

УДК 531.58

## Проникание БЧ в астероид «Апофис» со скоростями 10-35 км/с

Симонов А.К.

*Студент,  
кафедра «Высокоточные летательные аппараты»*

*Научный руководитель: Л.П. Орленко,  
д.т.н., профессор кафедры «Высокоточные летательные аппараты»*

МГТУ им. Н.Э. Баумана  
[a.simonov@list.ru](mailto:a.simonov@list.ru)

Мощность ядерного заряда, необходимого для разрушения астероида, существенно зависит от величины его заглубления в астероид [1]. Поэтому для уменьшения мощности ядерного заряда целесообразно его как можно больше заглублять в астероид.

В настоящей работе произведена попытка моделирования проникания боевой части (БЧ) с ядерным зарядом вглубь астероида.

За основу заряда была взята боевая часть американской ядерной бомбы Mk/V-53, имеющего следующие основные характеристики:

Длина 3,8 м; диаметр 1.27 м; масса: 4 т;

Для доставки заряда внутрь астероида требуется пробить в нем отверстие достаточного диаметра для свободного пролета внутрь ядерного заряда. Требовалось определить параметры ударника: его размеры, материал, для пробития отверстия максимально возможной глубины в астероиде, при приемлемых массо-габаритных характеристиках, а так же оптимизировать их для наиболее рационального использования ресурсов.

Для решения этой задачи было применено численное моделирование с помощью программ:

Master Professional v1.04; Ansys AutoDyn .

При этом предлагается принципиальная схема: впереди БЧ с ядерным зарядом находится металлический ударник (рис.1).

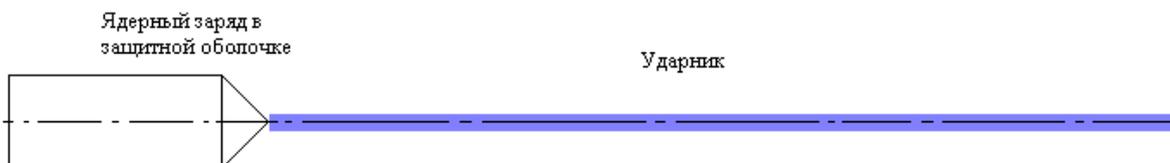


Рис. 1 Схема расположения ударника относительно ядерного заряда

Собственная скорость астероида при подлете к Земле – примерно 12 км/с, скорость ракеты больше второй космической скорости, т. е. больше 11,2 км/с.

Различные варианты углов подлета к астероиду дадут разные скорости соударения: от скорости ракеты (при боковом попадании) до алгебраической суммы скоростей при «лобовом» ударе (рис.2). Вариант с прониканием в тыльную (относительно направления движения) часть астероида не рассматривается, так как в этом случае придется догонять астероид, который имеет большую собственную скорость.

