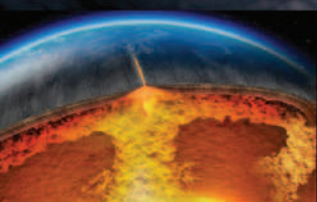




№ 2 (81), 2013
ФЕВРАЛЬ

НАУКА@ ТЕХНИКА

Science & Technology



ЙЕЛЛОУСТОНСКИЙ
СУПЕРВУКАН



КЛОП
В ПОСТЕЛИ



ДОРОЖНАЯ ВОЙНА
ПАРТИЗАН



БРОНЕНОСЦЫ
ГЕРМАНИИ



ИТАЛО-ТУРЕЦКАЯ
ВОЙНА



БУКСИР ДЛЯ АСТЕРОИДА

Рассел Швейкарт (Russell L. Schweikart), Эдвард Лю (Edward T. Lu), Питер Хам (Piet Hut) и Кларк Чепман (Clark R. Chapman)

БУКСИР ДЛЯ АСТЕРОИДОВ

Каждую ночь в атмосферу Земли влетает более 100 млн. твердых межпланетных частиц — обломков астероидов и комет. К счастью, они мелкие: суммарная масса 100 млн. частиц не превышает нескольких тонн. Атмосфера нашей планеты достаточно плотная, чтобы обратить в пар подавляющее большинство космических пришельцев. Они не приносят вреда, лишь оставляют за собой яркие следы. Люди называют их падающими звездами.

Однако более крупные тела не испаряются, а взрываются. Так, в январе 2000 г. над канадской территорией Юкон разлетелась на куски глыба поперечником два-три метра. Мощность ее взрыва составляла 4...5 кТ тротилового эквивалента. Такое происходит примерно раз в год. В июне 1908 г. в районе реки Тунгуски наблюдалось падение огромного огненного шара, сопровождавшееся колоссальным взрывом, который повалил лес на площади больше 2000 кв. км. Сегодня ученые склоняются к мнению, что это был каменный астероид диаметром 60 м, разлетевшийся на куски на высоте примерно 6 км с энергией порядка 10 Мт тротилового эквивалента. Взрывная волна опустошила территорию, равную по площади Нью-Йорку.

Результаты последних наблюдений околоземных тел — астероидов и комет, траектории которых пересекаются с орбитой Земли, — предсказывают 10-процентную вероятность развития подобного события в нынешнем веке. Астероиды диаметром в сотни метров и больше таят в себе еще более серьезную угрозу, поскольку они способны столкнуться с Землей. Такой удар, вероятность которого оценивается в 2% на срок до 2100 г., вызовет взрыв энергией не

меньше 100 Мт тротилового эквивалента. Если астероид подобного размера упадет в океан (куда попадает 70% всех внеземных объектов), он создаст цунами, способную погубить миллионы людей. События такого рода происходят раз в 40 тысяч лет. Астероид же поперечником больше километра вызовет при соприкосновении с Землей взрыв с энергией в 100 тыс. Мт тротилового эквивалента, что превышает суммарную энергию ядерного оружия, существующего на Земле. Удары таких и более крупных тел способны уничтожить земную цивилизацию, а вероятность того, что подобное произойдет в нашем столетии, оценивается в 0,0002.

Как предотвратить катастрофу? Ученые и инженеры предложили ряд проектов, позволяющих изменить траектории астероидов, направляющихся к Земле. Некоторые склоняются к подрыву ядерного устройства на поверхности астероида или вблизи него для того, чтобы расколоть его или изменить траекторию. Однако последствия этого предсказать трудно. Вот уже несколько лет мы исследуем концепцию беспилотного космического буксира, который должен встретиться с приближающимся астероидом, закрепиться на его поверхности и вывести на безопасную для Земли орбиту. (Кометы не рассматриваются, поскольку на них приходится лишь 1% общей угрозы для нашей планеты.) Чтобы толкать астероид, космический буксир должен использовать работающие на ядерной энергии двигатели, выбрасывающие потоки плазмы — высокотемпературной смеси ионов и электронов. Надеемся, что к 2015 г. нам удастся запустить прототип.

