

# ВОЗМОЖНОСТИ ОТРАБОТКИ КИНЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА МАЛЫЕ НЕБЕСНЫЕ ТЕЛА

А.В. Добров, А.В. Зайцев, Г.Н. Роговский

НПО им. С.А. Лавочкина, г. Химки, Московской обл., Россия

И.В. Симонов

Институт прикладной механики РАН, г. Москва, Россия

## Введение

Создание Системы планетарной защиты (СПЗ) от столкновений с астероидами и кометами можно считать закономерным этапом развития цивилизации [1–6]. Однако, несмотря на уже имеющийся огромный научно–технический потенциал, для этого потребуется решить еще множество проблем.

Одной из таких проблем является создание и отработка средств воздействия на малые небесные тела с целью их разрушения или отклонения с попадающей в Землю траектории.

Из всего многообразия предлагаемых для этого способов и средств одним из наиболее перспективных методов для воздействия на относительно небольшие объекты в ближайшем будущем, видимо, можно считать использование энергии удара при столкновении с ними специальных кинетических средств воздействия [7, 8].

Уникальные возможности для отработки таких средств могут представиться при реализации предложенного ранее демонстрационного проекта “Космический патруль” [9–12]. В рамках этого проекта предполагается проводить изучение сближающихся Землей астероидов и обрабатывать основные компоненты оперативной службы их обнаружения и перехвата.

Таким образом, околоземное космическое пространство можно использовать как полигон для изучения малых небесных тел и отработки компонентов СПЗ.

## Проект “Космический патруль”

Проектом “Космический патруль” предусматривается создание и запуск КА к пролетающим вблизи Земли астероидам. В процессе таких экспедиций планируется:

- изучение свойств астероидов сближающихся с Землей;
- изучение физики высокоскоростного удара (до 70–90 км/с);
- изучение свойств материалов при сверхвысоких давлениях и температурах;
- отработка кинетических средств воздействия на астероиды;
- отработка компонентов службы оперативного перехвата астероидов.

При этом могут быть реализованы следующие типы экспедиций: “Пролет”, “Удар”, “Внедрение”, “Посадка” и “Возврат”.

В ходе экспедиции “Пролет” будет проводиться отработка методов и средств изучения небесных тел, исследование характеристик астероидов с пролетных траекторий, отработка КА, их систем и агрегатов, а также компонентов СПЗ.

Помимо этих исследований и экспериментов, в экспедиции “Удар” можно будет проводить изучение характеристик небесных тел прямыми методами и физических процессов при высокоскоростном (до 70–90 км/с) ударе.

Проведение этих экспериментов позволит уточнить состав и прочностные характеристики изучаемых объектов, необходимые для поиска эффективных средств воздействия при создании в будущем СПЗ.

Предлагаемые типы экспедиций могут быть многоцелевыми. Состав научной аппаратуры КА можно будет подобрать таким образом, чтобы после пролета астероида он смог продолжить научные исследования, например, по контролю околоземной космической среды, изучению солнечно–земных связей и т. п.

В ходе выполнения экспедиций “Внедрение”, “Посадка” и “Доставка” предполагается осуществить, соответственно, внедрение в грунт астероидов специальных зондов–пенетраторов, посадку на их поверхность исследовательских платформ, а также КА для отбора и доставки образцов грунта на Землю. В результате будет получена информация о малых небесных телах Солнечной системы, имеющая важное фундаментальное и прикладное значение для эффективного отражения воз-

можной угрозы их столкновения с Землей. Очевидно, что в некоторых случаях предполагаемые типы экспедиций могут быть совмещены (например, экспедиция “Пролет” + “Удар” и т. п.)

### ***Возможности обнаружения астероидов, сближающихся с Землей***

Реализация проекта становится возможной в связи с получением в последнее время данных о достаточно высокой частоте пролета (примерно один раз в неделю) астероидов диаметром 50–100 м в окрестностях Земли. Такие астероиды могут быть обнаружены за несколько суток до максимального сближения с Землей. Это позволяет, при уже достигнутых сроках подготовки КА и РН к пуску, осуществить запуск КА и его перелет в точку встречи с астероидом.