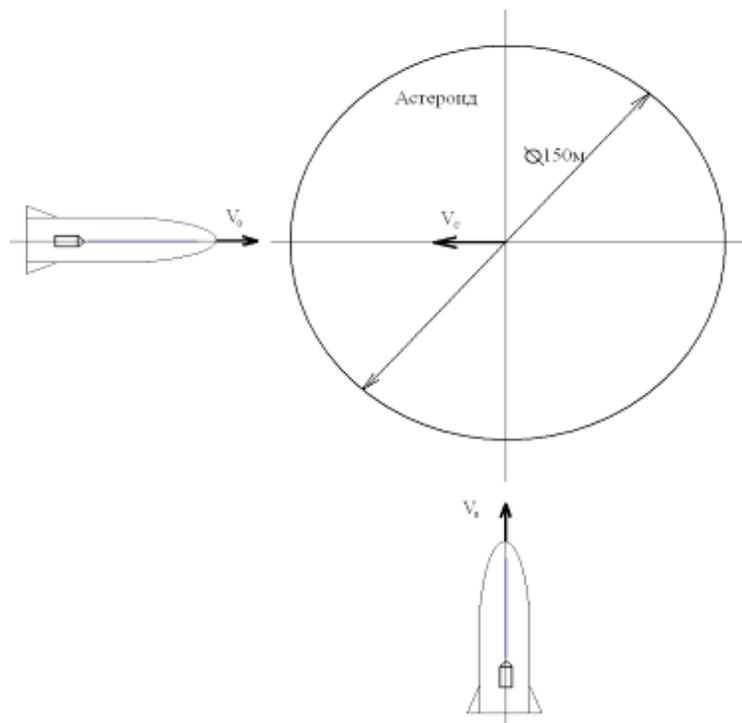


Рис. 2. Различные варианты подлета

Способ доставки описанной выше конструкции – возможен при помощи ракет – носителей типа «Энергия», «Сатурн-5». Ядерный заряд и ударник могут располагаться в третьих ступенях таких ракет.

Так, ракета «Сатурн V», выведившая полезную нагрузку на низкую околоземную орбиту 140 т и на траекторию к Луне 47 т полезного груза. Ракета-носитель выполнена по трёхступенчатой схеме, с последовательным расположением ступеней. Третья ступень ракеты-носителя Сатурн-5 имеет размеры: длина 17,8 м, диаметр 6,6 м. В ней можно разместить БЧ с ударником (рис.1).

Исходные данные для моделирования с помощью программы Master Professional:

**Астероид:** Диаметр 300 м, средняя плотность астероида  $3 \text{ г/см}^3$ . Собственная скорость астероида при приближении к Земле – 12 км/с.

Модель разрушения – упругопластика Уилкинса.

Уравнение состояния – Ми-Грюнайзена.

**Ударник:** Составной, вольфрамовый стержень в стальной оболочке, материал: вольфрам, плотность  $19.170 \text{ г/см}^3$ ; длина ударника – 12 000 мм; диаметр ударника – 200 мм; масса ударника – 7460 кг.

**Стальная оболочка:** Длина – 12 000 мм; диаметр внутренний – 200 мм, наружный – 400 мм, масса – 8800 кг;

Все константы в уравнениях были взяты из баз данных комплекса Master.

Первоначально предполагалось использование стального ударника, но не удалось получить необходимый диаметр отверстия и масса ударника была огромной при достаточной глубине проникания. В этом случае для получения глубины проникания 25 м необходима масса ударника 57 т.

Тогда было принято решение перейти на более плотный материал – вольфрам (уран). За счет этого при той же глубине проникания снижается масса ударника из-за большей поперечной нагрузки на материал преграды.

При различных диаметрах вольфрамового ударника наблюдался различный диаметр отверстий в астероиде (рис. 3):

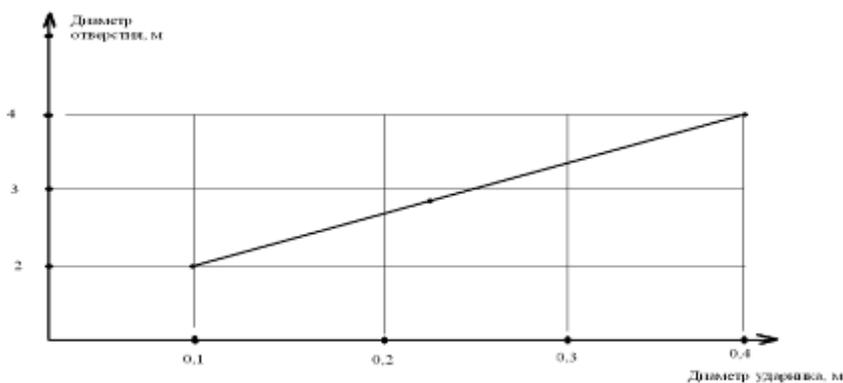


Рис. 3. Зависимость диаметра отверстия от диаметра ударника

В результате многочисленных расчетов был выбран наиболее компактный и легкий ударник массой 7460 кг, длиной 12 м и диаметром 200 мм – этот ударник проделывает отверстие диаметра, достаточного для проникания ядерного заряда в защитной оболочке на глубину 25 м.

