

ния в космос радиоактивных отходов, накапливающихся на Земле [П. 6].

Не нужно, наконец, забывать и о том, что космические исследования в качестве побочного эффекта стимулируют развитие тех наук и отраслей техники, на которые опирается космонавтика. Многие технические разработки, делавшиеся специально для космических проектов, уже нашли «земные» приложения: новые материалы, новые портативные приборы, различная медицинская аппаратура, приспособления для больных и инвалидов (копирующие конструкции, предназначавшиеся первоначально для космонавтов на Луне), незагорающая одежда, новые методы обработки пищевых продуктов, неорганические красители, новые трубопроводы и др. — всего, по американским данным на начало 70-х годов, более 2500 нововведений. Возникают новые самостоятельные науки. И обнаружено было даже научное отставание тех стран, которые не занимаются космическими исследованиями. Видимо, не случайно в космических исследованиях, кроме Советского Союза и США, теперь начинают принимать все более активное участие и другие страны.

Исторически развитие ракетной техники (не только в нашу эпоху, но и в прошедшие столетия) связано с ее военным использованием. Но необходимо ясно подчеркнуть, что ни полеты к Луне, ни полеты к планетам не имеют и не могут иметь непосредственного военного значения. Пожалуй, ни одна отрасль научно-технического прогресса не заинтересована так в мирных условиях для своего развития, как космонавтика. И это тоже следует иметь в виду, когда мы размышляем о ее будущем.

Дополнение при корректуре

КОСМИЧЕСКИЙ ЛИФТ

В последние годы в научных и научно-популярных изданиях и даже в газетах, как зарубежных, так и советских (см., например, «Литературную газету» № 45 от 7 ноября 1979 г.) все чаще стали встречаться слова «космический лифт». Постараемся разобраться в проблеме, пользуясь теми знаниями, которые читатель мог почерпнуть из этой книги.

Представим себе на экваторе многомиллионноэтажную башню-иглу — нечто вроде в миллион раз увеличенной Останкинской телебашни. Будем поднимать лифтом грузы и выбрасывать их легким толчком (теоретически без начальной скорости) из окон на разных этажах. В геоцентрической (невращающейся) системе отсчета грузы будут иметь начальные скорости, равные порожденной вращением Земли окружной скорости v точки башни на соответствующем этаже, причем $v = \omega r$, где ω — угловая скорость Земли, r — расстояние от оси вращения, т. е. от центра Земли.

Прежде всего рассмотрим этаж на высоте 35 786 км, т. е., с учетом экваториального радиуса Земли 6378 км, на расстоянии $r_{ст} = 42\,164$ км от ее центра. Это — радиус стационарной орбиты. Если бы стационарный спутник, когда-то запущенный, был рядом с выстроенной башней, то его движение ничем бы не отличалось

от поднятого на высоту 35 786 км груза. Значит, вытолкнутое в окно тело окажется стационарным спутником.

На более высоких этажах будут выводиться спутники на эллиптические орбиты с перигеями на соответствующих этажах. На расстоянии от центра Земли r_n , определяемом из уравнения

$$\omega r_n = \sqrt{\frac{2K}{r_n}},$$

где K — гравитационный параметр Земли, начнется движение по параболической траектории. Оказывается, $r_n = r_{ст} \sqrt{2} = 53\,123$ км. Еще выше можно будет начать гиперболический полет. На высотах же ниже стационарной начнутся эллиптические орбиты с апогеями на соответствующих этажах. Но ниже некоторой высоты орбиты будут обрываться уже на первом полувитке входом в плотные слои атмосферы.

Описанным путем, правда, можно получить только экваториальные орбиты, но на очень больших высотах будет нетрудно изменить наклон орбиты. На низкие орбиты придется выходить с помощью импульсного маневра.

Будем медленно, не спеша, с помощью сравнительно маломощного электромотора, использующего энергию, получаемую любым способом, поднимать спутник на нужный этаж. Если пренебречь потерями, придется затратить энергию, равную разности потенциальных энергий на высоте этажа и на поверхности Земли:

$$-\frac{mK}{r} - \left(-\frac{mK}{R}\right) = mK \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{r}\right),$$

где R — экваториальный радиус Земли. По имеющимся оценкам¹⁾ стоимость подъема груза, а следовательно, и выведения его на стационарную орбиту (вращение Земли бесплатно) будет исчисляться в 45 центов за килограмм массы спутника. Подъем в башне со «стационарной» высоты на большую будет вовсе даровым, представляя собой «падение вверх» под действием центробежной силы.

