

ОТКЛОНЕНИЕ И ФРАГМЕНТАЦИЯ АСТЕРОИДА ТИПА «АПОФИС» ДЛЯ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЯ ЕГО С ЗЕМЛЕЙ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ЗАГЛУБЛЕННОГО ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

А. К. Шаненко, С. С. Соколов, В. Н. Мотлохов, Т. И. Чайка, А. А. Пушкарев

ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», 607188, г. Саров Нижегородской обл.

Приводятся результаты оценки воздействия на реальное космическое тело заглубленного ЯВ с энерговыделением 3,5 Мт ТЭ с помощью методики численных гидродинамических расчетов с учетом прочностных свойств материала. В отличие от высотного ЯВ, при котором происходит отклонение траектории МКТ, заглубленный взрыв кроме смещения траектории может привести к разрушению астероида. Возможно, такое воздействие может оказаться менее эффективным и менее безопасным способом защиты Земли от космической опасности, но не исключено возникновение ситуации, когда из-за недостатка ресурса времени придется проводить отклоняющее и одновременно разрушающее воздействие на МКТ. Цель работы – получение информации о реальных возможностях заглубленного ЯВ по противодействию опасным космическим телам.

Ключевые слова: астероид, заглубленный ядерный взрыв, отклоняющий импульс, разрушение космического тела.

Введение

В статье рассматривается воздействие на астероид типа «Апофис», представляющий наибольшую опасность для Земли [1] на ближайшие два десятилетия, заглубленного взрыва ядерного заряда (ЯЗ) с энерговыделением 3,5 Мт ТЭ. По оценкам ведущих специалистов по ядерной и ракетно-космической технике единственным надежным средством, с помощью которого мы можем оказать силовое воздействие на малое космическое тело (МКТ) размером до 0,5–1 км, является ядерный взрыв (ЯВ) [2].

Параметры астероида брались из «Википедии» (<http://ru.wikipedia.org>, 2010). Форма – в виде шара радиусом $R = 170$ м, массой ≈ 50 млн. тонн, плотностью ≈ 3 г/см³, что свидетельствует о его каменной структуре силикатного происхождения. В расчете рассматривался кремнезем, вещество наиболее близкое к геологическому составу астероида. Заглубление ЯЗ составляло около двух метров от поверхности космического тела, что на практике легко реализуемо.

Необходимо отметить, что много лет в различных лабораториях мира проводится большое

количество экспериментов, моделирующих на мишенях малых размеров и с различными средствами нагружения (ударники, взрывчатые вещества, лазерные излучения и т. д.) воздействие на космические тела ЯЗ. К сожалению, из-за масштабных эффектов, а также несоответствия средств нагружения характеристикам ЯЗ, прогнозы, вытекающие из модельных экспериментов, могут оказаться не совсем адекватными (правомерными). В связи с этим предпринята попытка на доступном уровне математических технологий произвести по методике, предназначенной для расчета задач механики сплошных сред на нерегулярных многоугольных лагранжевых сетках с произвольным количеством связей в узлах [3], расчет динамических процессов, сопровождающих заглубленный ЯВ в астероиде типа «Апофис». При этом учитывалась откольная прочность кремнезема $P_{отк} = -0,3$ ГПа. Начальная энергия, выделившаяся из ЯЗ во время взрыва, распределена равномерно в шаре радиусом 20 см на глубине 2 м. Как следствие, происходит формирование динамических процессов, которые с течением времени распространяются вглубь МКТ и оказывают разрушительное действие на его внешние слои в области взрыва.

На рис. 1 приведено распределение давления в системе (в дальнейшем под системой будем понимать разрушающийся астероид), полученное на момент времени 1,9 мкс, когда ударная волна (УВ) вышла на поверхность астероида.

