

ПЛАНЕТАРИЙ

МАКСИМ БОРИСОВ

# Космический «фуникулер»





**Идея проложить дорогу в небо в буквальном смысле этого слова выглядит столь романтично, что многие, впервые услышав о космическом лифте, думают, что это проделки фантастов. Собственно, и среди экспертов (особенно материаловедов) пока нет однозначной оценки осуществимости подобных проектов — по крайней мере в ближайшие десятилетия. И тем не менее американское космическое агентство NASA тратит немалые деньги на разработки в этом направлении. Проводятся даже специальные соревнования «канатов» и «фуникулеров», призванные выявить исследовательские группы, которым имеет смысл в дальнейшем выделять субсидии.**

**П**ривычные мечты о неограниченной космической экспансии человечества столкнулись в последние годы с кризисом (или, точнее сказать, стагнацией) в технологиях доставки в космос грузов и людей. Никак не удается совместить жесткие требования безопасности полетов с экономической целесообразностью. Самые горячие головы даже требуют вовсе отказаться от пилотируемых полетов, поскольку они-де неоправданно дороги и сопровождаются неизбежными человеческими жертвами. Единственной реалистичной альтернативой ракетной технике из всех придуманных за последние полвека является космический лифт — мост или канат, протянутый с поверхности Земли на орбиту.

Спутник на низкой орбите может двигаться со скоростью около 8 км/с и делать один виток вокруг Земли за 1,5 часа. Но чем выше мы поднимаемся над Землей, тем слабее гравитация, тем медленнее движение спутника, тем больше требуется времени на то, чтобы он облетел всю планету. На высоте 35 786 км над экватором период обращения спутника сравняется с периодом вращения Земли — это так называемая геостационарная орбита. Выведенное на такую орбиту тело неподвижно висит над одной точкой на земной поверхности. Если протянуть к нему очень длинный и прочный канат, то можно будет взбираться до неба и спускаться назад без использования дорогостоящих и опасных ракет.

Конечно, сам вес этой «привязи» будет тянуть такую конструкцию к Земле. Поэтому его необходимо компенсировать, пробросив канат еще дальше в космос и закрепив на дальнем конце противовес. Обращаясь вокруг Земли, как камень, вложенный в пращу, он будет обеспечивать устойчивое натяжение всей связке.

У Земли основание каната можно прикрепить, например, к очень высокой башне или к плавучей океанской платформе. У каждого такого варианта есть свои преимущества: башня может спасти от изменчивости беспокойных нижних слоев атмосферы, а океанская платформа позволит совершать маневры уклонения, если ураган или гроза будут создавать опасность для нашей привязи. Но крепление троса в нижней части в любом случае не должно быть жестким, чтобы он не лопнул при возникновении колебаний.

### **ТРОС ТОЛЩИНОЙ СО ВСЕЛЕННУЮ**

С самого появления идеи космического лифта было ясно, что имеющиеся в распоряжении человека материалы не выдержат безумных нагрузок, которые испытывает «паутинка», спущенная из космоса. Согласно полученным уравнениям, толщина оптимальной при- ►

## ИСТОРИЯ ИДЕИ

Мысли, предвосхищавшие идею построения космического лифта, есть и в записках Константина Циолковского. В 1895 году он писал о возможности постройки очень высоких башен, верхние этажи которых окажутся на орбите в невесомости. Но эти соображения носили, скорее, умозрительный характер.

В 1910 году инженер-энтузиаст Фридрих Цандер рассмотрел возможность создания «канатной дороги между Луной и Землей», но отбросил ее за отсутствием достаточно прочных материалов.

Впервые внятно все элементы, необходимые для устройства реального космического лифта, описал другой наш соотечественник — инженер Юрий Арцутанов, который был тогда аспирантом Ленинградского технологического института. В его заметке «В космос — на электровозе», которая появилась в воскресном приложении к «Комсомольской правде» от 31 июля 1960 года, ни разу не встречалось слово «лифт». «Поезд», «электричка», «канатная дорога» — вот с чем у Арцутанова ассоциировалась придуманная им «лестница в небо». Идею Арцутанова в Союзе не забыли, но ее развитие оставалось делом инженеров-фантазеров и научно-популярных журналов.

