

ВОЗДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО И НЕЙТРОННОГО ИЗЛУЧЕНИЙ МОЩНОГО ВЗРЫВА НА АСТЕРОИД

В.М. Грибанов, А.В. Острик

ЦФТИ МО РФ, г. Сергиев Посад, Московской области, Россия

В последние годы усиливается интерес мировой общественности к проблеме “космической опасности” для Земли, т. е. снижения угрозы столкновений с космическими объектами (астероидами и кометами). Такие столкновения могут играть важную роль в развитии земной цивилизации, поскольку масштабы воздействия на биосферу Земли при падении тела с достаточно большими размерами могут быть настолько велики, что поставят под угрозу ее существование [1, 2]. Как показано в [3] такие катастрофические столкновения различного масштаба неоднократно происходили в прошлом.

Среди обсуждаемых в настоящее время [1, 2] способов предотвращения столкновения астероида с Землей одно из центральных мест занимает воздействие на опасный космический объект мощного ядерного взрыва. В данной работе рассматривается один из способов отклонения такого объекта от опасной для Земли траектории путем воздействия на него проникающих излучений взрыва ядерного устройства, произведенного вблизи его поверхности. Этот способ существенно уменьшает вероятность нежелательного разрушения опасного тела и приводит к устранению угрозы столкновения с Землей.

В данной проблеме можно выделить три основных задачи: моделирование действия ядерного взрыва, описание поведения вещества астероида в широком диапазоне изменения параметров состояния и численное моделирование движения сплошной среды. При моделировании ядерного взрыва будем считать, что основная часть энергии взрыва высвобождается в виде изотропного рентгеновского (70–80%) и нейтронного (8–10%) излучений. При взрыве над астероидом излучение поглощается освещенной поверхностью астероида, причем энерговыделенная на единицу поверхности считается пропорциональным соответствующему телесному углу. Энерговыделение в поверхностном слое материала астероида рассчитывается при взаимодействии с ним рентгеновского излучения определенного спектрального состава с учетом процессов фотопоглощения, комптоновского и релеевского рассеяния квантов, а при расчете энерговыделения от нейтронного излучения использовались данные по усредненному пробегу нейтронов в рассматриваемом материале. Временные функции выхода рентгеновского и нейтронного излучений задавались в упрощенном модельном виде с отслеживанием характерного времени выхода из заряда рентгеновского и нейтронного излучений (порядка десятков наносекунд).

Поведение материала астероида после нагрева его проникающими излучениями мощного ядерного взрыва характеризуется сильным локальным нагревом и фазовыми превращениями вещества в зоне интенсивного энерговыделения, наличием сильных ударных волн, упругопластической реакцией материала в большей части астероида, генерацией и развитием трещиноватости за счет действия растягивающих и сдвиговых напряжений. Для описания поведения вещества с учетом указанных особенностей в работе [1] была использована модель термовязкоупругопластической повреждающей среды с полуэмпирическими широкодиапазонными уравнениями состояния. Для описания зависимости шаровой части тензора напряжений среды от плотности и удельной внутренней энергии в расчетах использовались широкодиапазонные уравнения состояния воды (льда) и кварца, полученные на основе динамических экспериментов. В этой же работе было проведено сравнение результатов расчета в полной модели и гидродинамическом приближении для приращения скорости космического тела в результате воздействия заглобленного и приподнятого взрыва ядерного устройства. Сравнение показало, что гидродинамическая модель дает большую погрешность только для заглобленного взрыва, а для приподнятого взрыва, который рассматривается в настоящей работе, такая модель вполне приемлема с точки зрения точности описания приращения скорости космического тела в результате воздействия проникающих излучений. Поэтому в настоящей работе рассматривается гидродинамическое приближение, как существенно более простое и дающее возможность произвести оценки воздействия на астероид с достаточно высокой точностью.