Зачем, казалось бы, разрабатывать такой космический аппарат сегодня, когда астрономы еще не обнаружили астероиды, грозящие столкновением с Землей? Известно, что систему необходимо испытать до того, как она срочно понадобится. Астероиды, представляющие опасность, полностью не изучены: мы ничего не знаем об их внутреннем строении, свойствах поверхности и структурной целостности, не можем предсказать того, что произойдет, когда космический буксир начнет толкать астероид. Лучший способ предотвратить катастрофу — прикрепить космический аппарат к астероиду и затем попытаться его двигать. В результате мы сможем изучить природу астероидов.

В рамках проекта «Прометей» NASA уже разрабатывает ядерные реакторы, которые смогли бы обеспечивать энергией двигатели межпланетного аппарата. Агенство намеревается оборудовать подобными системами космический аппарат JIMO (Jupiter Icy Moon Orbiter), который запустят для исследования спутников Юпитера — Ганимеда, Калипсо и Европы — в следующем десятилетии. Такую же технологию можно будет использовать для осуществления проекта глобальной безопасности.

ПРЕДПОЛАГАЕМЫЕ МЕТОДЫ ИЗМЕНЕНИЯ ОРБИТЫ АСТЕРОИДА

ЯДЕРНЫЙ ВЗРЫВ

Предлагались две схемы ядерного взрыва. В первом случае астероид разлетится на мелкие осколки. Во втором варианте взрыв произойдет на некотором удалении от астероида, чтобы распалить одну из его сторон и вызвать испарение горных пород, которое создаст толчок, способный придать астероиду ускорение, направленное в противоположную сторону. Преимущество рассмотренных подходов состоит в том, что технологии, необходимые для их осуществления, отработаны. Теоретически мощный ядерный взрыв может отклонить орбиту крупного астероида даже тогда, когда до его столкновения с Землей остается всего несколько месяцев. Беда в том, что результат такого воздействия непредсказуем. Взрыв может разбить астероид на несколько крупных кусков и тем осложнить проблему, так и не решив ее.

КИНЕТИЧЕСКИЙ УДАР

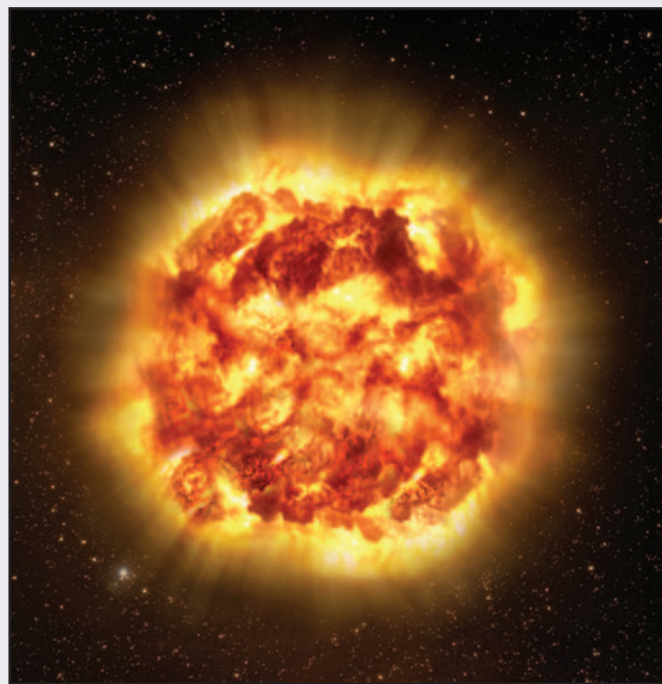
План использования кинетического удара состоит в том, чтобы запустить к астероиду самый массивный из имеющихся космических аппаратов, который врежется в опасный астероид с максимальной скоростью. Для того чтобы вызвать достаточно ощутимое отклонение крупного астероида, необходимы огромные скорости. Поэтому основная трудность заключается в том, что космический аппарат надо направить таким образом, чтобы основная часть энергии соударения пошла на изменение вектора скорости астероида, а не на изменение скорости его вращения. Как при ядерном взрыве, риск раздробления астероида сохраняется.

