

Полетаем?

В статье рассматривается физика полёта игрушки – летающей тарелки, которая поднимается в воздух и может длительное время находиться в полёте, как вертолёт. На примере игрушки показано, как рассчитать подъёмную силу.

Летающая тарелка = модель вертолёта с винтами, расположенными на одной оси и вращающимися в разные стороны (¹), имеет один мотор, который заставляет вращаться относительно лёгкого пенопластового корпуса основной винт-пропеллер с двумя лопастями. Сам корпус тоже имеет форму пропеллера, только угол атаки лопастей у него значительно больше и лопастей тоже больше. На фотографиях видно, что лопастей семь. Наибольший размер тарелки равен примерно диаметру крыльчатки $D = 20$ см. Масса тарелки M равна 57 г.



Корпус летающей тарелки непрерывно вращается по отношению к земле и создаёт дополнительную подъёмную силу. На фотографии внизу слева вертолёт Ка-50 с двумя винтами на одной оси. Напомним, что вертолёту с одним «главным» винтом нужен «вспомогательный» винт, действие которого предотвращает неконтролируемое вращение корпуса вертолёта относительно земли. На фотографии внизу справа такой вертолёт летит над озером. Его вспомогательный винт находится сзади «на хвосте».

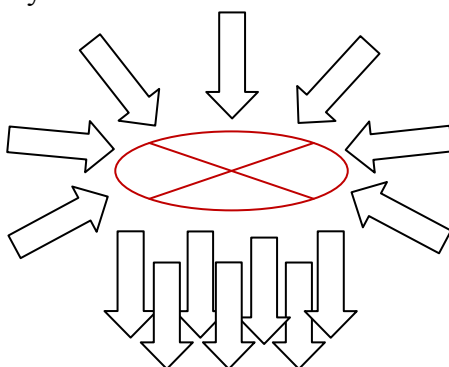


То есть недостаток вертолёта с одним винтом (вращение корпуса) в летающей тарелке превращён в её достоинство. Кстати, вспомним сказочного героя, любящего пошалить, – эгоиста, обжору, безответственного, но очень симпатичного мужчину в самом расцвете сил. Так вот у Карлсона был всего один пропеллер, и летать так, как это показано в замечательных мультфильмах про него, он, конечно, не мог. А летающая тарелка – может, и это показано на фотографии, где она находится в полёте под потолком.

¹ Такую «тарелку», сделанную умелыми китайскими руками, можно приобрести в магазинах игрушек.



Как движется воздух вблизи вертолёта = летающей тарелки, если объект парит высоко над землёй? Со всех сторон к объекту приближается воздух, а отбрасывается он винтами только вниз. На приведённом рисунке показано качественно распределение скоростей воздуха вблизи винта в этом случае.



Появление подъёмной силы в этой ситуации, как легко сообразить, связано с изменением импульса воздуха. Суммарный импульс всех воздушных масс, приближающихся со всех сторон к винту, равен нулю, а импульс воздуха, прошедшего через плоскость, в которой вращается винт, направлен вниз². В соответствии с третьим законом Ньютона винт толкает воздух вниз, а воздух, соответственно, толкает винт вверх. Давление воздуха над вертолётom = тарелкой меньше атмосферного. Эта разница давлений обеспечивает подсосывание окружающего воздуха. А под вертолётom = тарелкой давление совсем немного больше атмосферного, поэтому направленный вниз поток воздуха только слегка «разбегается» в стороны.

Совсем иной будет ситуация, когда вертолёт = тарелка только отрывается от земли или зависает на небольшой (в сравнении с диаметром винтов) высоте над землёй. В этом случае воздух из под летающего объекта «уходит» практически горизонтально в стороны, а это можно обеспечить только за счёт того, что давление воздуха под винтом больше, чем давление окружающего невозмущенного воздуха. В этом случае подъёмная сила связана с возникшей разностью давлений над и под винтом. Кстати, для полёта тарелки на небольшой высоте требуется меньшая мощность мотора, вращающего винт. Это легко установить, наблюдая за поведением изучаемой нами игрушки. К тому времени, когда заряд аккумулятора уменьшается, тарелка уже не может взлететь высоко, но на высоте 1-2 см над полом может ещё достаточно долго продержаться.

² Более аккуратный подсчет показывает, что импульс «засасываемой» порции воздуха в объеме, который по размерам превышает размеры «тарелки», до прохода через тарелку тоже направлен вниз, но он в два раза меньше импульса этой же порции воздуха, после прохождения через плоскость, в которой вращается винт.

Рассмотрим полёт нашей игрушки на большой высоте (в сравнении с диаметром винтов). Чтобы воздух, подсасываемый со всех направлений (исключая направление вниз), разогнался до скорости V , давление над вертолётom = тарелкой должно быть меньше атмосферного на величину $\rho V^2/2$. Здесь ρ – это плотность воздуха. При этом воздух, приближаясь со всех сторон к области над винтом, приобретает кинетическую энергию за счёт работы источника энергии, которым для летающей тарелки является электрический аккумулятор. Масса воздуха, которую за время T «прогоняет» через себя винт, пропорциональна плотности воздуха ρ , скорости V и величине площади, «заметаемой» винтами, $\pi D^2/4$: $M = T\rho V\pi D^2/4$.

Суммарная сила, действующая на летающую тарелку = вертолёт со стороны воздуха, направлена вверх и равна скорости изменения импульса воздуха: $MV/T = F = \rho V^2\pi D^2/4$. Она, очевидно, компенсирует притяжение вертолётa = тарелки к Земле mg . Отсюда можно найти скорость V :

$$V = \sqrt{\frac{4mg}{\rho\pi D^2}} \approx 3.7 \frac{m}{c}.$$

Разность давлений воздуха снизу и сверху равна примерно $\rho V^2/2 \approx 9$ Па. Эта величина в 10^4 раз меньше атмосферного давления, поэтому изменением плотности воздуха при его движении вблизи винта можно пренебречь.

Если считать, что электромотор летающей тарелки работает с КПД 100%, то есть вся энергия аккумулятора расходуется только на придание воздуху кинетической энергии, и никаких потерь на трение нет, то мощность мотора летающей тарелки равна примерно:

$$W = \rho V^3\pi D^2/8 \approx 1 \text{ Вт}.$$

Единственным регулируемым параметром летающей тарелки является скорость вращения основного пропеллера. Управляется тарелка по радио на частоте около 49 МГц. Она в спокойном воздухе взлетает и опускается, а движение в сторону она приобретает только за счёт потоков окружающего воздуха (ветра). Длительность полёта от одной зарядки аккумулятора составляет около 3 минут, так что за это время вполне можно отработать навыки управления этим аппаратом. Заряжается аккумулятор тоже около 3-5 минут, так что больших перерывов между полётами нет.

Вспомним рекламный лозунг: «Летайте самолётами Аэрофлота!» Действительно, на игрушечной тарелке не взлетишь, а если и взлетишь, то голова быстро закружится. Так что «Не летайте на тарелках, изучайте физику!»

Кстати, режим полёта тарелки на небольшой высоте над полом подробно не рассмотрен. Так что читателям предоставляется возможность разобраться с ним самостоятельно :-). Полёт тарелки в этой ситуации аналогичен движению судов на воздушной подушке.