Всемирную популярность идее космического лифта принес британский писатель-фантаст Артур Кларк, автор книги «Фонтаны рая» (1978). Это типичный «производственный роман», перемежаемый «видениями прошлого» в духе «Эры Разобщенных Миров» Ивана Ефремова. Сюжет строится вокруг сооружения космического лифта, которое описывается, как это было принято в фантастике того времени, с большим количеством технических деталей.

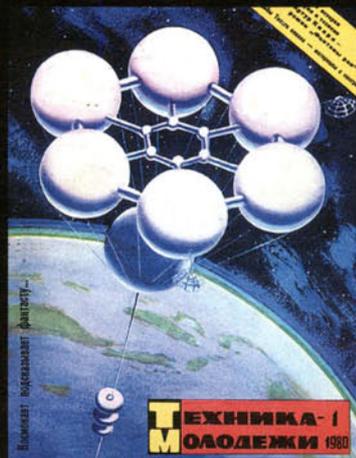
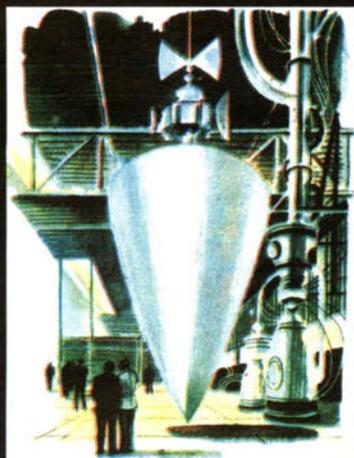
Интересно, что в 1968 году на конференции по мирному космосу космонавт и художник Алексей Леонов подарил Артуру Кларку свой совместный с Андреем Соколовым альбом фантастической живописи «Ждите нас, звезды». На одном из разворотов там было приведено изображение «канатной дороги» между Землей и не-

бом, называлось это дело «грузопассажирский лифт». Однако Кларк на этот лифт внимания не обратил, черпая идеи своей будущей книги из публикаций западных инженеров, которые независимо пришли к идее подобных сооружений. Первая такая статья появилась в журнале Science в 1966 году. Гораздо подробнее разработал эту тему американский физик Джером Пирсон, опубликовавший в 1975 году в журнале Acta Astronautica статью про «орбитальные башни», использующие для запуска космических аппаратов энергию вращения Земли. Пирсон, что характерно, также ничего не знал об исследованиях своих предшественников...

Позднее Артур Кларк с готовностью признал приоритет ленинградского инженера и в дальнейшем указывал, что «в основе романа лежит изобретение русских». Более того, он даже вставил упоминание Юрия Арцутанова в текст романа — именно в таком виде он был опубликован в 1980 году на русском языке в журнале «Техника — молодежи» с авторским предисловием, заключительным интервью и прекрасными иллюстрациями Роберта Авотина, которые одобрил сам писатель. Позднее, в 1982 году, Кларк приезжал в СССР и встречался с Арцутановым.

Помимо того что Кларк удачно популяризовал изобретение, он обратил внимание на целый ряд реальных трудностей, встающих на пути строителей. Это неудивительно, если иметь в виду инженерное прошлое писателя и его заслуги перед космонавтикой: еще в сороковых годах он опубликовал доклад, посвященный перспективам развития спутниковой связи. На Западе геостационарную и геосинхронные орбиты до сих пор иногда называют «орбитами Кларка», а он сам часто в шутку горевал в личных беседах, что не додумался в свое время взять патент на эти идеи. Так что при благоприятном стечении обстоятельств идея космического лифта вполне могла бы впервые зародиться именно в голове фантаста.

Подъемник, построенный командой Мичиганского университета (справа), впервые поднялся на высоту 60 метров, получая энергию только от солнечных батарей. На это ушло 6 минут 40 секунд при зачетном времени 1 минута. Самым быстрым стал подъемник, созданный в Университете провинции Саскачеван (Канада). Он лишь на пару секунд не уложился в ответственный норматив. На снимке внизу: последние приготовления перед запуском канадского прототипа космического лифта. Обратите внимание, что для подъема используется не трос, а тонкая широкая лента. Это избавляет от проблем с ориентацией аппарата



«Техника — молодежи» с романом Артура Кларка (справа) и номер с описанием глобальной тросовой системы вокруг Земли, придуманной Александром Поляковым

вязи по мере удаления от Земли сперва экспоненциально растет, затем на высоте двух-трех земных радиусов, по мере того, как силу земного притяжения компенсирует центробежная сила, рост толщины замедляется, и наконец вблизи геостационарной орбиты толщина становится постоянной.