КАТАПУЛЬТА

Катапульта — сооружение, построенное на поверхности астероида и стреляющее в космос каменными глыбами, в результате чего космическому телу сообщается ускорение в противоположном направлении. Выброс массы вызовет изменение скорости движения астероида, достаточное для того, чтобы предотвратить его столкновение с Землей. Преимущество подхода состоит в том, что доставка ракетного топлива с Земли не нужна. Однако процесс метания глыб также потребует большой энергии. Кроме того, конструирование катапульты и сборка ее на астероиде при помощи роботов — чрезвычайно трудная задача.

АБЛЯЦИЯ

Абляционный метод основан на разогреве небольшого участка астероида с помощью мощного лазера, или благодаря солнечному свету, отраженному от огромного космического зеркала. Испарения



Ядерный взрыв может раздробить астероид вместо того, чтобы изменить его орбиту

будут толкать объект в нужном направлении. Вращение астероида не создает трудностей для осуществления задачи. Однако необходимо обеспечить заданное положение лазера или зеркала относительно астероида в течение длительного времени, для чего потребуется значительное количество топлива. Кроме того, испаряемый материал астероида может осаждаться на оптические элементы системы (лазера или зеркала), ухудшая их характеристики.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

Космический аппарат должен покрыть поверхность астероида краской с высокой отражающей способностью, чтобы изменить силу давления солнечного излучения на астероид и тем самым постепенно изменить его орбиту. Однако этот метод неосуществим, так как потребуется несметное количество краски, а нанести ее на поверхность астероида будет чрезвычайно трудно.

ПОСАДКА НА АСТЕРОИД И ТОЛКАНИЕ ЕГО

Идея космического буксира очень проста. Система реактивной тяги, необходимая для доставки буксира к астероиду, будет использоваться и для изменения траектории астероида. Главное преимущество подхода — он обеспечивает полный контроль. Основные трудности представляют маневрирование космического аппарата вблизи астероида и закрепление его на поверхности последнего.

ПРОЕКТ B612

Чтобы иметь запас времени и успеть принять меры, астрономы должны обнаружить опасный объект не меньше чем за 10 лет до ожидаемой катастрофы. Самый эффективный способ предотвратить столкновение астероида с Землей — либо увеличить его орбитальную скорость, толкая его в направлении движения по орбите, либо уменьшить ее, вынуждая астероид перемещаться в противоположную сторону. Изменение его скорости ведет к изменению периода его обращения по орбите вокруг Солнца. Поскольку Земля движется со средней скоростью 29,8 км/с, а ее диаметр равен 12 800 км, на половину своего диаметра она смещается за 215 с. Если астероид столкнется с Землей лоб в лоб, задача состоит в том, чтобы заставить гигант прибыть к месту встречи на 215 с раньше или позже Земли и пролететь мимо, не задев ее.