Таким образом, параметры ударника были оптимизированы.

Диаметр отверстия, необходимый для проникания БЧ в астероид, равен 2 м. Проникание ударника равно 25 м.

Однако такой ударник имеет относительное удлинение, равное 60. В действительности такой ударник при ударе может потерять устойчивость и разрушиться. По этой причине был смоделирован удар вышеописанного ударника со стальной оболочкой.

Относительное удлинение ударника при этом составляет 30.

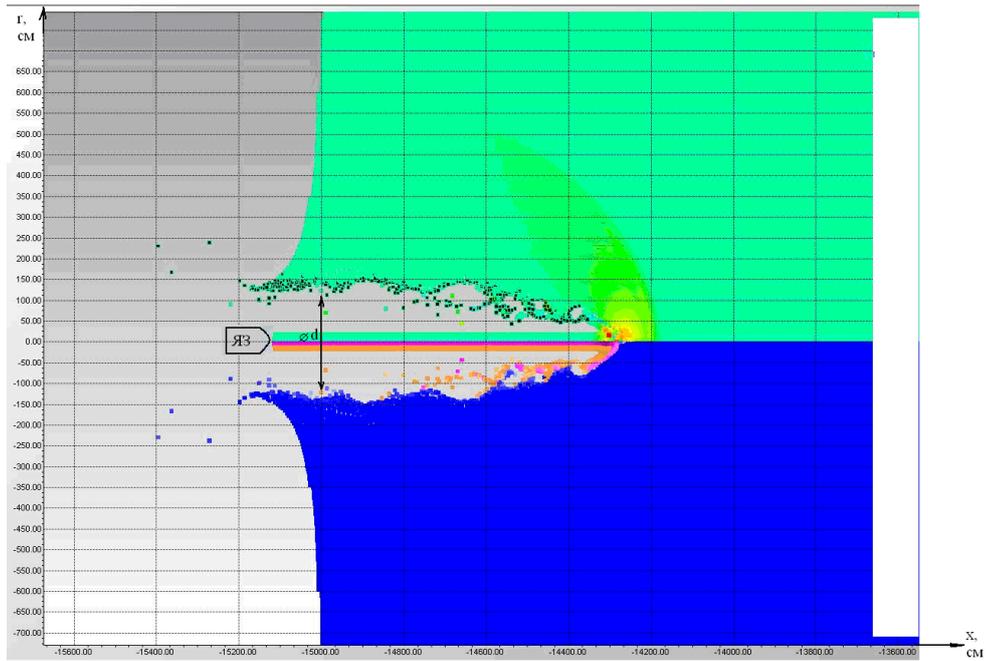


Рис. 4. Диаметр отверстия  $d$ , необходимый для проникания БЧ в астероид – 2.1 м