Ключевой вопрос технологии космического лифта: насколько толстым станет канат в верхней точке. Расчеты показывают, что его толщина фантастически сильно зависит от свойств материала — его прочности и плотности. Если использовать обычную сталь (плотность 7,8 г/см<sup>3</sup>, усилие на разрыв 2 гигапаскаля, что соответствует давлению 20 тысяч атмосфер), то расчетная толщина превысит видимые размеры Вселенной, что по-



Углеродные нанотрубки под электронным микроскопом

туры диаметром в считанные нанометры. Их можно описать как свернутые в тонкую трубочку плоские листы графита мономолекулярной толщины (хотя в реальности нанотрубки образуются иначе). В плоскости графитового слоя атомы углерода соединены в характерную гексагональную (шестиугольную) решетку, обладающую высокой прочностью, которую унаследовали и нанотрубки. По своей устойчивости на разрыв они более чем на порядок превосходят сталь и при этом имеют в шесть раз меньшую плотность. Нитка миллиметрового диаметра, состоящая из нанотрубок, теоретически могла бы выдержать груз в 60 тонн (усилие на разрыв 60 ГПа) и даже больше — самая оптимистичная приводимая в специальной литературе цифра составляет 300 ГПа.

Загвоздка, однако, в том, что сегодня никто не умеет изготавливать из нанотрубок нитки. Трубки, которые удается получить, имеют длину, измеряемую микронами, в лучшем случае — миллиметрами, и нет никаких гарантий, что параметры нитей из нанотрубок действительно когда-нибудь достигнут теоретических показателей. Во-первых, даже самая лучшая нить будет, конечно же, заметно менее прочной, чем отдельные ее волокна. Во-вторых, на прочность трубок самым плачевным образом влияют дефекты кристаллической решетки. Согласно мнению некоторых ученых, именно эти неизбежные дефекты станут непреодолимым препятствием для космического лифта. Ведь даже если в идеальных условиях мы и научимся изготавливать безупречные волокна, то повреждения от микрометеоритов и космических лучей, эрозия под действием атмосферного кислорода могут свести все усилия на нет.

Если мы попробуем подставить в формулы параметры углеродных нанотрубок, то верхняя часть троса получается всего на 20—50% толще нижней. Это значит, что трос в форме ленты толщиной с лист бумаги даже в самом широком месте не будет превосходить нескольких десятков сантиметров. ▶

WWW.LIFTPROT.COM

## Толщина троса космического лифта невероятно сильно зависит от прочности и плотности его материала

просту лишает расчет физического смысла. Даже из лучших марок стали (5 ГПа) построить космический лифт совершенно нереально. Но если в несколько раз поднять прочность и снизить плотность материала, результат меняется кардинально.

Например, с уже известными человечеству материалами — паучьим «шелком» (1,3 ГПа при плотности 1,2 г/см<sup>3</sup>), углеродистым стекловолокном (2—5 ГПа при 1,9 г/см<sup>3</sup>), кевларом (3,6 ГПа, 1,4 г/см<sup>3</sup>) — толщина троса в верхней части получается от

сотен километров до всего десятка метров. Впрочем, с инженерной и экономической точек зрения подобный проект все равно малореален. Собственно, именно отсутствие подходящих материалов и привело к тому, что на долгое время космические лифты обосновались исключительно на страницах фантастической литературы.

Второе дыхание идея космического лифта получила с появлением в 1991 году принципиально новых материалов — углеродных нанотрубок. Это протяженные цилиндрические струк-