Для заблаговременного обнаружения удобных для исследования астероидов может быть использован метод, предложенный и апробированный российскими астрономами [13], заключающийся в наблюдениях радиантов метеорных потоков. Использование этого метода позволило за период с 9 по 15 августа 1995 г. в метеорном потоке Персеид обнаружить 4 объекта диаметром от 3 до 28 метров. В момент обнаружения они находились на расстояниях от 170 000 до 5 400 000 километров от Земли. Два из этих небесных тел прошли на расстоянии менее 60 000 км от Земли, а трехметровый объект вошел в атмосферу Земли.

Таким образом, организовав систематическое наблюдение за метеорными потоками, можно будет выбирать наиболее подходящие для исследований объекты.

Учитывая то, что Земля в течение своего движения по орбите ежегодно пересекает множество метеорных потоков, можно будет, организовав систематическое наблюдение за метеорными потоками, выбрать в этих потоках наиболее подходящий объект и направить к нему исследовательский зонд.

Поскольку траектории потоков достаточно хорошо известны, то наблюдение за ними можно будет организовать до их пересечения с Землей. Это позволит обнаружить достаточно крупные астероиды за много суток до их максимального сближения с Землей и подготовить к запуску РН с КА. Такие наблюдения можно будет выполнить в рамках международного эксперимента “Обнаружение” [14].

### ***Условия сближения космических аппаратов с астероидами***

Скорости объектов в метеорных потоках относительно Земли достигают от 23 до 72 км/с. Кроме того существует класс так называемых циклид — метеорных тел, орбиты которых почти совпадают с орбитой Земли. Их скорости на границе сферы притяжения Земли близки к нулю, а вблизи Земли — около 11 км/с. Таким образом, спектр скоростей объектов, сближающихся с нашей планетой, лежит в диапазоне от 0 до 72 км/с. Учитывая же встречную относительную скорость КА–исследователя, верхний предел скорости может быть еще больше увеличен. Таким образом, пролетающие вблизи Земли астероиды можно рассматривать как уникальные природные лаборатории для изучения процессов высоко- и гиперскоростного удара и, соответственно, для отработки различных методов и средств воздействия на них.

Для запуска КА к пролетающим вблизи Земли астероидам может быть использовано множество типов РН — от небольших, созданных на базе МБР (типа SS–18, SS–19, SS–25 и др.) до тяжелых космических РН типа “Зенит”, “Протон”, а в перспективе и “Энергия–М”. У каждой из них имеются свои достоинства и недостатки. В частности РН на базе МБР имеют короткие сроки подготовки к пуску, относительно дешевы, однако выводят на орбиту сравнительно небольшой полезный груз. Их, видимо, будет целесообразно использовать на начальных этапах работ, при осуществлении экспедиций — “Пролет” и “Удар”. Другие, более сложные и требующие большей энергетики экспедиции “Пенетрация”, “Посадка” и “Доставка грунта”, — будут осуществляться с помощью тяжелых РН. Эти средства выведения КА более дорогие и имеют более длительные сроки подготовки к пуску. Однако КА, запускаемые этими РН будут обладать более широкими возможностями.

Для целей проведения ударных экспериментов представляют интерес оценки предельно возможных достижимых скоростей разгона КА с помощью разгонных блоков этих РН.

Оценки, проведенные для РН “Зенит”, выводящей на опорную орбиту около 14000 кг полезного груза, показывают, что, при использовании трехступенчатого твердотопливного разгонного блока, КА массой 100 кг может быть разогнан до скорости около 22 км/с (с учетом начальной орбитальной скорости около 8 км/с).

Из этого следует, что при встрече с объектом из потока Леонид, имеющего относительно Земли скорость 72 км/с, может быть обеспечена относительная скорость встречи с КА около 90

км/с. Соответственно, максимальная скорость астероида относительно Земли, при которой возможно внедрение в него пенетратора со скоростью около 0,1 км/с, составляет около 22 км/с.

Одна из проблем, которая должна быть решена для реализации проекта “Космический патруль”, включает в себя комплекс задач, связанных со сближением с астероидом. К этим задачам относятся:

- задача определения и прогнозирования параметров движения астероида;
- задача наведения КА на астероид.