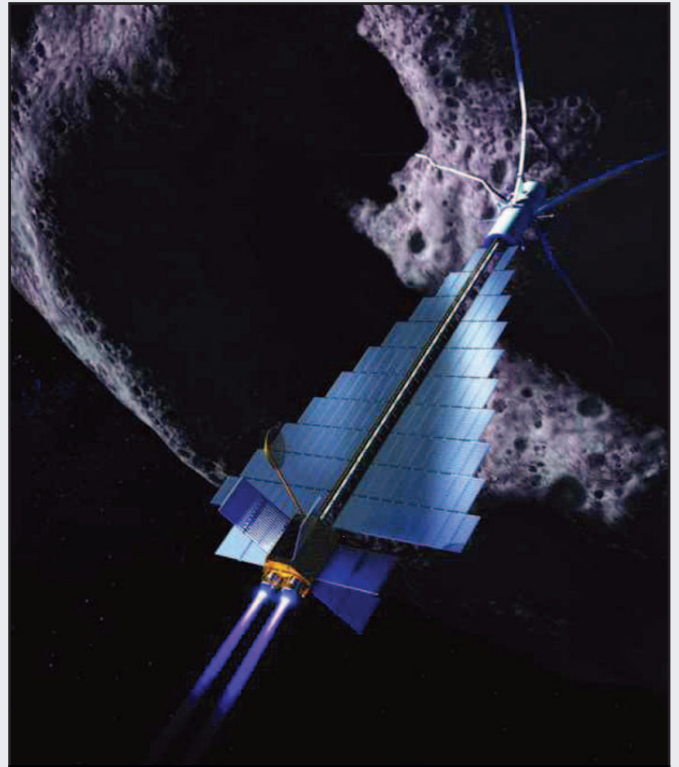
За 10 лет до ожидаемого столкновения астероида с Землей буксир изменит его орбитальную скорость всего на 1 см/с, немного растянет орбиту и удлинит период его обращения вокруг Солнца. Если, например, период составляет два года, изменение орбитальной скорости на 1 см/с увеличит его на 45 с. В результате этого через 10 лет астероид придет к месту встречи с Землей с опозданием на 225 с. Этого будет достаточно, чтобы он «промахнулся». Но буксир может и уменьшить орбитальную скорость астероида, чтобы сжать его орбиту и уменьшить период обращения на те же 45 с. Тогда через 10 лет астероид придет к месту встречи на 225 с раньше Земли. Разумеется, если буксир достигнет цели с меньшим запасом времени до момента ожидаемого столкновения с Землей, потребуется подтолкнуть гигант сильнее. Поэтому важно заблаговременно и точно определить орбиты всех околоземных астероидов.

Была разработана программа под названием «Проект В612» (В612 – астероид в книге Антуана де Сент-Экзюпери «Маленький принц»). Мы предложили разработать космический буксир, способный изменить на нужную величину скорость 200-метрового астероида. Двухсотметровый каменный гигант имеет массу около 10 млн. тонн. Космический буксир должен приложить небольшое усилие – около 2,5 Н, чтобы изменить его орбиту, а не расколоть астероид. За три месяца скорость такого астероида изменится на 0,2 см/с. Если обнаружится реальная угроза столкновения Земли с объектом такого размера, то масштаб нашего проекта придется увеличить раз в пять или начинать воздействие не менее чем за 50 лет до ожидаемой катастрофы.

Для космического буксира и доставки его к месту встречи с астероидом потребуется много топлива. Среднее изменение скорости, необходимое для полета от Земли к нему, составляет около 15 км/с – на треть больше, чем необходимо для преодоления земного тяготения. Обычным ракетным двигателям на химическом топливе, в которых оно смешивается с окислителем в камере сгорания, будет трудно разогнать тяжелый космический аппарат. Проект В612 потребует такое количество топлива, что его невозможно будет запустить одной ракетой. Для доставки всех его компонентов на низкую околоземную орбиту понадобятся десятки мощных ракет. Затем аппарат нужно будет собрать на орбите, что увеличит стоимость проекта и задержит полет к астероиду.

Необходимо создать космический аппарат, который можно запустить одной мощной ракетой, такой как «Протон», Ariane 5 или Titan 4. Поскольку его общая масса должна быть меньше 20 т, ему потребуются исключительно эффективные двигатели. Мера эффективности ракетного двигателя – удельный импульс, определяемый как отношение создаваемой тяги к массе топлива, расходуемого за одну секунду; единица измерения удельного импульса – секунда. Наиболее эффективные ракетные двигатели на химическом топливе характеризуются его значением при работе в космосе до 425 с. Но двигатели для космического буксира должны иметь удельный импульс 10 тыс. с – недостижимый для двигателей на химическом топливе, но не являющийся пределом для электрических ракетных, в которых для ускорения ионов, выбрасываемых из сопла, используются электрические или магнитные поля. В таких системах достижимы гораздо более высокие скорости истечения, чем в двигателях на химическом топливе, в которых оно просто сжигается, а расширяющиеся горячие газообразные продукты сгорания истекают из сопла. Ионные ракетные двигатели с удельным импульсом 3000 секунд уже успешно работали в космосе. Перспективный новый VASIMR (Variable Specific Impulse Magnetoplasma Rocket – магнитоплазменный ракетный двигатель с регулируемым удельным импульсом) основан на использовании электромагнитного излучения для ионизации газа и выброса плазмы с еще более высокими скоростями. В нем для направленного выброса расширяющегося потока ионов вместо обычного сопла используются магнитные поля, что позволяет получать удельный импульс от 3 тыс. до 30 тыс. с.

