

Ликвидация угрозы столкновения астероида Апофис с Землей ядерным взрывом

А. К. ШАНЕНКО, И. П. ПОПОВИДЧЕНКО

В 2004 г. обсерваторией Кит Пик в Аризоне (США) был обнаружен астероид Апофис (диаметром ~ 320 м и массой 50 млн. тонн). Имя этого астероида говорит само за себя – так звали древнеегипетского бога мрака и разрушения. Серии наблюдений позволили определить предварительную орбиту астероида. Вычисления показали, что он пройдет в критической близости от Земли в апреле 2029 г. Его второе сближение с Землей произойдет в 2036 г. При этом вероятность столкновения будет очень высока в случае, если при первом сближении в 2029 г. астероид окажется точно на расстоянии в 30404,5 км от нашей планеты, то есть в гравитационной «ловушке» размером в 700–1500 м, сравнимой с размером самого астероида. Наблюдения за астероидом позволят задолго до его первого сближения с Землей надежно оценить вероятность его попадания в «ловушку», и, по возможности, упреждающим воздействием предотвратить это попадание за десяток лет до подлета к ней.

Существует множество средств противодействия астероидно-кометной опасности, анализом которых научный мир занимается более десяти лет. По типу воздействия они подразделяются на отклоняющие астероид от траектории столкновения и разрушающие астероид. Согласно сборнику Ю. Д. Медведева, М. Л. Свешникова, А. Г. Сокольского и др. «Астероидно-кометная опасность» (С.-Петербург, изд. ИТА РАН, 1996 г.) средства воздействия могут быть как ядерные (высотный, поверхностный, глубинный ядерные взрывы), так и неядерные (солнечный парус, фокусирующее зеркало, лобовой удар болванкой массой в 1 тонну для изменения скорости астероида и т. п.). Предотвращению астероидной опасности была посвящена Международная конференция «Пробле-

мы защиты Земли от столкновения с опасными космическими объектами» (SPE-94), состоявшаяся 26–30 сентября 1994 г. в РФЯЦ-ВНИИТФ (Снежинск, Челябинск-70). Большое внимание на конференции уделялось наиболее реальному в инженерном плане способу предотвращения столкновений с астероидами воздействием на них ядерными взрывами. Этому же вопросу были посвящены статьи В. Г. Заградова, А. К. Шаненко «Использование ядерных взрывов для перехвата опасных космических объектов» (Атомная энергия. 1996. Т. 80. Вып. 4), В. Г. Заградова, А. К. Шаненко, В. А. Рыжанского «Применение ядерных взрывов для воздействия на малые космические тела в случае опасности столкновения с Землей» (Физика горения и взрыва. 2009. Т. 5. С. 134–139).

Согласно им для этой цели предпочтительны, в основном, два пути: сообщить астероиду, обнаруженному на достаточном удалении от Земли, импульс, способный отклонить его траекторию на безопасное расстояние от Земли; разрушить астероид мощным взрывом на части, достаточно мелкие, чтобы встреча их с Землей не привела к катастрофе.

Общим для обоих путей является необходимость применения ядерных зарядов и ракетно-космических систем для доставки их к цели, а также эффективных средств космического мониторинга. Земляне обладают всеми этими



Примерно так будет выглядеть падение астероида Апофис на Землю

средствами в полной мере.

Оценим энерговыделение ядерного взрыва, необходимое для предотвращения опасного столкновения астероида Апофис с Землей путем отклонения его траектории на безопасное расстояние от Земли или разрушения и рассредоточения осколков.

Рассмотрим следующую модель перехвата. Астероид и Земля движутся по своим кеплеровским орбитам. Средняя плотность породы астероида Апофис составляет $2,9 \text{ т/м}^3$. Такая оценка, безусловно, недостаточно точна. Но за неимением другой информации будем считать, что астероид каменистого происхождения. Хотя внутреннее строение астероида может быть весьма отлично от однородности, и он может представлять собой слабо связанный конгломерат, возникший в результате предыдущей столкновительной истории данного тела. Для определенности принимается, что ядерный взрыв является контактным, сведения об его воздействии взяты из монографии Glasston S., Dolan P. «The effects of nuclear weapons» (U.S. Government Printing Office, 1977, v.1, p. 253–257). При необходимости эти данные позволяют распространить полученные результаты на случаи заглубленного взрыва или взрыва около астероида. Вектор корректирующего импульса при взрыве проходит через центр масс астероида, воздействие не приводит к его закрутке.

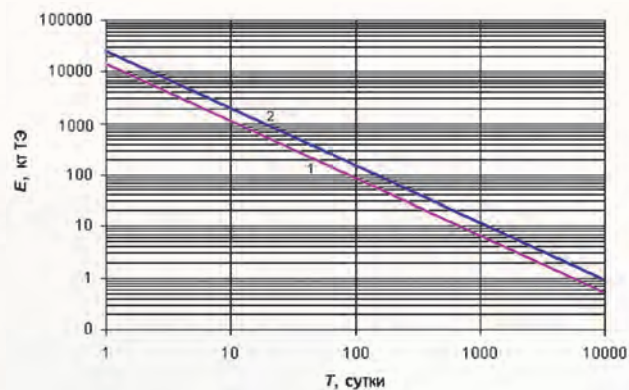
Предотвращение столкновения астероида с Землей можно представить в двух вариантах: 1) орбита астероида известна, встреча с ним прогнозируется заранее, и есть возможность заблаговременно предпринять действия по его перехвату; 2) астероид обнаруживается неожиданно на небольшом расстоянии от Земли, и меры по его перехвату приходится принимать в условиях ограниченного ресурса времени. В ситуации с астероидом Апофис реализуется первый вариант. Ниже приводятся результаты оценок необходимого энерговыделения ядерного взрыва для отклонения его траектории на расстояние 3–5 радиусов Земли от точки падения на нашу планету.