Описанная башня рассматривалась К. Э. Циолковским в повести «Грезы о Земле и небе» для наглядного объяснения невесомости. При этом он справедливо отметил, что человек по мере подъема с этажа на этаж будет постепенно терять вес, на высоте «34 тысячи верст» (т. е. на уровне стационарной орбиты) станет невесомым, а выше тяжесть изменит свое направление, так что человек будет видеть Землю над своей головой.

Но как возвести такую башню? Ответ стал ясен, по-видимому, совсем недавно, и он гласит: возводить нужно сверху, «с крыши», как предлагали строить дома архитекторы Великой Академии Проекторов, посещенной Гулливером²⁾.

С борта стационарного спутника спускается на тросе грузик, снабженный маленьким реактивным двигателем на сжатом газе. Если трос натянут, то благодаря градиенту гравитации вся система располагается вдоль направления на центр Земли, а грузик продолжает вытягивать трос за счет одного этого градиента. В конце концов грузик достигнет земной поверхности. Однако эта система в своем движении будет все быстрее и быстрее обгонять Землю, так как суммарная сила притяжения к Земле будет непрерывно увеличиваться из-за опускания грузика. Центр масс системы будет двигаться по скручивающейся спирали (непрерывно

¹⁾ Pearson J. Anchored lunar satellites for cislunar transportation and communication.— J. Astronaut. Sci., 1979, v. 17, № 1 (реферат в экспресс-информации «Астронавтика и ракетодинамика», № 45, 1979). Здесь указана и литература по рассматриваемому вопросу.

²⁾ Оказывается, Джонатан Свифт в «Путешествиях Гулливера» «предвидел» не только открытие спутников Марса, но и космический лифт!

уменьшающийся эллипс). Чтобы этого не происходило, нужно от спутника отделить на другом тросе грузик и направить его вверх, как своеобразный противовес первому. При этом верхний трос должен быть гораздо длиннее нижнего. Теперь суммарная сила притяжения увеличивается (дальний грузик-противовес едва-едва притягивается Землей), а центр масс системы перемещается за стационарную орбиту. При правильном подборе масс грузов и точном соблюдении длин тросов на любой момент времени (с учетом собственной массы тросов) можно достичь того, что период обращения всей системы грузик — спутник — «противовес» будет неизменно равен суткам или по крайней мере будет таковым к моменту зацепления нижнего конца за Землю ¹⁾. И до этого и после оба троса очень сильно натянуты, причем максимум натяжения — на уровне стационарной орбиты. На каком-то промежуточном этапе новые стационарные спутники своими тросами укрепляют опасный участок.

После того как наша система стала *прикрепленным спутником*, превращение ее в космический лифт уже является вопросом техники. Нарастив снизу длину троса, мы поднимаем противовес еще выше, чтобы обеспечить устойчивое положение «орбитальной башни» для дальнейших работ. Если раньше башня сама собой держалась нижним концом над определенной точкой экватора и зацепление, по существу, не играло роли, то теперь башня стремится улететь прочь от Земли и держит ее только зацепление. В конечном счете возникнет сильно растянутая башня, имеющая наибольшее сечение на стационарной орбите, где напряжение растяжения — максимальное. В работе, цитированной в сноске на стр. 485, рассматривается башня высотой около 150 000 км.

Важнейшая трудность, стоящая на пути описанного строительства, хотя и не принципиальна, но очень серьезна: это проблема прочности. Но, говорят энтузиасты, если нужного материала нет сейчас, то он наверняка появится в будущем, и ни тросы в начале строительства, ни готовая башня не разорвутся.

Беспокоит и судьба почти любых неманеврирующих искусственных спутников, которые будут сталкиваться с башней на экваторе. Немало и других проблем (см. уже цитированный номер «Литературной газеты»).

Межпланетные сообщения, по мысли тех, кто проповедует постройку в будущем «орбитальных башен», будут происходить путем перелетов между башнями на различных небесных телах. Торможение по прибытии при этом будет нуждаться в сравнительно слабом ракетном импульсе, если гипербола подлета имеет перигейтр на нужном этаже башни, а то и вовсе его не потребует. Когда соответствующая система разовьется, груз в башне можно будет поднимать за счет энергии спуска прибывшего груза, и стоимость выведения упадет еще дополнительно.

Можно думать, что башни на экваторах небесных тел не отменят ракетных перелетов, но для организации крупных грузовых потоков они — не исключено — сыграют свою роль.

Изложенная концепция находит немало сторонников. Среди них — старый энтузиаст и пропагандист идеи межпланетного полета, английский ученый и автор научно-фантастических произведений Артур Кларк, утверждающий, что орбитальная башня может быть создана через 50 лет после того, как будет принято решение о ее строительстве.

¹⁾ Движение механической системы происходит так, что ее центр масс движется как материальная точка, в которой приложены все векторы сил, действующие на отдельные точки системы. Это — основная теорема динамики системы.