Разумеется, за такие характеристики приходится платить. Хотя плазменные и ионные двигатели гораздо эффективнее химических, их тяга гораздо меньше (потому что высокотемпературный поток плаз-



Космический буксир толкает астероид. Для создания непрерывного давления на него могут быть использованы плазменные двигатели. Система излучающих панелей предназначена для рассеяния тепла, выделяемого ядерным реактором, расположенным в секции, ближайшей к поверхности опасного объекта. Составная «рука» буксира крепится к поверхности космического тела

мы разрежен). Дать удельный импульс в 10 тыс. с способны несколько разрабатываемых сегодня ионных двигателей, но большинство их, за исключением VASIMR, развивает тягу меньше 0,1 Н. Для получения требуемого усилия 2,5 Н понадобится их связка. Но даже при совместном действии им потребуется толкать астероид слишком долго, чтобы изменить орбиту в нужной степени. Правда, возможность длительной работы ионных двигателей уже продемонстрирована: двигатель космического аппарата Deep Space 1, запущенного в октябре 1998 г., проработал в общей сложности 670 суток.

Для обеспечения необходимой тяги плазменному двигателю понадобится его электрическая мощность около 250 кВт (если принять КПД двигателя равным 50%). Такая мощность лежит за пределами возможностей солнечных батарей, применяемых на небольших космических аппаратах. Даже огромные солнечные батареи Международной космической станции после завершения постройки будут вырабатывать меньше половины этой мощности (а их масса составит больше 65 т). Ясно, что такая установка непригодна для космического аппарата, масса которого должна быть меньше 20 т. Сегодня единственной технологией, способной непрерывно обеспечивать нужную мощность в течение нескольких лет при общей массе установки всего в несколько тонн, – расщепление ядерного топлива.

