

МИНОБРНАУКИ РФ  
Российский фонд фундаментальных исследований  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
НИИ прикладной математики и механики Томского государственного университета  
Физико-технический факультет  
Механико-математический факультет  
Совет молодых учёных ТГУ

**Международная молодежная научная конференция**  
**«Актуальные проблемы современной механики**  
**сплошных сред и небесной механики»**  
17–19 ноября 2014 г., Томск

**International Youth Scientific Conference**  
**«Current issues of**  
**continuum mechanics and celestial mechanics – 2014»,**  
17–19 November, 2014



Томск-2014

столкновения, численное значение вероятности этого столкновения существенным образом зависит от размеров доверительной области. Размеры области в свою очередь определяются длиной мерного интервала и количеством наблюдений. Планируемая стопроцентная вероятность столкновения достигается только в случае, когда наблюдения покрывают дугу не менее одного оборота астероида. Можно отметить также, что использование различных выборок случайных чисел при построении доверительной области приводит к некоторому разбросу в оценке вероятности столкновения. Этот разброс тем меньше, чем больше точек содержит доверительная область. Получаемая вероятность так же существенным образом зависит от конфигурации области. При задании доверительной области ее граничной поверхностью, оценки вероятности столкновения оказываются несколько заниженными. Таким образом, в виду большого разброса расчетных оценок вероятности, для нас важен лишь сам факт отличия этих оценок от нулевого значения.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований в рамках научного проекта № 12-02-00220-а.

#### *Литература*

1. Баранников Е.А., Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. Методы определения граничных точек доверительных областей в задаче исследования движения астероидов // Изв. вузов. Физика. Приложение: Небесная механика и прикладная астрономия. 2013. №10/2. С. 119–125.
2. Сюсина О.М., Черницов А.М., Тамаров В.А. Построение доверительных областей в задаче вероятностного исследования движения малых тел солнечной системы // Астрономический вестник. 2012. №3. С. 210–216.
3. Черницов А.М., Тамаров В.А., Сюсина О.М. Об оценивании вероятности столкновения астероидов с планетами.// Изв. вузов. Физика. Приложение. Небесная механика и прикладная астрономия. 2013. №10/2. С. 126–131.

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИБАЛЛИСТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГПВРД ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ НА БОЛЬШИХ ВЫСОТАХ С УЧЕТОМ НАБЕГАЮЩЕГО ПОТОКА ВОЗДУХА SIMULATION OF SCRAMJET INTERNAL BALLISTICS AT HIGH ALTITUDES TAKING INTO ACCOUNT ONCOMING AIRFLOW**

**И.М. Васенин, А.Ю. Крайнов, Д.А Крайнов**

**I.M.Vasenin, A.Yu.Krainov, D.A.Krainov**

Национальный исследовательский Томский государственный университет

National Research Tomsk State University

akrainov@ftf.tsu.ru

Для движения в высоких слоях атмосферы с большими скоростями, при числах Маха набегающего потока 6–10 наиболее оптимальным является

использование гиперзвуковых прямоточных воздушно-реактивных двигателей (ГПВРД) [1]. Однако их разработка сталкивается с большими техническими трудностями, связанными с большими тепловыми и динамическими нагрузками на корпус ГПВРД, неустойчивыми режимами работы двигателя, сложностями в организации подачи топлива для достижения высокой полноты сгорания в сверхзвуковом потоке воздуха. Тяга ГПВРД создается сгоранием топлива в сверхзвуковом потоке в его камере сгорания. После взаимодействия сверхзвукового набегающего потока с выступающей вперед носовой частью ГПВРД в потоке воздуха возникает косой скачок уплотнения. В канале ГПВРД формируется серия косых скачков уплотнения. В зоне горения температура и давление повышаются, поток расширяется через сопло, создавая тягу.