Точность знания эфемерид астероида зависит от времени наблюдения за ним и используемых измерительных средств. В предлагаемом проекте астероиды, очевидно, будут обнаруживаться на относительно небольших расстояниях от Земли. В связи с этим, время наблюдения за ними может быть достаточно малым для того, чтобы определить их траекторию с достаточной точностью. Поэтому, при проведении исследований рассматривались два варианта:

- первому варианту соответствует 50 км предельная ошибка в знании вектора положения астероида на момент начала самонаведения;
- второму варианту соответствует предельная круговая ошибка знания вектора положения астероида на момент начала наведения около 500 м и даже меньше.

Такая точность может быть достигнута, если для определения параметров движения астероида будут задействованы международные радиотехнические и оптические средства.

Описание возможной схемы сближения КА с астероидом и некоторые результаты моделирования динамики сближения приведены в работе [15], которые, в частности, показывают, что для КА, оснащенного головкой самонаведения с дальностью захвата равной 5000 км, при относительной скорости сближения 30 км/с и априорной ошибке знания положения астероида равной 50 км/с, характеристическая скорость наведения не превосходит 300 м/с, а величина промаха не более км/с.

Таким образом, современный уровень ракетно–космической техники позволяет осуществить операции по сближению и столкновению с астероидами исследовательских зондов при относительных скоростях сближения до 70–80 км/с.

### **Схемы высоко– и гиперскоростных ударных экспериментов**

Космические экспедиции к пролетающим вблизи Земли малым телам предоставят возможность проведения целого ряда уникальных научных экспериментов, в том числе ударных, применительно к проблеме оптимального кинетического воздействия [7, 8, 12, 15–17]. При этом могут быть получены ответы на ряд важнейших вопросов, среди которых можно назвать следующие:

1. Является ли неизвестный объект по структуре компактным телом с малым уровнем повреждаемости, сильно трещиноватым, пористым объектом или конгломератом, состоящим из малого или большого числа отдельных гравитационно связанных частей? От ответа на этот вопрос зависит в значительной степени характер и энергия воздействия.
2. Каковы осредненные динамические характеристики упругости, прочности и фрагментации тела, близкого, возможно, по составу к геологической среде, но подверженного долгому воздействию космоса? Масштабный эффект?
3. Где расположена граница в пространстве параметров удара и характеристик мишени, разделяющая области, в которых взаимодействие происходит как с полубесконечным телом (проникание) или как с конечным телом (фрагментация)? Начало фрагментации.
4. Как отличается реакция на ударное воздействие реального космического тела от результатов моделирования такого удара?
5. Как изменится вектор количества движения и траектория движения облака крупных осколков или неразрушенной мишени?

Сообразно с поставленными целями могут быть поставлены эксперименты в различных диапазонах скорости встречи, которые опишем здесь схематически, не вдаваясь в детали.

Рассмотрим возможные эксперименты в интервале скоростей 0,1–4 км/с и новый метод регистрации. Какие качественно новые результаты могут быть получены в этом промежуточном интервале скоростей?

Глубокая пенетрация в астероид, как в полубесконечное тело, вызовет ряд хорошо известных, разделенных во времени эффектов [18]. В частности, можно отметить, что существенная часть кинетической энергии перейдет в сейсмическую энергию. В свою очередь, эти эффекты зависят от осредненных параметров упругости, прочности, внутреннего трения, и они могут быть определены, если удастся их зарегистрировать.

С этой целью, мы предлагаем использовать метод возмущений электрического поля. Он основан на хорошо известном явлении генерации электрического поля при любых динамических деформациях материала (как квазистатических, так и в условиях ударного нагружения). Прямая связь между явлениями удара и проникания, с одной стороны, и изменением электрической и магнитной составляющими электромагнитного поля, — с другой, установлена и надежно зафиксирована при помощи весьма простой измерительной техники для различных, в том числе природных, сред [19].