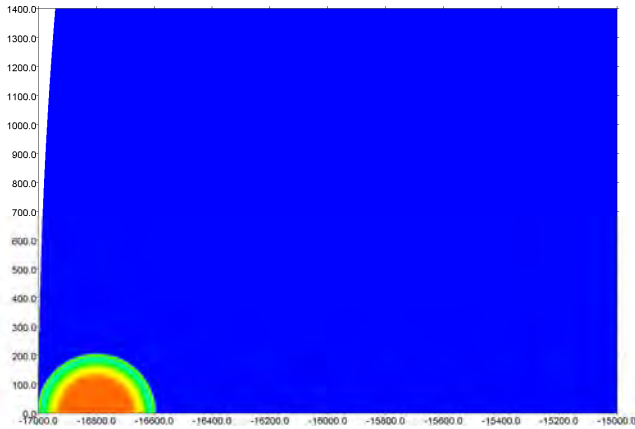


Рис. 1. Распределение давления во фрагменте системы на момент выхода УВ на границу тела

На рис. 2, 3 представлены распределения давлений (ГПа), плотности ($\text{г}/\text{см}^3$) и энергии на единицу массы (кДж/г) на момент времени $5 \cdot 10^2$ мкс в системе после срабатывания заглуженного заряда.

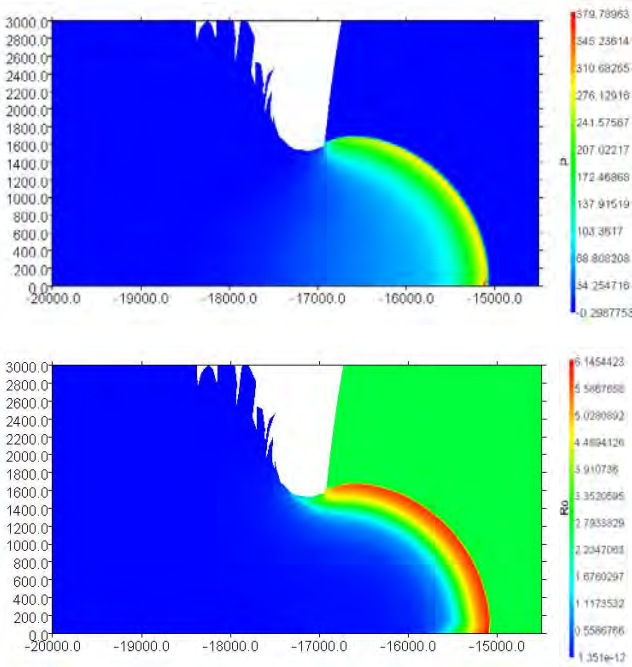


Рис. 2. Распределение давления (вверху) и плотности (внизу) во фрагменте системы на момент времени 500 мкс

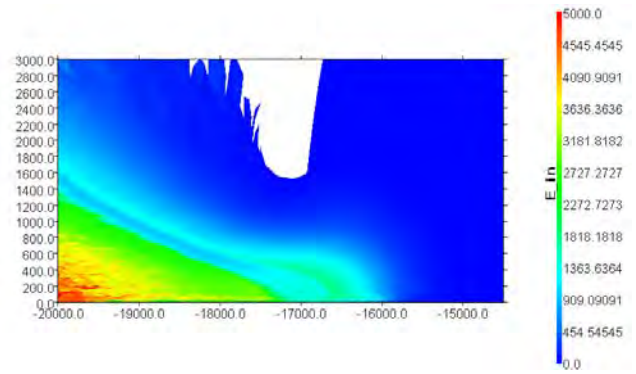


Рис. 3. Распределение энергии на единицу массы во фрагменте системы на момент времени 500 мкс

Давление на фронте УВ, продвинувшейся от поверхности на 20 м вглубь, меняется в пределах 200–380 ГПа, вследствие чего происходит поджатие вещества астероида до $6 \text{ г}/\text{см}^3$ и выше. На рис. 3, где показано распределение энергии на единицу массы, в выбросе видна область, где она достигает $5 \cdot 10^3$ кДж/г и постепенно спадает до $2,7 \cdot 10^3$ кДж/г в направлении образующейся каверны.