Для моделирования газодинамических процессов в канале модельного ГПВРД и набегающем потоке используются уравнения газовой динамики. Предполагается, что в объем канала  $V$  подается заданное количество газообразного горючего. Массовая скорость подачи горючего однородна по этому объему. Предполагается, что перемешивание горючего с воздухом и его сгорание происходит за время много меньшее, чем время протекания потока воздуха в канале ГПВРД. Система уравнений решалась численно методом С.К. Годунова на сетке, преобразованной к форме контура ГПВРД. Численное решение системы уравнений проводилось до установления стационарного течения в тракте ГПВРД и окружающем пространстве.

При горении топлива поток воздуха и продуктов сгорания имеет повышенную температуру и давление на выходе в расширяющейся части канала ГПВРД, что обеспечивает положительную результирующую силу, под действием которой ГПВРД будет ускоряться. Было получено, что с увеличением скорости набегающего потока (скорости движения ГПВРД) величина проекции полной аэродинамической силы на ось движения уменьшается. При заданном расходе ГПВРД ускорится и будет двигаться равномерно при скорости  $\sim 3200$  м/с.

На основе разработанной физико-математической модели газодинамических процессов при движении ГПВРД в атмосфере проведены расчеты газодинамических параметров течения для области, включающей в себя набегающий сверхзвуковой поток, область внутри канала ГПВРД и вне его при движении со скоростями, соответствующими числам Маха набегающего потока 6.7–10. Получены зависимости проекции полной аэродинамической силы на направление движения ГПВРД от скорости его движения и массовой скорости подачи топлива. Показано, что с увеличением расхода горючего проекция полной аэродинамической силы на направление движения ГПВРД растет до некоторого предела, и затем резко падает вплоть до отрицательных значений. Падение величины проекции полной аэродинамической силы происходит при превышении

расхода горючего предельного значения. После этого происходит резкое изменением режима течения в канале ГПВРД и его обтекания сверхзвуковым потоком воздуха.

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания №2014/223 (код проекта 1943).

### *Литература*

1. Александров В.Н., Быцкевич В.М., Верховоломов В.К. и др. Интегральные прямоточные воздушно-реактивные двигатели на твердых топливах: Основы теории и расчета. М.: ИКЦ «Академкнига». 2006. 343 с.

## **МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ЗЕМЛИ ОТ ОПАСНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ METHODS OF PROTECTING THE EARTH FROM DANGEROUS SPACE OBJECTS**

**А.В. Гуськов, В.А. Ломан, К.Е. Милевский  
А.V. Guskov, V.A. Loman, K.E. Milevsky**

Новосибирский государственный технический университет  
Novosibirsk State Technical University  
Loman\_95@mail.ru

Земля постоянно подвергается бомбардировкам малых космических объектов, которые сгорают в атмосфере. Но уже объекты от 10 метров, могут вызывать локальные разрушения и повреждения. Объекты же от 100 м, уже представляют угрозу городам. Объекты от 1 км, могут привести к глобальным природным катастрофам, которые будут сопровождаться большими разрушениями и гибелью людей. Для оценки опасности столкновения используется Туринская шкала[1].

Актуальность этой проблемы, подтвердило падение Челябинского метеорита. Явление зафиксированное на видео записях с разных точек наблюдения, включая космические аппараты. Анализ регистраций, показал, что размер астероида составлял 17 м, масса от 7 до 12 тыс. т. Объект взорвался на высоте 22 км над землёй. Энергия взрыва составила от 300 до 500 т в тротиловом эквиваленте [2]. Если бы объект был бы в раз в 10 больше, последствия падения метеорита были бы катастрофические.

Для решения этой проблемы нужно пройти 3 стадии: стадию обнаружения объекта, стадию анализа действий и выбор способа воздействия на объект и стадии воздействия.

Способов обнаружения потенциально опасных космических объектов множество. Это наземные телескопы, в космосе это оптически, инфракрасные, рентгеновские и радиотелескопы. Правда, Большинство телескопов и устройств настроено не на поиск потенциально опасных