Следовательно, электрическое поле может быть обнаружено и измерено и при ударе об астероид. Его изменения будут адекватны временным и амплитудным характеристикам протекающих процессов удара, пенетрации, распространения волн и, наконец, собственным колебаниям объекта. Так, например, мы будем точно знать время пенетрации и затем сможем вычислить осредненные величины силы сопротивления и параметра прочности материалов по пути следования ударника. Собственная частота, интенсивность и затухание колебаний тела, которые надежно определяются из электрограмм, позволят нам распознать структуру и некоторые характеристики реологии объекта.

Предварительно необходимо будет выполнить калибровочные эксперименты, численное моделирование и анализ с тем, чтобы создать базу данных — множество “электрических портретов” различных событий.

Описанные выше эксперименты особенно необходимы для имитации и отработки будущих разведывательных экспедиций к объектам больших размеров с целью выбора способа воздействия на них.

### **Космические средства для изучения астероидов**

Для осуществления экспедиции “Пролет” могут быть использованы любые КА пролетного типа, которые уже многократно использовались в космических экспедициях. Однако, наибольшее предпочтение должно быть отдано КА малого класса. С помощью этих же КА можно будет осуществлять и дистанционное наблюдение за процессами гиперскоростного удара.

В качестве базовой платформы для такого КА может быть использован КА “Скиппер”, созданный в рамках одноименного российско–американского проекта. Масса такого КА составляет около 250 кг, включая 50 кг научной аппаратуры. Его запуск может быть осуществлен с помощью РН “Конверсия”, создаваемой на базе МБР SS–18. Энергетические возможности этой РН позволяют вывести подобные КА на траектории перехвата астероидов, как в сфере притяжения Земли, так и за ее пределами.

КА малого класса может быть запущен и в качестве попутного груза совместно с другими КА. Например, при запуске некоторых КА с помощью РН “Молния” имеется резерв массы до нескольких сотен килограмм. Это дает возможность вывести малый КА на опорную орбиту (см. рисунок) с периодом 12 часов. На этой орбите он будет находиться в режиме ожидания, пока не будет обнаружен подходящий астероид для сближения. Запасы топлива на борту КА позволяют осуществить маневр на сближение с астероидом на высотах до 100000 км.

Реализация этого варианта может быть проведена с минимальными затратами и в кратчайшие сроки.

Для проведения низкоскоростных экспериментов в экспедиции “Пенетрация” предполагается использование нового типа аппаратов — пенетраторов. В качестве базового образца такого устройства может быть использован пенетратор, разработанный для экспедиции “Марс–96”. Этот пенетратор состоит из двух связанных между собой кабелем частей — головной и хвостовой. При ударе о поверхность небесного тела, со скоростью около 80 м/с головная часть внедряется в грунт на глубину нескольких метров, хвостовая остается на поверхности. На борту пенетратора устанавливаются комплексы научной и служебной аппаратуры, включая радиокomплекс, с помощью которого информация передается на Землю или пролетный КА.

Для осуществления предварительного торможения перед контактом с небесным телом, на пенетраторе могут устанавливаться тормозные двигатели с системой управления.

Таким образом уже имеющиеся ракетно–космические средства могут быть использованы для проведения в ближайшем будущем комплекса экспериментов с астероидами, сближающимися с Землей.

### **Заключение**

Проведенные исследования показывают принципиальную возможность и высокую эффективность проведения исследований при запусках КА к пролетающим вблизи Земли астероидам. Их