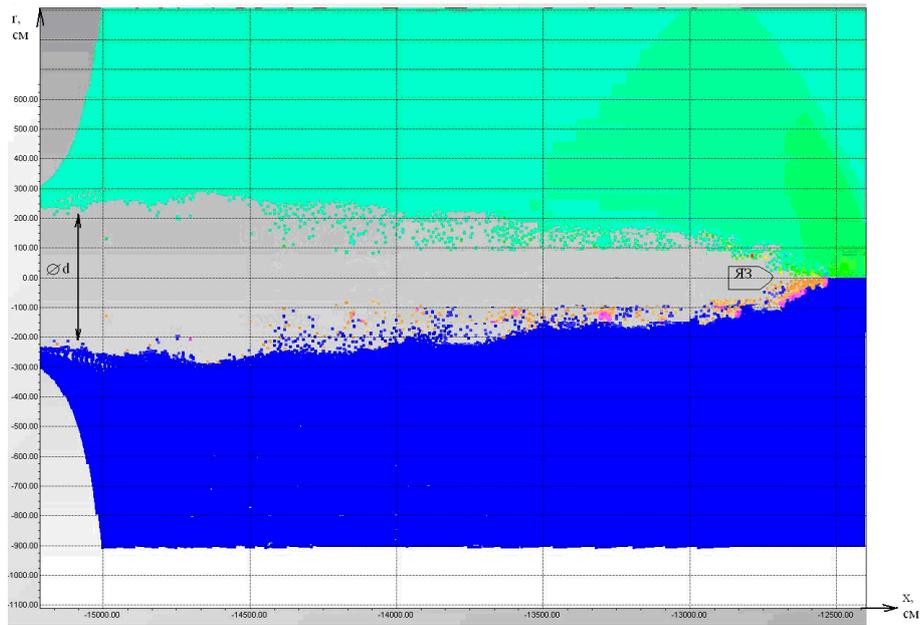


Рис. 5. Глубина проникания – 25 м, масса стержня – 7.5 т, масса оболочки – 8.8 т.  
Различные скорости соударения не влияли на глубину проникания (конечный вариант ударника – стержень + облицовка)

Аналогичные расчеты с теми же условиями проведены при помощи программы AnSys AutoDyn, результатом которых стал точно такой же результат – глубина проникания составила 25 м.

В результате расчетов выявлено:

- глубина проникания не зависит от скорости в диапазоне рассматриваемых скоростей проникания (10-35 км/с);

- глубина проникания существенным образом зависит от плотности материала ударника и его массы;

- диаметр каверны существенно зависит от диаметра ударника.

Замена материала преграды с алюминия на бетон (в программе AnSys AutoDun) практически не повлияла на результат – лишь незначительно увеличилась глубина проникания (рис.6).

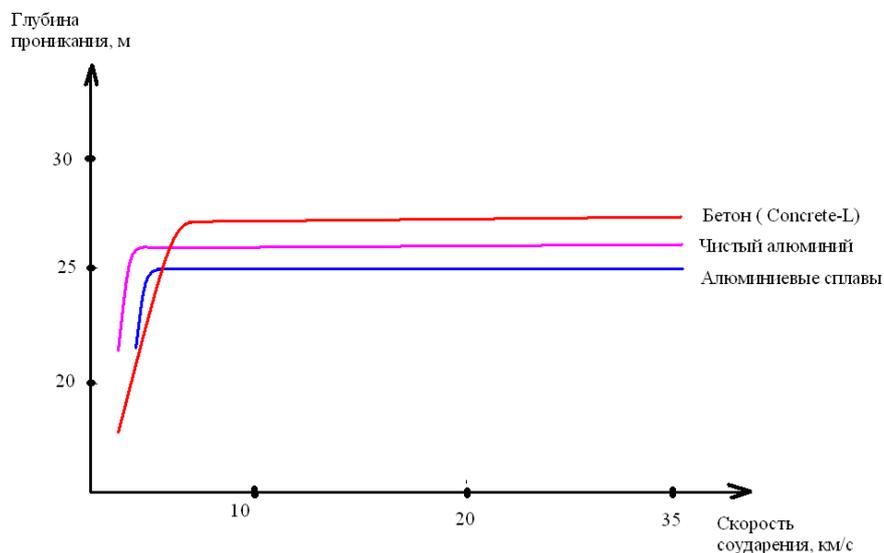


Рис. 6 Сравнение глубин проникания для материалов со схожей плотностью

### Список литературы

1. Орленко Л.П., Еськов Д.А. Разрушение астероида Апофис с помощью энергии взрыва.
2. Физика взрыва, в 2-х томах. Под ред. Орленко Л.П. М.: Наука, 2004.
3. Прикладная механика сплошных сред: Учебник для втузов. / А.В. Бабкин, В.И. Колпаков, В.Н. Охитин, В.В. Селиванов; под ред. В.В. Селиванова. М.: Изд-во МГТУ, 2000. - Т.3 Численные методы в задачах физики взрыва и удара - 516 с.