. При этом, если поверхность является невыпуклой, многосвязной и т.п. последовательно определяются координаты пересечения луча с фрагментами поверхности на всем пути «луча», и далее из всего полученного массива координат всех возможных точек встречи выбирается ближайшая к центру проецирования. Таким образом, автоматически решается задача возможного затенения фрагментов поверхностей;
 2. Определение параметров взаимодействия «луча» с поверхностью КА в идентифицированной точке встречи (условий соударения).
- Модуль расчета вероятностных характеристик взаимодействия частиц среды с трехмерным объектом. Модуль решает следующие задачи:
 1. расчёт вероятности пробоя гермооболочки КА при заданных параметрах экранной защиты отдельных элементов конструкции КА;
 2. оценку вероятности катастрофических последствий пробоя гермооболочки пилотируемой космической станции частицей.

Модули программного комплекса, были собраны в одно приложение. Приложение представляет собой Windows форму (рис.1) на которой расположены элементы пользовательского интерфейса, вызывающие отдельные модули и помещающие их в элементе Panel главного окна приложения. Вызов и расположение окон модулей в окне основной формы выполняется с использованием WinAPI.

Отдельного следует сказать об особенностях работы с окнами, содержащими MenuStrip элементы. Реализация microsoft технологии помещения дочерних окон модулей в материнское окно с панелью «Panel» (MDI) не позволяет обращаться к элементам MenuStrip дочернего окна. Для решения этой проблемы использовался принцип построения окон в операционной системе windows, заключающийся в том, что все элементы окна сами являются окнами. Для получения указателя (handle) MenuStrip окна модуля написан класс, реализующий построение рекурсивного дерева всех запущенных процессов системы. На главной форме была создана отдельная панель, которой присваивалось значение найденного указателя.

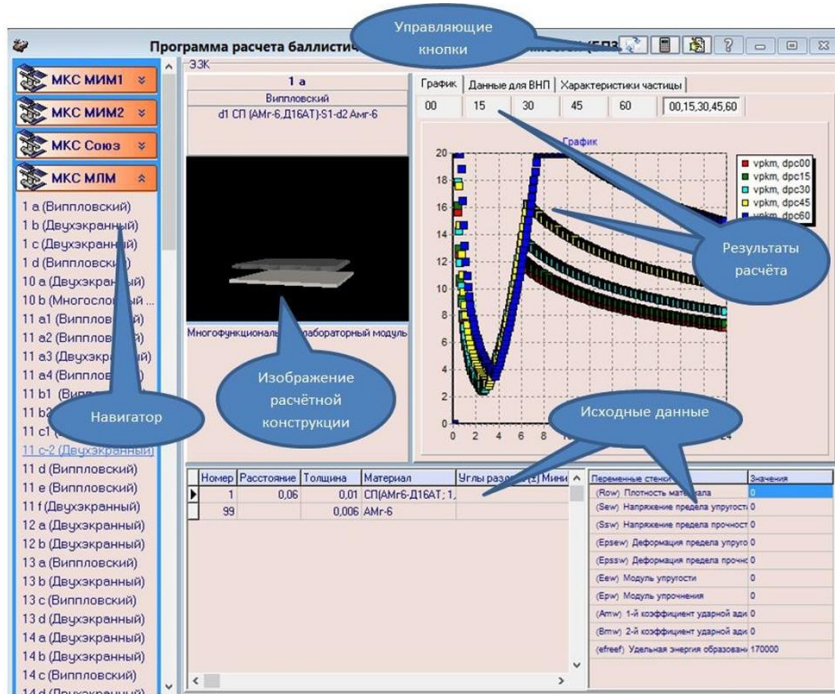


Рис. 1 Интерфейс программной оболочки

6. ВЫБОР ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АПК

Программа имеет файл-серверную архитектуру, где в качестве базы данных используется СУБД Microsoft Access 2003 состоящих из двух «*.db» файлов. Блок расчета ВВП написан на языке программирования C# в среде разработки Microsoft Visual Studio 2008. Блок расчета БПЗ написан на языке программирования Delphi в среде разработки Delphi 7.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Впервые разработано отечественное программно-математическое обеспечение для комплексной оценки рисков, обусловленных воздействием техногенного космического мусора на КА. Данное программно-математическое обеспечение может быть использовано для оценки надежности функционирования КА, а также при создании перспективных космических орбитальных комплексов.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 25645.128-85 Вещество метеорное. Модель пространственного распределения, 1985 г.
2. ГОСТ РВ 25645.164-97 Условия воздействия метеорно-техногенных тел на конструкцию космического аппарата, 1997 г.
3. ГОСТ 134-1031-2003 «Общие требования по защите космических средств от механического воздействия частиц естественного и техногенного происхождения», 2003 г.
4. ГОСТ Р 25645.167-2005 Космическая среда (естественная и искусственная). Модель пространственно-временного распределения плотности потоков техногенного вещества в космическом пространстве, 2005 г.
5. ГОСТ Р 52925-2008 Изделия космической техники. Общие требования к космическим средствам по ограничению техногенного засорения околоземного космического пространства, 2008 г.
6. Буслов Е.П. Аппроксимация диаметров отверстий, пробиваемых высокоскоростными сферическими частицами в тонких мишенях. Тезисы докладов научных чтений, посвященных 90-летию со дня рождения Юрия Александровича Можжорина - г. Королев. М.о. ЦНИИмаш, 2010, с. 118-120.
7. Балакирев Ю.Г., Бужинский В.А., Буслов Е.П., Буяков И.А., Быков Д.Л. и другие. Методологические основы научных исследований при обосновании направлений космической деятельности, облика перспективных космических комплексов и систем их научно-технического сопровождения. Т. 5 Методология отработки прочности и динамики ракет-носителей и космических аппаратов. М.: "Изд.-торг. корпорация "Дашков и К", 2016. 376с.
8. Буслов Е.П. Старцев В.Г. Судомоев А.Д. Забиров И.Х. Прочность конструкций при ударных воздействиях. Космонавтика и ракетостроение, № 13, ЦНИИмаш. 1998.
9. Забиров И.Х. Старцев В.Г. Судомоев А.Д. Исследования ударной прочности ракетных конструкций. научно-техн. журн.: "Космонавтика и ракетостроение", вып. 4, ЦНИИмаш, 1995.
10. Абашкин Б.И. Буслов Е.П. Семенов В.И. Судомоев А.Д. Устинов В.В. Защита космических аппаратов от метеороидов и осколков космического мусора. Результаты и перспективы. Тезисы докладов XXXIII Всероссийской конф. по проблемам науки и технологий. Миасс. 2013 г.
11. Воробьев Ю.А. Магжанов Р.М. Семенов В.И. Устинов В.В., Чернявский А.Г. Влияние высокоскоростных ударов метеороидов и частиц космического мусора на прочность и ресурс иллюминаторов модулей МКС. "Космическая техника и технология". Изд. РКК "Энергия" №8, 2014
12. Буслов Е.П. Лоцманов А.В. Онучин Е.С. Баллистический предел стенки гермоотсека космического аппарата с защитным экраном в высокоскоростном диапазоне соударения с частицей. "Космонавтика и ракетостроение" вып.3 (96), ЦНИИмаш, 2017. С 74-80.
13. Буслов Е.П. Голденко Н.А. Защита перспективных трансформируемых модулей орбитальных станций от ударов метеороидов и частиц космического мусора. "Механика и математическое моделирование в технике". Всероссийская научно-техн. конф., посв. 100-летию В.И. Феодосьева. МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2016

Работа поступила 20.02.2019г.