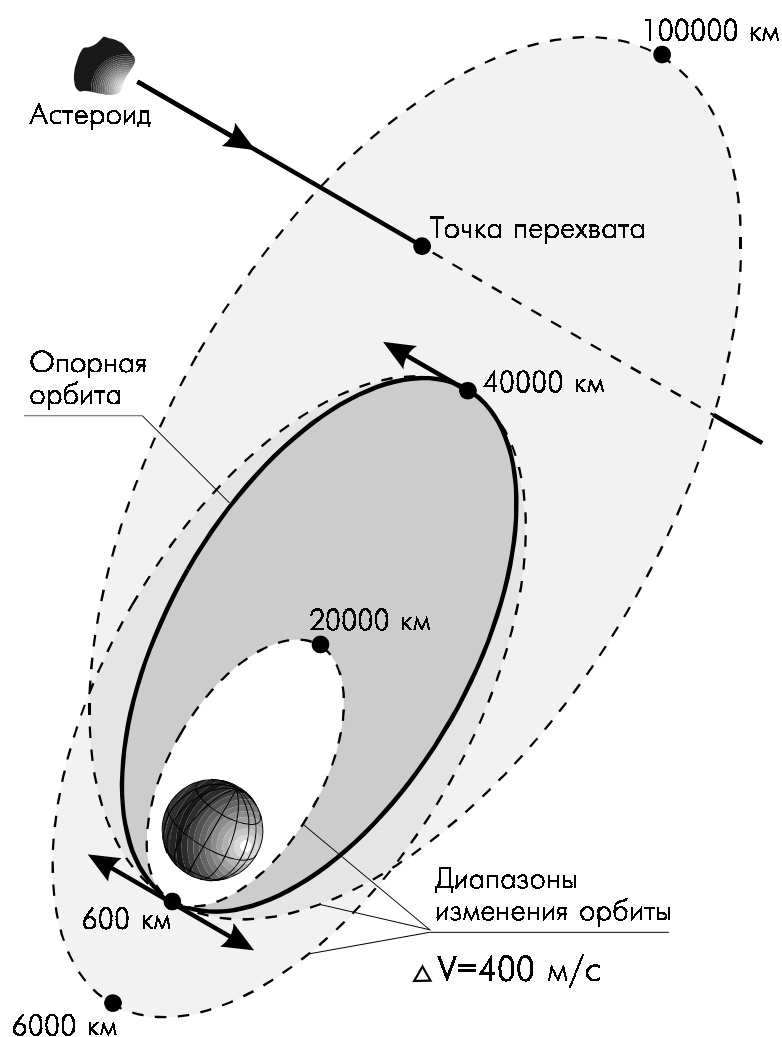
практическая реализация даст уникальную возможность провести комплексные исследования и эксперименты, имеющие значительное, как прикладное, так и фундаментальное, значение для понимания:

- строения и характеристик малых небесных тел;
- процессов формирования и эволюции малых тел Солнечной системы;
- явлений при высоко- и гиперсверхсростном ударе;
- процессов разрушения при использовании кинетических средств воздействия;
- и т. д.

Таким образом, пролетающие вблизи Земли астероиды можно рассматривать как своеобразные природные лаборатории для изучения их свойств, а также процессов высоко- и гиперсверхсростного удара, и, соответственно, для отработки различных методов и средств воздействия на них.

Кроме того, полученные результаты и технические средства (КА, научное и экспериментальное оборудование, наземные средства управления, средства воздействия на астероиды и т. п.) послужат базой для создания Системы планетарной защиты.

### ЗОНЫ ПЕРЕХВАТА АСТЕРОИДОВ



Авторы выражают благодарность А.Г. Мейстеру за помощь в графическом оформлении статьи.

#### Литература

1. Joseph V. Smith. "Protection of the human race against natural hazards (asteroids, comets, volcanoes, earthquakes)". *Geology*, v. 13, p. 675–678, Oct., 1985.
2. А.В. Зайцев "Предложения по созданию Системы предотвращения столкновений Земли с астероидами и кометами (переориентация работ проводимых в рамках программы СОИ на мирные цели)". Докладная записка Генеральному секретарю ЦК КПСС № 629203 от 20.10.1986 г., НИЦ им. Г.Н. Бабакина, 17 л., 1986.