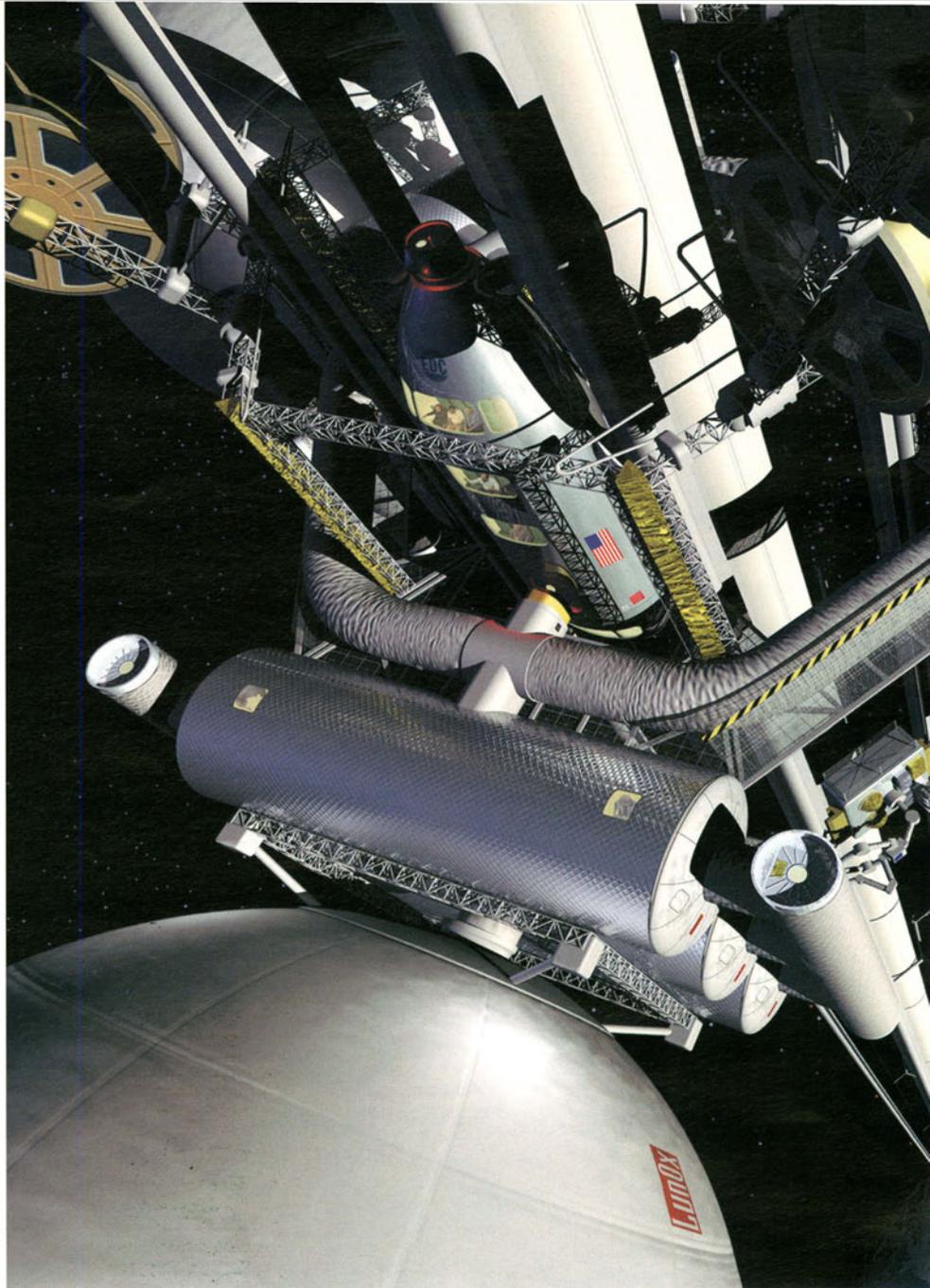
### ПОДЪЕМ НА ЛАЗЕРНОМ ЛУЧЕ

Другая важнейшая проблема, которую предстоит решить, — это создание быстрых и легких подъемников, способных взобраться по тросу по крайней мере на 36 тысяч километров (на высоту геостационарной орбиты). Собственно, сложность заключается в отсутствии достаточно энергоемких источников питания. Ведь энергозатраты на преодоление земного притяжения на пути до геостационарной орбиты составляют 49 мегаджоулей на килограмм (это не считая неизбежных потерь энергии). Для сравнения: при сжигании килограмма водород-кислородной топливной смеси выделяется всего 16 МДж. Это не значит, что на химическом топливе космический лифт не сможет работать в принципе, но по эффективности своей работы он тогда сравнится с теми же ракетами, вынужденными для выведения полезной нагрузки сжигать огромное количество топлива и сбрасывать отработавшие ступени. Еще хуже с аккумуляторами, которые, разумеется, каждый раз на пути к звездам сбрасывать не получится. Хотя тут тоже может быть уловка: кабины, идущие вниз, могут делиться выработанной при спуске электроэнергией со своими встречными партнерами. Но все это накладывает на организаторов грузопотока слишком жесткие ограничения.