При воздействии проникающих излучений на вещество, вызывающих мощный импульсный разогрев поверхностного слоя, начиная с некоторого уровня облучения, происходит формирование импульса давления за счет процессов испарения и дробления вещества. С точки зрения активного воздействия на астероид, импульс давления является важным параметром, поскольку позво-

ляет довольно просто определять приращение скорости космического тела в требуемом направлении. При математическом моделировании процесса формирования импульса давления на поверхности космического тела можно использовать разностные методы решения системы уравнений гидродинамики. Замыкающее эту систему уравнение состояния для адекватного описания процессов в разогретом излучением объеме вещества должно быть широкодиапазонным, то есть правильно описывать изменение давления от плотности и удельной внутренней энергии в широком диапазоне, как в области конденсированного вещества, так и при испарении и фазовых переходах.

Большие вычислительные трудности и снижение экономичности вычислений вызывает точное описание фазовых переходов, поскольку даже для простых по форме уравнений состояния не удается получить аналитическое решение для границы области двухфазности, а внутри области для определения давления приходится применять итерационные алгоритмы. Для достижения поставленной цели использовалось полуэмпирическое уравнение состояния в переменных плотность–удельная внутренняя энергия в форме Ми–Грюнайзена, которое строится на основе простых физических представлений о структуре вещества и его поведении (например, используя упрощенную модель вещества, основанную на потенциале взаимодействия атомов Леннарда–Джонса), а согласие с экспериментом достигается за счет выбора параметров [4, 5]. Для более экономичного расчета поведения вещества в области двухфазного состояния вещества использовались аппроксимации Паде [6–8].

В рассмотренном приближении проведены расчеты для двух составов материалов, из которых состоит космическое тело — льда и железа. Чисто с методической целью и для удобства анализа расчет для нейтронов и рентгеновского излучений проводился отдельно. Как показали специальные расчеты, в рассматриваемой задаче это вполне допустимо, и суммарный импульс давления и, соответственно, приращение скорости на уровне точности оценок можно получать простым суммированием отдельно полученных импульсов. Действительно, если для рентгеновского излучения профиль энерговыделения очень резкий и испаряется только тонкий поверхностный слой, то в случае нейтронов испаренный слой намного больше при достаточной плотности нейтронного излучения. Поэтому испарение и разлет происходит в различные характерные времена, и процессы формирования импульса слабо влияют друг на друга.

При оценке приращения скорости космического тела по величине рассчитанного удельного импульса, предполагалось, что тело представляет собой шар диаметром 1 км, и удельный механический импульс распределен по площади миделя этого шара. Конечная геометрия подобной задачи означает, что есть оптимальная высота подрыва ядерного устройства над поверхностью астероида, равная приблизительно половине радиуса этого тела, при которой механическое воздействие максимально. Это обстоятельство снижает возможности маневра высотой подрыва, но остается еще возможность подбирать соответствующую требуемому приращению скорости мощность взрыва.

Результаты расчета приращения скоростей космического тела из железа и льда, в зависимости от падающего на поверхность уровня рентгеновского излучения, представлены на рис. 1 и 2, соответственно, для рентгеновского излучения и нейтронов. Доля энергии ядерного взрыва, передаваемого нейтронам, принималась равной 8%, а рентгеновскому излучению — 80%, т. е. уровням облучения на рисунках для нейтронов соответствует уровень в 10 раз меньше.

Анализ зависимостей приращения скоростей от уровня облучения показывает, что в указанном диапазоне параметров воздействия удастся добиться обычно требуемых приращений скорости космического тела. Обращает на себя внимание тот факт, что, начиная с определенных уровней воздействия (при которых энерговыделение в поверхностном слое космического тела от нейтронного потока начинает превышать теплоту сублимации вещества тела), величина удельного механического импульса начинает определяться нейтронным излучением ядерного взрыва.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 95–05–15739а.