3. Зайцев А.В. “Некоторые принципы построения системы предотвращения столкновений Земли с астероидами и кометами”. Труды 23 чтений К.Э. Циолковского (Калуга, 13–16 сент. 1988 г.). Секция “Проблемы ракетной и космической техники. М. ИИЕТ АН СССР, с. 141–147, 1989.
4. Ковтуненко В.М., Зайцев А.В., Котин В.А. “Научно–технические аспекты и проблемы создания Системы защиты Земли от опасных космических объектов”. Доклад на Международной конференции “Проблемы защиты Земли от столкновения с опасными космическими объектами (“SPE–94””, Снежинск, 26–30 сентября 1994 г..
5. Резолюция участников конференции “SPE–94”. Россия, Снежинск (Челябинск–70), 30 сентября 1994 г..
6. Kovtunenکو V.M., Zaitsev A.V. “Protecting Earth from Asteroid Hazards is a Real Task for the World Space States”. Space Bulletin, v. 2, № 4, p. 25–27, 1995.
7. Wood L., Hyde R., Ishikawa M., Teller E. “Cosmic Bombardment V: Threat Object — Dispersing Approaches To Active Planetary Defense”. Report of the Planetary Defense Workshop, Livermore, CA, 1995.
8. Tedeschi W. “Mitigation of the NEO Impact Hazard Using Kinetic Energy”. Report of the Planetary Defense Workshop, Livermore, CA, 1995.
9. Ковтуненко В.М., Алябьев С.П., Зайцев А.В., Котин В.А., Фешин И.В. Анализ некоторых проблем создания и проектных параметров системы перехвата опасных космических объектов. Доклад на Международной конференции “Проблемы защиты Земли от столкновения с опасными космическими объектами (“SPE–94””. Снежинск, 26–30 сентября 1994 г..
10. Ковтуненко В.М., Зайцев А.В. и др. Проект “Космический патруль”. Предложения по осуществлению демонстрационных научно–технических экспериментов в обеспечение создания Системы защиты Земли от столкновения с астероидами и кометами. НПО им. С.А. Лавочкина, НИЦ им. Г.Н. Бабакина. 1995 г. 8 л..
11. Kovtunenکو V.M., Simonenko V.A., Rogovsky G.N., Papkov O.V., Bojor J.A., Zaitsev A.V., Kotin V.A., Feshin I.V., Maglinov I.D.. Opportunity to Create the System For Space Protection of the Earth Against Asteroids and Comets on the Base of Modern Tecnology. *Report on Planetary Defense Workshop*. Livermore 1995 г..
12. Kovtunenکو V., Rogovsky G., Chesnokov A., Sukhanov K., Papkov O., Bojor Ju., Zaitsev A., Kotin V., Maglinov I., Feshin I.. Spase Patrol Project as a First Stage of the Earth Asteroid Protection System Deployment. IAF–95–Q.5.09. 10 p., ill. 1995 г.
13. Болгова Г.Т., Барабанов С.И., Микиша А.М., Смирнов М.А.. ”Наблюдения тел метрового и декаметрового размера в радианте метеорного потока Персеиды”. Доклад на Всероссийской конференции с международным участием “Компьютерные методы небесной механики – 95”, 17–20 октября 1995 г., Санкт–Петербург.
14. Зайцев А.В., Микиша А.М., Смирнов М.А., Сокольский А.Г.. “Возможности информационно–эфемеридного обеспечения проекта “Космический патруль”. Доклад на Международной конференции “Астероидная опасность — 96”, 15–19 июля 1996 г., Санкт–Петербург.
15. Zaitsev A.V., Dobrov A.V., Kotin V.A., Simonov I.V., “Possibilities for Hypervelocity Impact Experiments in Frames of Demonstration Project “Space Patrol”. 1996 Hypervelocity Impact Symposium, Oct. 7–10, 1996, Freiburg, Germany.
16. More R., Hyde R., Holmes N., Walling R., “CYMBELINE — A High Velocity Impact Experiment”. Report of the Planetary Defense Workshop, Livermore, 1995 г..
17. Tedeschi W., Allahdadi F. “Near–Earth Asteroid Rendervous Mission” Report of the Planetary Defense Workshop, Livermore, 1995г..
18. Bivin Yu.K., Simonov I.V.. Estimates of the penetration depth of rigid bodies into soil media at the supersonic entry velocities. Dokl. Ross. Akad. Nauk. 328, с. 447–450, 1993 г.
19. Bivin Yu.K., Viktorov V.V., Kulinich Yu.V. and Chursin A.S.. Electromagnetic emission at the dynamic deformation of different materials. Izv. Akad. Nauk SSSR. MTT, № 1. с. 183–186. 1982 г..