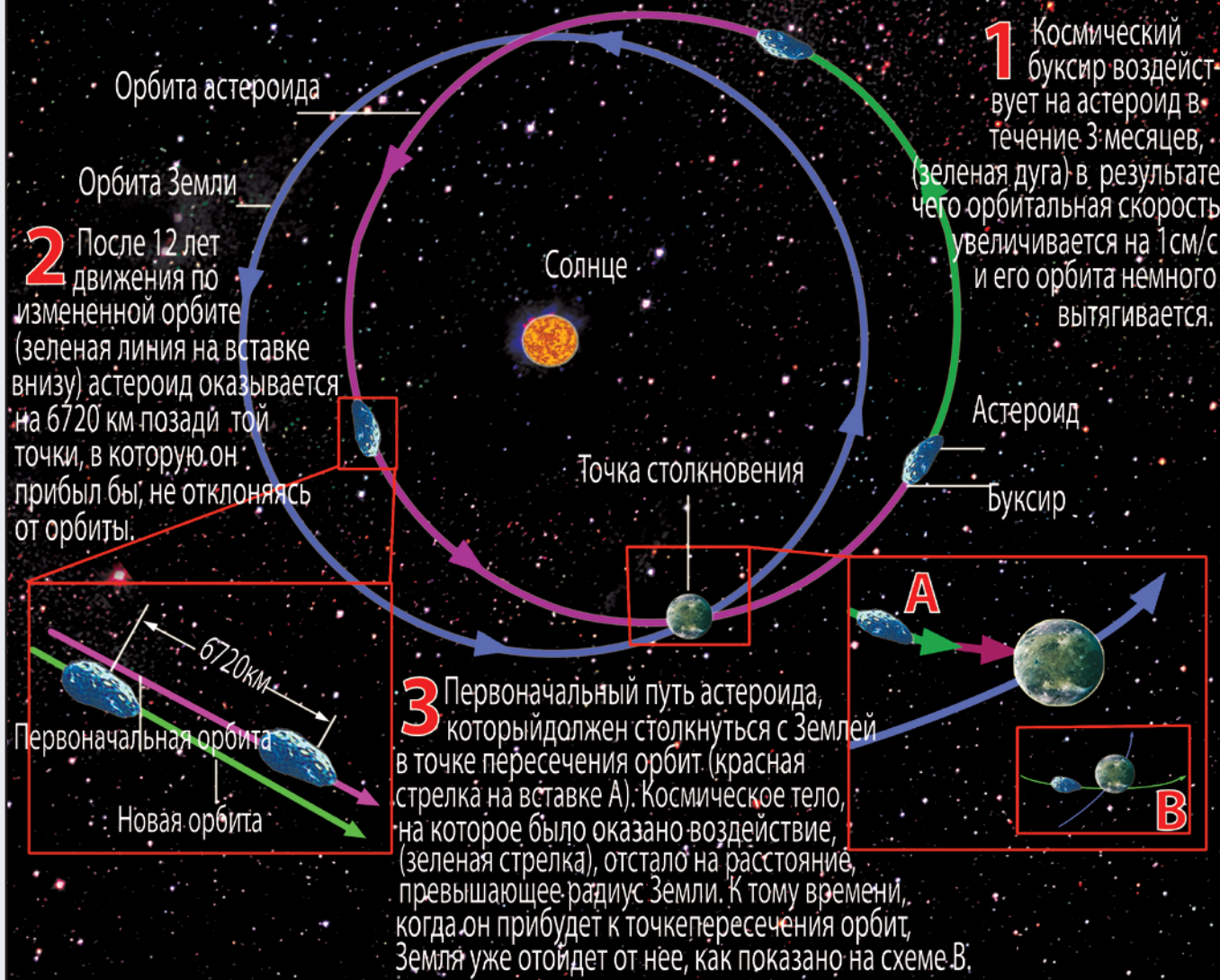
ПРОЧЕСЫВАНИЕ НЕБА

18 марта 2002 г. средства массовой информации всего мира сообщили, что Земля только что избежала гибели, которая могла произойти в результате ее столкновения с астероидом 2002 EM7. Астрономы обнаружили 70-метровую каменную глыбу четыре дня спустя после того, как она пролетела мимо Земли на расстоянии 461 000 км от нее – это примерно в 1,2 раза больше расстояния от

Предотвращение столкновения

Космический буксир может изменить траекторию движения астероида, подталкивая его в нужном направлении. Приведенная схема демонстрирует,

что буксир начал толкать небесное тело за 12 лет до ожидаемого столкновения с Землей и что период обращения астероида по его орбите составляет 1,15 лет.



Земли до Луны. Хотя это событие почти не привлекло внимания, 2002 EM7 — лишь один из сотен тысяч астероидов, которые пролетали вблизи Земли или пересекали ее орбиту. Международная служба по выявлению и отслеживанию опасных космических объектов получила название «Космический дозор». В 1998 г. NASA по настоянию конгресса США предложила выявить 90% из примерно 1 100 околоземных объектов поперечником больше 1 км. За пять лет астрономы открыли 660 таких объектов и свыше 1 800 более мелких. Большинство из этих астероидов были обнаружены, подобно 2002 EM7, когда они уже покидали окрестности Земли. К счастью, любой из тысячи опасных пришельцев из космоса, вероятнее всего, сначала пролетит мимо нашей планеты на расстоянии, в несколько раз превышающем дистанцию от Земли до Луны. Если астрономы обнаружат угрожающий столкновением объект, это произойдет, вероятно, за десятки или даже за сотни лет до ожидаемой катастрофы. Вероятность того, что опасность будет замечена совсем незадолго до всемирной беды, чрезвычайно мала. Каждый раз, когда «Космический дозор» обнаруживает новый околоземный объект, ученые вычисляют его орбиту, прогнозируя, мо-

жет ли он в ближайшие 100 лет столкнуться с Землей. Подавляющее большинство (больше 99%) найденных до сих пор объектов не представляются опасными.