Параметры динамических процессов, сопровождающих заглуженный ЯВ на момент времени $3 \cdot 10^3$ мкс, приводятся на рис. 4, 5.

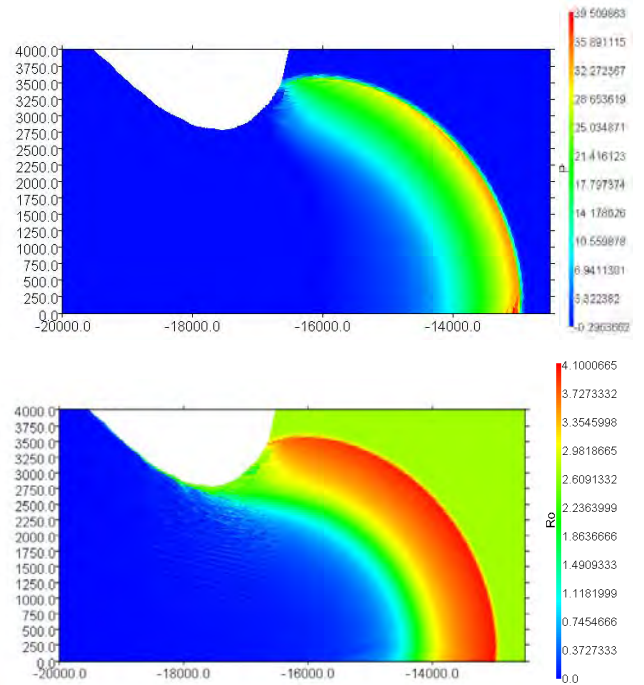
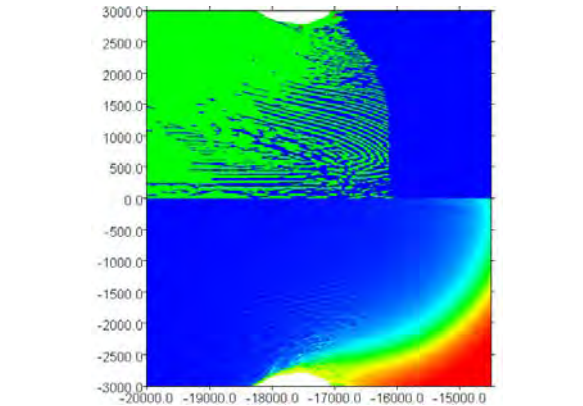


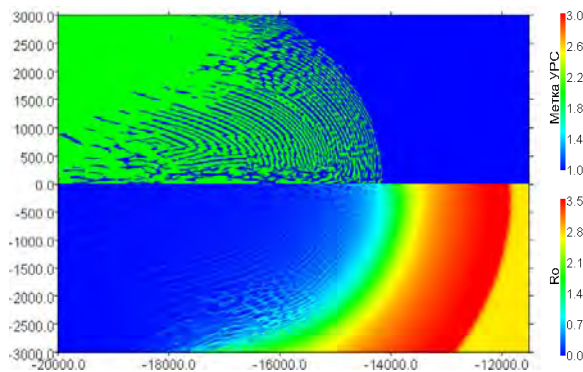
Рис. 4. Распределение давления (вверху) и плотности (внизу) во фрагменте системы на момент времени $3 \cdot 10^3$ мкс

Сравнение распределений давления, плотности и энергии на единицу массы для времен $5 \cdot 10^2$ и $3 \cdot 10^3$ мкс показывает, что на указанном временном промежутке величины давления и энергии на единицу массы уменьшились на порядок. Плотность на фронте УВ изменилась с 6 до 4 г/см^3 , т. е. наблюдается заметный спад ее интенсивности.

Процесс формирования каверны хорошо иллюстрируется рис. 6, 7.



