

орбиты, если энергия спутника изменится на ΔE .

$$E = -\frac{\mu m}{2a}; \quad E + \Delta E = -\frac{\mu m}{2(a + \Delta a)}, \quad (6)$$

отсюда

$$\frac{\Delta E}{E} = -\frac{1}{1 + \frac{a}{\Delta a}} \approx -\frac{\Delta a}{a}$$

или

$$\Delta a = -\frac{a}{E} \Delta E = \frac{2a^2}{\mu m} \Delta E. \quad (7)$$

Найдем еще связь между изменением скорости и изменением кинетической энергии

$$K + \Delta K = \frac{m(v + \Delta v)^2}{2}$$

и

$$\frac{\Delta K}{K} \approx 2 \frac{\Delta v}{v}. \quad (8)$$

Отсюда

$$\Delta v = \frac{v}{2} \frac{\Delta K}{K} = -\frac{v}{2K} \Delta E, \quad (9)$$

т. к. из соотношения (5)

$$\Delta K = -\Delta E. \quad (10)$$

Подставляя теперь значение $\Delta E = F_T v \Delta t$, получим

$$\Delta v = -\frac{1}{m} F_T \Delta t. \quad (11)$$

Отсюда, считая изменения Δv и Δt малыми, получим выражение для ускорения спутника.

$$W = -\frac{1}{m} F_T. \quad (12)$$

Это уравнение на вид противоречит второму закону Ньютона (знак минус перед F). На самом деле никакого противоречия, конечно, нет. Вспомним, что сила F представляет собой лишь возмущение по сравнению с доминирующей силой $\frac{1}{r^2}$. Из формулы (10) видно, что если энергия спутника увеличилась из-за увеличения радиуса орбиты на ΔE , то кинетическая энергия уменьшилась на ΔE . При этом потенциальная энергия увеличилась на $2\Delta E$, это и дало увеличение полной энергии.

Заметьте, что все наши рассуждения совершенно не зависят от того, какая именно возмущающая сила действует на спутник.

Исследуя зависимость всех этих величин от знака ΔE , можно составить таблицу 1. Из нее видно, что в результате возрастания орбитальной энергии спутника его период, потенциальная энергия и размеры орбиты растут, а линейная скорость уменьшается. Если же сила, действующая на спутник, уменьшает его энергию, то это вызовет сокращение размеров орбиты и увеличение скорости.

IV. Торможение в атмосфере

Рассмотрим, что происходит при торможении спутника в земной атмосфере. В этом случае возмущающая (тормозящая) сила направлена против движения, то есть ΔE всегда имеет отрицательный знак. В соответствии с таблицей 1 большая полуось и период обращения будут постепенно убывать, следовательно, средняя

Таблица 1

Величина	Обозначение	Если $\Delta E > 0$ (ускоряющая сила)	Если $\Delta E < 0$ (тормозящая сила)
Радиус орбиты (большая полуось в случае движения по эллипсу)	a	увеличивается	уменьшается
Период обращения	T	увеличивается	уменьшается
Кинетическая энергия	K	уменьшается	увеличивается
Потенциальная энергия	U	увеличивается	уменьшается
Линейная скорость	v	уменьшается	увеличивается

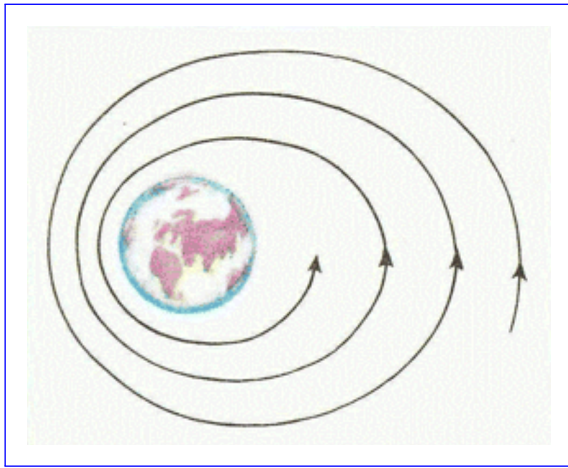


Рис. 2: Сжатие орбиты искусственного спутника при торможении в атмосфере.

скорость должна расти. Теряемая потенциальная энергия частично переходит в кинетическую, а остальная превращается в тепло. В перигее орбиты торможение максимально, потому что в этой точке скорость и атмосферная плотность принимают свои максимальные значения. В апогее же торможение будет минимальным. Поскольку в перигее спутник каждый раз получает отрицательный импульс, его орбита будет постепенно сжиматься, все сильнее приближаясь к круговой (рис. 2). Такое сжатие орбиты спутника под действием торможения в атмосфере неизбежно для всех искусственных спутников Земли и обычно сопровождается постепенным ростом скорости. Форма траектории приближается к окружности.

онных передач и для географических исследований. На самом деле распределение массы Земли неоднородно, а форма ее отличается от шарообразной поэтому внешнее гравитационное поле тела, которое обладает тремя осями симметрии, а в сечении экваториальной плоскостью имеет эллипс. (На основе данных, полученных при исследовании траекторий спутников, можно сказать, что разность длин большой и малой осей эллиптического экваториального сечения Земли составляет 130 м, причем конец большой полуоси лежит на 15° западной долготы).

Давайте посмотрим, как происходит движение спутника во вращающейся системе отсчета, а именно в системе отсчета, связанной с Землей (рис. 3). Из соображений симметрии ясно, что когда спутник находится на продолжении одной из главных осей экваториального эллипса (в точках А или В) гравитационная сила ...