Изредка «Космический дозор» определял околоземные объекты, которые, по расчетам, должны в ближайшие десятилетия пролететь близко от Земли. Поскольку точность расчетов будущей орбиты, как и всех прогнозов, не абсолютна, некоторые из этих объектов могут угрожать столкновением с нашей планетой. Астероид поперечником 200 м не вызовет такого сильного разрушения, на какое способен километровый гигант, но, породив взрыв с энергией порядка 600 Мт тротилового эквивалента, уничтожит целый город. Хотя «Космический дозор» выявил множество астероидов подобных размеров, чтобы обнаружить более мелкие объекты, орбиты которых пересекают земную, потребуются самые мощные телескопы. Ученые выдвинули предложения, способствующие поиску более мелких астероидов — размером порядка 200 м, — но программа пока не принята. В лучшем случае расширенный поиск сможет быть завершен не раньше, чем лет через 15–20.

Ядерный реактор для космического буксира должен быть простым, компактным и безопасным. К счастью, NASA уже предложила несколько новых конструкций реакторов для космических аппаратов, одна из которых уже прошла испытания. Новые реакторы обладают важной особенностью, обеспечивающей безопасность, — применяемое в них ядерное топливо имеет малую радиоактивность, пока реактор не проработает, выдавая энергию, в течение долгого времени. Поскольку реактор будет запускаться «холодным», т.е. в неактивном состоянии, даже катастрофа при старте не нанесет вреда окружающей среде. Если при взрыве в момент запуска ракеты будет расплыено все урановое ядро новейшего космического реактора SAFE 1000, в атмосферу попадет от 6 до 10 кюри — т.е. меньше, чем доля излучения радиоактивных материалов, содержащихся в стенах Большого центрального вокзала Нью-Йорка. Команду запуска реактора наземные службы дадут только тогда, когда он будет находиться уже на безопасном удалении в космосе.

ВРАЩЕНИЕ АСТЕРОИДА

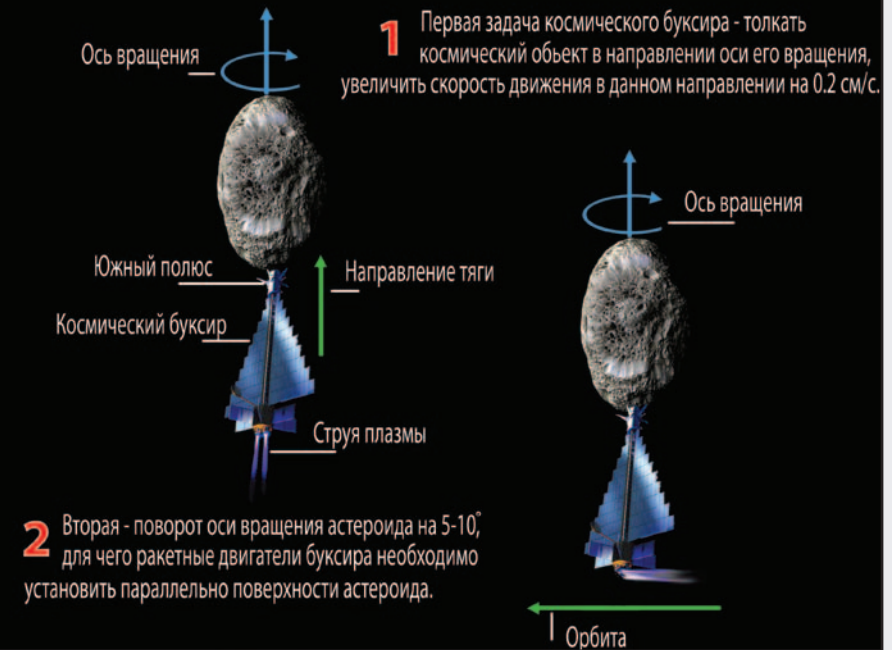
Сложнейшей задачей для миссии B612 будет маневрирование вблизи астероида-цели и посадка на его поверхность. В 2000 г. космический аппарат NEAR/Schoemaker в результате успешного маневра вышел на орбиту вокруг Эроса, второго по величине из известных околоземных астероидов, и сумел совершить незапланированную посадку на поверхность небесного тела длиной 34 км. В 2010 году успешно, хотя и после многочисленных вытарств, завершилась миссия японского космического аппарата Hayabusa, доставившего на Землю пробы грунта с астероида Итокава. Однако космический буксир будет гораздо крупнее обоих аппаратов, и ему предстоит прочно прикрепиться к астероиду, поскольку сила гравитационного притяжения на поверхности такого маленького небесного тела в сто тысяч раз меньше, чем на Земле. Исследователи рассматривают несколько концепций, позволяющих удерживать буксир на поверхности астероида, но окончательный выбор зависит от результатов изучения состава и структуры малых астероидов.