а



б

Рис. 6. Распределение индикации состояния материала (вверху) и плотности (внизу) во фрагменте системы на моменты времени $3 \cdot 10^3$ (а) и $5 \cdot 10^3$ мкс (б)

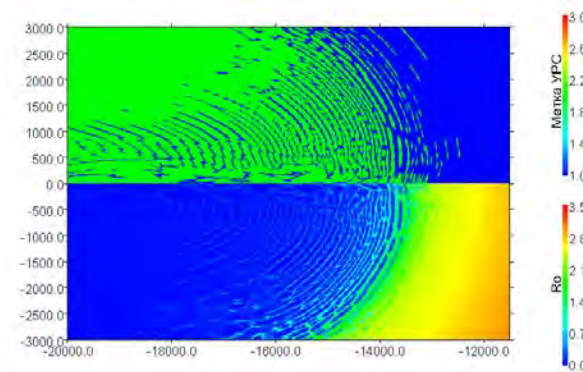
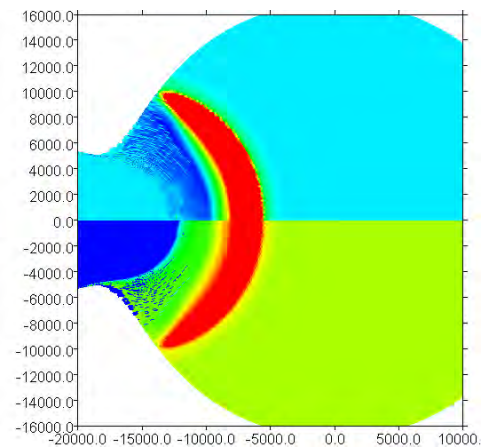


Рис. 7. Распределение индикации состояния материала (вверху) и плотности (внизу) во фрагменте системы на момент времени 10^4 мкс

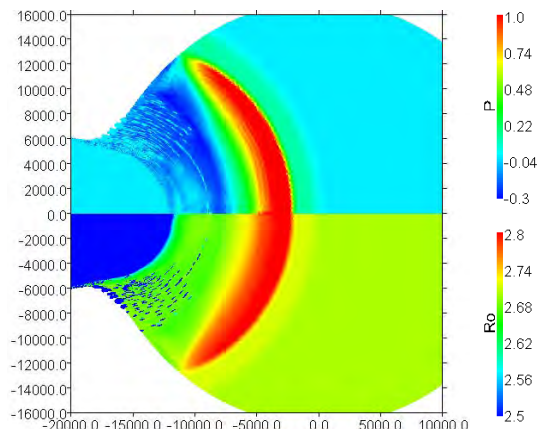
В верхней части указанных рисунков (шкала «Метка_УРС») зеленым цветом обозначено разрушенное вещество, синим – неразрушенное.

На момент $3 \cdot 10^3$ мкс глубина разрушенного вещества, представляющего собой смесь монолитных слоев и мелкодисперсных фрагментов, достигает 10 м. Наблюдается его выброс на расстояние более 30 м. Начинает образовываться каверна. С течением времени процесс разрушения вещества продолжается: каверна углубляется, продолжается разлет образовавшихся слоев, а процесс образования новых, отколовшихся от астероида замедляется.

В то время как отколовшаяся масса уносится от космического тела, вглубь его движется сформировавшаяся УВ, теряющая свою интенсивность к моменту времени $5 \cdot 10^4$ мкс до 0,5 ГПа. На рис. 8, 9 приведены распределения давлений и плотностей во фрагменте системы в одном и том же масштабе на последовательные моменты времени: $2 \cdot 10^4$; $3 \cdot 10^4$; $4 \cdot 10^4$; $5 \cdot 10^4$ мкс соответственно.