Поэтому питание для своей работы (во всяком случае, на первых порах) лифт будет получать в основном с Земли. Изобретатель концепции космического лифта Юрий Арцутанов предлагал подводить электричество по вплетенным в канат металлическим полосам. Однако на нынешнем этапе эта идея не кажется столь привлекательной, поскольку усложняет конструкцию троса.

Наиболее перспективной представляется передача энергии направленными пучками видимого или СВЧ-излучения, для которого земная атмосфера прозрачна. Чтобы расходимость пучка была минимальной, можно, например, использовать лазеры. Впрочем, передать энергию — это полдела, нужно ее еще и принять. Для этого необходимо снабдить лифт высокоэффективными фотоэлектрическими преобразователями.

Интересно, что многие принципиальные сложности, связанные с устройством дороги с Земли на орбиту, пропадают (или же теряют свою остроту), если искать применение «лифтовому хозяйству» в дальнем космосе, на что указывал опять же еще Арцутанов. Ведь с гравитацией астероидов, спутников планет или даже Марса вполне могут справиться нынешние материалы и энергетические установ-



## Возможно, постройка космического лифта у небольших планет будет не такой сложной, как его монтаж над Землей

ки. Не исключено, что первые конструкции такого типа возникнут где-нибудь возле Луны. Ее медленное вращение, правда, не позволяет использовать ту же схему, что и с земной геостационарной орбитой, но конец троса с грузом можно поместить, например, в точку либрации между Луной и Землей. Такой лифт будет длиннее земного, но требования к нему предъявляются не столь жесткие.

### КОСМИЧЕСКОЕ ТКАЧЕСТВО

Предположим, что проблемы с материалом и энергетикой благополучно разрешены. Но ведь надо еще каким-то образом построить сам космический лифт. Если изготовить трос на Земле, то ракетные технологии вряд

ли позволят целиком забросить его на орбиту. Даже если выводить трос в космос по частям, стоимость проекта надолго сделает лифт нерентабельным — ведь масса материала может достигать многих тысяч тонн.

Еще Арцутанов предложил начать с небольшой спущенной с небес «нитки». Но как спустить с геостационарной орбиты первую, хотя бы и очень тонкую нить? Нужно, конечно же, выпускать сразу два «уса» — в противоположных направлениях, к Земле и от нее, — с тем расчетом, чтобы сам спутник в процессе вытравливания этого троса не смещался с нужной орбиты. При движении на трос будет действовать сила Кориолиса, отклоняющая его от вертикального направления, а на



Так в NASA представляют космический лифт конца XXI века. Вид на пересадочную станцию на геостационарной орбите

ПЭТ РОУЛИНГ, NASA

начальном участке нить вообще будет покоиться в невесомости. Поэтому ее движением, вероятно, придется какое-то время управлять с помощью небольших двигателей коррекции.

Когда нить достигнет Земли, по ней взберутся первые роботы-строители, которые примутся наращивать толщину каната уже на месте. В принципе эти «паучки» могут быть самых что ни на есть микроскопических размеров. Возможно, к тому времени, когда развернется космическая стройка, нанороботы, которые сегодня кажутся нам едва ли не большей фантастикой, чем сам лифт с Земли на небо, уже станут реальностью, и достаточно будет просто их запрограммировать. Эти же невидимые труженики-нанороботы могли бы подновлять материал, устраняя постоянно возникающие дефекты и повреждения. Кстати, если развитие нанотехнологий пойдет в соответствии с оптимистичными прогнозами, то ▶

## КОСМИЧЕСКИЙ ЛИФТ В ФАНТАСТИКЕ

— АРТУР КЛАРК (Великобритания), «Фонтаны рая» (1978). Русский перевод — 1980.

— ЧАРЛЬЗ ШЕФФИЛД (США), «Паутинка между мирами» (1979) — роман содержит подробное описание космического лифта. На русский язык не переводился.

— КИМ СТЭНЛИ РОБИНСОН (США), трилогия «Цветной Марс» (начиная с 1992) — история марсианского и земного лифтов от американского лауреата премий «Небьюла» и «Хьюго»; тросы лифтов изготавливаются из углеродных нанотрубок, которые вырабатываются на астероиде, а затем погружаются в атмосферу, астероид при этом используется как противовес.