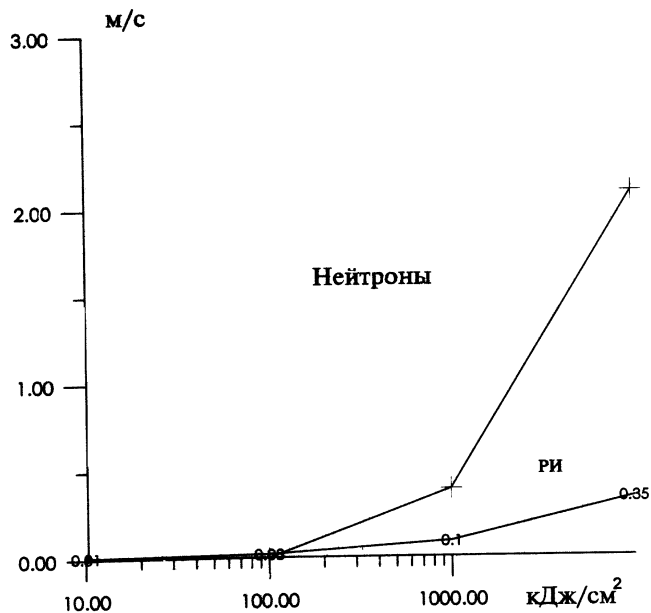


Рис. 1. Приращение скорости космического тела в результате воздействия проникающих излучений ядерного взрыва (РИ с максимальной энергией кванта 20 кэВ и нейтроны) при различных уровнях воздействия (вещество космического тела — железо).

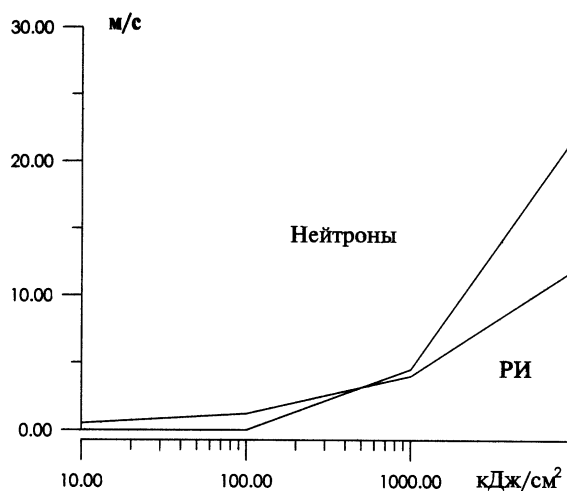


Рис. 2. Приращение скорости космического тела в результате воздействия проникающих излучений ядерного взрыва (РИ с максимальной энергией кванта 20 кэВ и нейтроны) при различных уровнях воздействия (вещество космического тела — лед).

Литература

1. Кондауров В.И., Ломов И.Н., Фортов В.Е. О действии мощного взрыва на астероид. ДАН РАН, 1996, т. 348, № 2, с. 184–187.
2. Международная конференция “Проблемы защиты Земли от столкновения с опасными космическими объектами (SPE-94)”. Тезисы докл., Снежинск, 1994.
3. Hazards due to comets and asteroids / T. Gehrels. Ed. Univ. of Arizona Press, 1994.
4. Волкова А.А. и др. Математическое моделирование ТЭНа лазерным излучением. В сб. “Детонация”. Критические явления. Физико-химические превращения в ударных волнах. Черноголовка, ИХФ АН, 1978, с. 46–50.
5. Куропатенко В.Ф. Уравнения состояния в математических моделях механики и физики. Сб. научных трудов: Экстремальные состояния вещества. Под редакцией академика В.Е. Фортова. Москва. 1991. с. 3–38.
6. Бейкер Д.А., Грейвс-Моррис П. Аппроксимация Паде. Москва, Мир, 1986.

7. Кондауров В.И., Острик А.В., Острик В.М. Численное моделирование нестационарных процессов взаимодействия излучения с деформируемой преградой. Тезисы докладов 7 научной школы "Импульсные процессы в МСС". НАН Украины, Николаев, 1994.
8. Грибанов В.М., Острик А.В., Петровский В.П. О влиянии математической модели вещества на механическую эффективность воздействия жесткого рентгеновского излучения. Тезисы докладов X международной конференции "Воздействие интенсивных потоков энергии на вещество". Терскол, 1995.