а



б

Рис. 8. Распределение полей давления (вверху) и плотности (внизу) во фрагменте системы на моменты времени $2 \cdot 10^4$ (а) и $3 \cdot 10^4$ мкс (б)

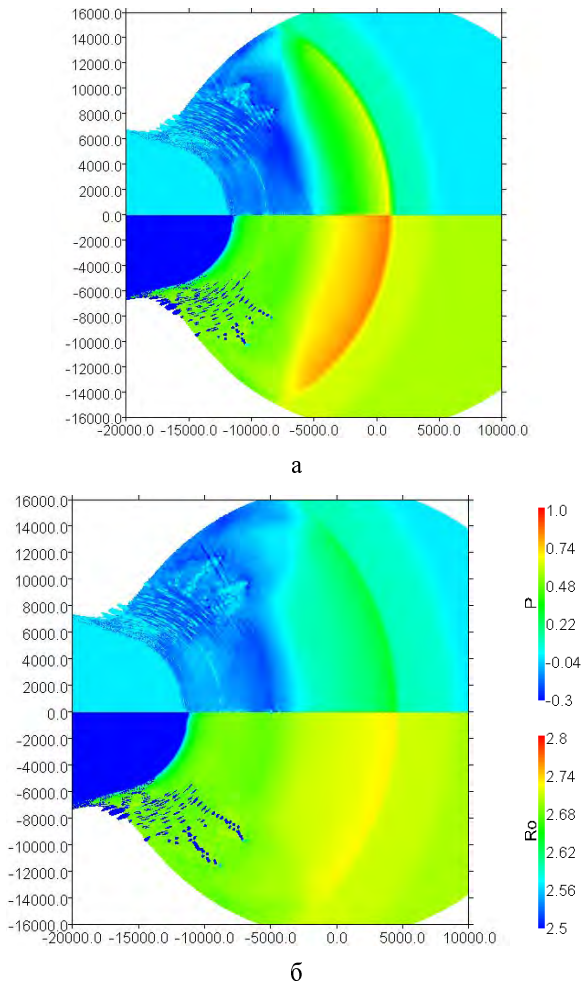


Рис. 9. Распределение полей давления (вверху) и плотности (внизу) во фрагменте системы на моменты времени $4 \cdot 10^4$ (а) и $5 \cdot 10^4$ мкс (б)

Хорошо видна динамика движения УВ, спад ее интенсивности. К моменту $5 \cdot 10^4$ мкс УВ прошла за центр рассматриваемого астероида на 50 м. На рис. 10 показана индикация состояния вещества пораженного МКТ.

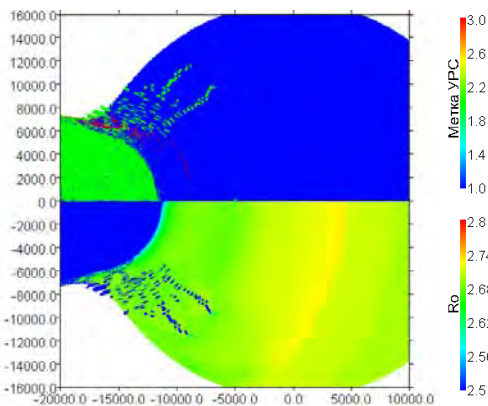


Рис. 10. Распределение индикации состояния материала (вверху) и плотности (внизу) во фрагменте системы на момент времени $5 \cdot 10^4$ мкс

Зеленым цветом обозначено разрушенное вещество, синим – неразрушенное, а красным цветом – скомпактированное после разрушения вещество. На этом же рисунке дано распределение плотностей и состояние космического тела. Сформировавшаяся каверна достигает глубины 60 м, а радиус ее верхней кромки 65 м, при этом трещиноватость распространилась вглубь до 110 м от поверхности. Не исключено, что при дальнейшем движении астероида произойдет его разрушение практически наполовину. В расчете от основной массы астероида откалываются слои как разрушенного, так и неразрушенного вещества. Характерно, что в каверне отколовшиеся куски (как разрушенные, так и неразрушенные) имеют плотность менее $2,5 \text{ г/см}^3$. Это стало критерием для нахождения отколовшейся массы вещества.