Для разгона или торможения астероида направление вектора тяги космического буксира необходимо удерживать параллельным вектору скорости движения астероида по орбите. Однако мелкие астероиды вращаются, совершая до 10 оборотов вокруг своей оси за одни земные сутки. Возможное решение данной проблемы — остановка вращения астероида до начала процесса изменения траектории. Буксир должен закрепиться на экваторе астероида (на кольцевой линии, лежащей посередине между полюсами оси его вращения), направить свои двигатели горизонтально вдоль экватора и работать до тех пор, пока сила их тяги не остановит вращение астероида.

Метод достаточно рискован, поскольку многие каменные астероиды, по-видимому, представляют собой пористые груды небольшой плотности, состоящие из множества крупных и небольших глыб, промежутки между которыми заполнены мелкими камнями и песком, и все это удерживается слабым полем тяготения астероида. Хотя такая структура может выдержать воздействие в несколько ньютонов, распределенное по площади в 2-5 м², этого нельзя сказать о внутренних напряжениях, вызванных замедлением и остановкой вращения астероида. Вероятно, нарушение тонкого баланса гравитационных и центробежных сил, связанных с вращением астероида, может привести к его разрушению.

ПРОЕКТ B612

Цель проекта B612 - контролировать изменение орбиты астероида. К 2015г. космический буксир должен прибыть к астероиду, закрепиться на его поверхности и продемонстрировать свою способность изменить его орбиту.



Поэтому предпочтительно сохранить вращение астероида, постепенно приводя ось к направлению вектора скорости орбитального движения астероида, не меняя ориентации этой оси.

Буксир будет толкать вертящийся астероид по его орбите, подобно детской вертушке. Для демонстрационной миссии B612 мы планируем выбрать астероид, крутящийся с частотой около 4 оборотов за земные сутки (типичной для астероидов такого размера), и повернуть ось его вращения на 5–10°. При силе тяги в 2,5 Н, приложенной к любому из полюсов астероида, для такого поворота оси потребуются около двух месяцев непрерывной работы двигателей.

Другая важная цель — так изменить орбиты астероида, чтобы через несколько лет он не вернулся вновь на путь, ведущий к столкновению с Землей. Тела, пролетающие в непосредственной близости от Земли, часто выводятся гравитационными силами на резонансные орбиты с периодами обращения, кратными периоду обращения Земли, в результате чего они могут периодически возвращаться в ее окрестности. Поэтому орбиту астероида нужно изменить так, чтобы не допустить его выхода на резонансную орбиту. Такое требование к точности воздействия — один из лучших доводов в пользу концепции космического буксира, который позволяет выполнять управляемые маневры, тогда как все другие методы изменения орбиты дают неконтролируемые изменения скорости.

Если удастся вывести на орбиту энергетическую установку и плазменный двигатель с помощью одного ракето-носителя, то стоимость проекта обойдется в \$1 млрд., что составляет 0,5% ожидаемых расходов NASA за 10 лет.

Так стоит ли овчинка выделки? Хотя практическое использование системы отклонений траекторий астероидов потребует крайне редко, она может оказаться бесценной. Столкновение астероида с Землей может быть столь разрушительным, что тут никаких денег не пожалеешь.

Миссия B612 покажет, осуществима ли концепция космического буксира, и если да, то какие понадобятся усовершенствования в случае возникновения реальной угрозы столкновения астероида с Землей.