В работах В. Г. Заграфова, А. К. Шаненко было показано, что для отклонения траектории астероида массой M на расстояние L от точки падения с помощью взрыва на его поверхности под углом θ к направлению Земли ему необходимо сообщить дополнительную скорость $V_{\text{взр}} = L/T \sin \theta$, где T – время до падения. При этом энерговыделение, сообщающее космическому телу такую скорость, определяется как

$$E_{\perp} = 1,85 \cdot 10^{-7} \left(\frac{ML}{T\sqrt{\rho}} \right)^{1/0,9} \quad [\text{кт}] .$$

Величины в уравнении выражены в единицах метр–тонна–секунда (1 кт ТЭ = $4,2 \cdot 10^{12}$ Дж), ρ – плотность астероида.

На рисунке показана определяемая формулой зависимость необходимого энерговыделения ядерного взрыва E_{\perp} от времени до ожидаемого падения T в случае отклонения центра масс астероида Апофис от точки падения на Землю на три радиуса Земли (1) и на пять радиусов (2). Из рисунка видно, что при семилетнем резерве времени (2555 суток) энергозатраты исчисляются 2,4–4,2 кт ТЭ.



Не исключено, что под действием ядерного взрыва космическое тело может разрушиться. Существует целый ряд подходов по оценке энерговыделения поверхностного ядерного взрыва, приводящего к фрагментации астероида. Это концепции, базирующиеся на балансе между поверхностной и кинетической энергиями при расширении тела после динамического нагружения.

Представляет интерес обзорная статья Eileen V. Ryan «Asteroid fragmentation and evolution of asteroids» (Annual Reviews Earth Planet. Sci. 2000. 28:367-89), где приводятся результаты исследований по определению уровня удельной энергии (джоулей на килограмм массы космического тела), приводящей к его разрушению. В случае с Апофис это значение лежит в пределах от 40 до 100 Дж/кг.

В книге Ю. Д. Медведева, М. Л. Свешникова, А. Г. Сокольского и др. «Астероидно-кометная опасность» (С.-Петербург, изд. ИТА РАН, 1996 г.) энергия разрушения астероида поверхностным ядерным взрывом определяется соотношением

$$E_{\text{раз.}} = 0,69 \cdot 10^{-12} D^{3,33} \rho^{1,11},$$

где $E_{\text{раз}}$ – энергия разрушения (кт), D – диаметр космического тела (см), ρ – плотность космического тела (г/см^3). Таким образом, оценки разрушающего энергосвечения по данным указанных источников составляют: 4; 30; 250 кт. На наш взгляд наиболее приемлемой является $E_{\text{раз}} \approx 30$ кт. И все-таки такой разброс в значениях разрушающих энергосвечений свидетельствует о недостаточности и нескоординированности усилий, проводимых в этом направлении. Для получения однозначных результатов необходимо проведение экспериментальных, теоретических и расчетных исследований совместными усилиями различных стран.

Безусловно, процесса фрагментации космических тел при перехвате в одних случаях (внезапное появление) необходимо избегать с целью уменьшения возможного ущерба от разлетающихся осколков. В случае с астероидом Апофис при первом прохождении в критической близости от Земли в 2029 г. и возможного его попадания в гравитационную «ловушку» необходимо будет нанесение упреждающего воздействия ядерным взрывом по удаляющемуся космическому телу с целью изменения его траектории. Это предотвратит его попадание в 2036 г. в нашу планету. При этом из-за наличия большого ресурса времени процесс фрагментации благоприятен, так как приведет к разрушению Апофиса на значительное число осколков, имеющих кроме маршевой скорости еще и поперечную. Таким образом, ко времени подлета к нашей планете в 2036 г. Апофис из монолитного тела, как показали оценки, превратится в осколочное пятно по размеру значительно превышающее размер поперечного сечения Земли и наша планета пройдет через скопление осколков практически без ущерба. Если же в атмосферу Земли и попадет какое-то количество осколков, то из-за воздействия на них аэродинамического сопротивления продолжится их дробление и, как следствие, сгорание.

В свете сказанного необходимо отметить, что для выбора тактики перехвата опасных космических объектов земляне должны располагать точной информацией как по поражающему воздействию ядерного оружия, так и по параме-



трам объектов (траектория и физические характеристики) и своевременному их обнаружению, что в настоящее время проблематично.

Подтверждением ограниченности возможностей землян является факт открытия испанскими астрономами (обсерватория Astronomico de La Sagra) 23 февраля 2012 г. астероида 2012 DA14, диаметр которого около 60 метров. Его уникальная орбита, повторяющая траекторию движения Земли, позволила ученым РАН назвать объект «условным спутником Земли». По словам сотрудника Пулковской обсерватории Виктора Львова, 15 февраля 2013 г. астероид пролетел на очень близком расстоянии – 26900 км – от Земли, т. е. ниже орбит геостационарных спутников. Была ненулевая вероятность столкновения с Землей. Хотя, по мнению сотрудника Института астрономии РАН Сергея Нароенкова, риск этого события пока не вычислен.

Через 2–3 года под действием возмущения Земли астероид может изменить свою орбиту. В лучшем случае, тело улетит в космос. При худшем варианте развития событий астероид 2012 DA14 столкнется с Землей. Если это произойдет, площадь поражения будет сопоставима с территорией Москвы в пределах МКАД.

ШАНЕНКО Аркадий Константинович –
ведущий научный сотрудник ИТМФ
РФЯЦ-ВНИИЭФ

ПОПОВИДЧЕНКО Елена Петровна –
научный сотрудник ИТМФ РФЯЦ-ВНИИЭФ