— ФРЕДЕРИК ПОЛ и ТОМАС Т. ТОМАС (США), «Марс Плюс» (1994) — в качестве «лифта» на Марсе фигурирует так называемый космический фонтан, непрерывно выбрасывающий металлические кольца. Роман переведен на русский язык.

— ДЭВИД ГЕРРОЛЬД (США), «Соскочить с планеты» (1998). В ближайшем будущем мир разделят между собой гигантские корпорации, а в Западном полушарии построят космолифт. С помощью него на геостационарную орбиту сбегает 13-летний мальчик Чарльз.

— ПАВЕЛ ШУМИЛ (Россия), «Должны любить» (2002). В романе фигурирует привязь, спущенная с объекта на геостационарной орбите и прикрепленная на экваторе планеты. С ее помощью планету разворачивают, чтобы растопить ледяные материи. Герои Шумила вспоминают «Фонтаны рая» Кларка, но, похоже, к звездам в том мире путешествуют без применения космического лифта.

— АЛЕКСАНДР ГРОМОВ (Россия), «Завтра наступит вечность» (2002). Космический лифт, затерянный где-то на задворках Москвы, уживается со всей неустроенностью нашей жизни. Правда, у лифта там «нормальный» сверхпрочный трос заменяет некий «энергошнур». При подъеме герои также вспоминают книгу Артура Кларка.

— БЕН БОВА (США), «Меркурий» (2005). Изображен случай нападения террористов на космический лифт, из-за которого погибают миллионы людей. Перевода на русский язык еще нет.

Идея космического лифта нашла также свое отражение в кинофильмах, телесериалах, мультфильмах, аниме... Например, в сериале «Стар Трек» (эпизод «Подъем» четвертого сезона подсерии «Вояджер», 1995) грузовой космический лифт служит средством спасения для экипажа звездолета, застрявшего на планете с буйной турбулентной атмосферой. В аниме-фильме «GUNNM: Боевой Ангел Алита» (1993) японского художника Йокито Киширо зрителям удается полюбоваться остатками разрушенного космического лифта, нависающего над городской свалкой. В замечательном французском мультфильме «Каена: Пророчество» (2003) в качестве космолифта выступает гигантское дерево, уходящее корнями на орбиту. Космический лифт проник и в некоторые компьютерные игрушки. Например, он фигурирует на одном из последних уровней известной экономической реал-тайм стратегии «Civilization: Call To Power». Так что фантасты успели поработать над развитием идеи космического лифта ничуть не меньше, чем «безумные» инженеры.



АРТУР КЛАРК

Рисунки Р. Авотинна. Перевод М. Беккер, Г. Осиповской, А. Ставиской.

## ФОНТАНЫ РАЯ

### КОСМИЧЕСКИЙ ЛИФТ В ИНТЕРНЕТЕ

[www.liftport.com](http://www.liftport.com) — Компания LiftPort, планирующая запустить лифт в 2031 году  
[www.isr.us/research\\_es\\_se.asp](http://www.isr.us/research_es_se.asp) — Материалы по космическому лифту от Institute for Scientific Research

[www.spaceelevatorblog.com](http://www.spaceelevatorblog.com) — Официальный блог соревнований космических лифтов  
[www.spaceelevator.com](http://www.spaceelevator.com) — Независимый блог по теме космического лифта



Противовес космического лифта, находящийся на высоте геостационарной орбиты, обеспечивал бы постоянное натяжение конструкции

SP4/EAST NEWS (03)

## Американская компания LiftPort Group пообещала отправить первого пассажира на космическом лифте в 2018 году

должны появиться и саморазмножающиеся нанороботы. Вся стоимость космического лифта будет тогда определяться лишь услугами проектировщиков и программистов, ну и изготовлением первичной нити. Надо только побеспокоиться о безопасности применения нанороботов «на свежем воздухе» — исключить неконтролируемое размножение, мутации и т. п. Если это будет сделано, лифты вообще станут «самособирающимися» и самообслуживающимися и органично впишутся в ландшафт грядущего века нанотехнологий.