Величина массы оставшегося в космическом теле после завершения выброса вещества была найдена как разница общей массы и отколовшейся и составила $M_{\text{ост}} \approx 5,48 \cdot 10^{13} \text{ г}$. На рис. 11 представлена зависимость от времени импульса вещества, откалывающегося от астероида при ядерном взрыве. Итоговое его значение $P_{\text{имп}} \approx 2,82 \cdot 10^{11} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$.

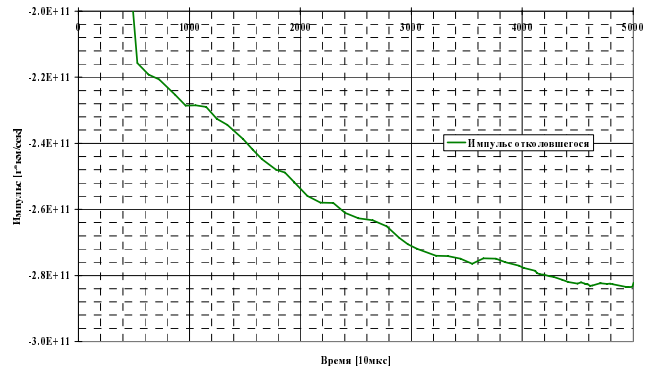


Рис. 11. Зависимости от времени величины импульса вещества, имеющего плотность менее $2,5 \text{ г/см}^3$

Аналогичен импульс и остатка МКТ. Отсюда легко определяется его скорость смещения. Она составляет $\approx 5 \text{ м/с}$.

Обсуждение результатов

В работе, результаты которой представлены в этой статье, изучаются последствия воздействия заглабленного ЯВ на астероид типа «Апофис», представляющий определенную опасность для нашей планеты. С помощью математической методики, предназначенной для решения задач механики сплошных сред, рассчитывались динамические процессы, сопровождающие заглаб-

ленный ЯВ с энерговыделением 3,5 Мт ТЭ. Согласно им космическое тело кроме смещающего воздействия будет претерпевать заметное разрушение. Так, скорость смещения достигает ≈ 5 м/с, а выброс грунта составит 740 тыс. тонн. Размер каверны конической формы будет иметь глубину 60 м, а радиус ее верхней кромки порядка 65 м. Зона трещиноватости охватывает часть астероида глубиной 110 м от поверхности, т. е. не исключено, что МКТ распадется примерно наполовину. Безусловно, такое разрушение не является благоприятным. Хотя возможна реализация такой ситуации, когда из-за недостатка ресурса времени придется производить отклоняющее и одновременно разрушающее воздействие. В дальнейшем необходимо согласно габаритам, массе и геолого-минералогическому составу МКТ рассмотреть подбор оптимальных вариантов энерговыделения ядерных зарядов.

Таким образом, вопросы тактики воздействия на опасные космические тела должны скрупулезно изучаться. И это компетенция многих организаций, имеющих отношение к затронутой проблеме.

Список литературы

1. Шаненко А. К. О возможности предотвращения столкновения астероида «Апофис» с Землей с помощью ядерных взрывов // ВАНТ Сер. Теоретическая и прикладная физика. 2014. Вып. 2, С. 12–19.
2. Александров П. А., Горев В. В. Космическая защита Земли: первые эксперименты. Ереван: ИППФ НАНРА, 2014.
3. Соколов С. С., Воропинов А. А., Новиков И. Г., Панов А. И., Соболев И. В., Пушкарев А. А. Методика ТИМ-2D для расчета задач механики сплошной среды на нерегулярных многоугольных сетках с произвольным количеством связей в узлах // ВАНТ Сер. Математическое моделирование физических процессов. 2006. Вып. 4. С. 29–44.

Статья поступила в редакцию 17.05.2016