Впрочем, целый ряд серьезных проблем остается и после успешного построения космического лифта — на стадии эксплуатации. Определенное беспокойство специалистам, следящим за целостностью нитей, может доставлять различный космический мусор. Банальные грозы с ураганами или обледенение могут повредить нижний, самый тонкий участок троса, а поскольку вверху он только утолщается, нельзя восстановить обрыв, просто немного приспустив трос. В число возможных бед включают и собственные колебания гигантской «струны», которые могут привести к ее разрушению. У проблемы построения дороги на небо есть также определенные военные и политические аспекты. Достаточно представить, насколько привлекательной мишенью для террористов станет такое гигантское хрупкое сооружение!

Допустив на минуту, что все сложности удалось обойти, и посчитав возможную выгоду от этого предприятия,

мы сразу поймем энтузиазм NASA. Ведь с приходом лифтов себестоимость поднятия килограмма на высоту геостационарной орбиты составит от нескольких долларов (согласно оптимистичным оценкам) до сотен долларов (по самым пессимистичным). Сравните это с тысячами и десятками тысяч долларов за килограмм при современных ракетных технологиях. По мнению Брэдли Эдвардса, одного из основателей компании HighLift Systems, которой NASA выделило финансирование для исследований по проблеме космического лифта, на реализацию проекта потребуется от 10 до 40 миллиардов долларов — сравнимо с разработкой новых шаттлов. Если верить этой оценке, то затраты с лихвой окупятся уже за первые десятилетия эксплуатации нового чуда техники.

### НАШЕШТВИЕ ЛИФТЕРОВ

Уже второй год подряд группы энтузиастов со всех концов света собираются для того, чтобы продемонстрировать свои разработки в области «космического лифтостроения» и попытаться выиграть X Prize Cup, учрежденный при содействии NASA. При этом часть групп привозит роботизированные «вагончики», ползающие по канату и получающие энергию от фотоэлементов, а другие демонстрируют образцы материалов, достаточно легких и прочных, чтобы выдержать свой собственный вес и вес движущихся по ним механизмов. Все эти проекты объединены одной целью: подготовить первые ступень-

ки той лестницы, по которой мы поднимемся прямо на небеса...

Участники должны были предьявить робота весом не более 50 килограммов, который ползал бы по тонкому вертикальному канату длиной 50 метров со скоростью 1 метр в секунду, питаясь дистанционно от 10-киловаттного прожектора (требования пока достаточно скромные), а также образец материала для троса, превосходящего по своей прочности образец, уже имеющийся в распоряжении у NASA. К сожалению, за два года никто так и не смог справиться с этими задачами.

После проведения 20 и 21 октября 2006 года второго этапа соревнований призовой фонд составляет уже 600 тысяч долларов. В отличие от прошлого года команде Университета канадской провинции Саскачеван (University of Saskatchewan, Саскатун) на этот раз удалось вплотную приблизиться к решению первой из поставленных задач. Их роботу-альпинисту не хватило лишь пары секунд, чтобы вовремя достичь самого верха.

С изготовлением троса все гораздо хуже. Для испытаний команды должны были представить двухметровое кольцо из сверхпрочного материала, которое специальная установка проверила бы на разрыв. К испытаниям была допущена всего одна команда, и ее трос лопнул при нагрузке в 606 кг, гораздо раньше образца от NASA, который порвать так и не удалось — эксперимент прекратили при нагрузке в 754 кг, потому что начали гнуться металлические элементы установки.

В конкурсах X Prize Cup не участвует американская компания LiftPort Group, получившая известность после весьма громкого обещания запустить космический лифт уже к 2018 году. (Позднее срок был перенесен на 2031 год.) Компания проводит собственные эксперименты, которые выглядят впечатляющими, но и их еще нельзя назвать однозначно удачными. Так, в начале 2006 года автоматизированный подъемник, работающий на аккумуляторах, взбирался в небо по прочному канату, натянутому с помощью трех воздушных шаров. Из полутора километров робот сумел преодолеть только первые 460 м. Тем не менее компания планирует вскоре провести повторные испытания на тросе высотой 3 км.

Таким образом, создание космического лифта пока находится за пределами возможностей современных технологий, и нет полной ясности, удастся ли со временем решить все проблемы, стоящие перед разработчиками. А потому нет и однозначного ответа на вопрос, стоит ли вкладывать серьезные деньги в проекты космических лифтов или лучше потратить их на дальнейшее развитие ракетной техники. ●