

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ АВИАЦИОННЫХ ДОСТИЖЕНИЙ

А. А. Олейникова

УО «Белорусская государственная академия авиации»

Минск (Республика Беларусь)

Науч. рук. – А. И. Кириленко, к.ф.-м. н.. доцент

PHYSICAL FOUNDATIONS OF AVIATION ACHIEVEMENTS

A. A Oleinikova,

Belarusian State Aviation Academy, Minsk, (Republic of Belarus)

Scientific adviser - A. I. Kirilenko, Dr.PhD, Associate professor

Рассматриваются физические задачи с авиационным содержанием для студентов первых курсов. Цель – повысить мотивацию к изучению физики и расширить кругозор по выбранной специальности. Исследуется движение по петле Нестерова, анализируются характеристики самолета братьев Райт, сравнивается энергетика полета современного самолета и самолета с мускульным приводом. Рассмотрен вопрос установления линии Кармана, а также задача об имитации невесомости при полете самолета и ракетоплана И.Маска.

Physical problems with aviation content for first - year students are considered. The goal is to increase the motivation to study physics and broaden the horizons of the chosen specialty. The movement along the Nesterov loop is considered, the characteristics of the aircraft of the Wright brothers are analyzed, the energy of the flight of a modern aircraft and an aircraft with a muscle drive is compared. The issue of establishing the Karman line is being solved, as well as the problem of creating weightlessness during the flight of I. Mask's aircraft and rocket plane.

Ключевые слова: задачи по физике; авиационные рекорды; петля Нестерова; линия Кармана; невесомость

Key words: problems in physics; aviation records; loop of Nesterov; Karman line; weightlessness

Введение. Общее состояние проблематики. Постановка задачи.

Авиации чуть более ста лет, но развитие этой отрасли и колоссальное расширение сферы ее применения продолжается. За этот небольшой период разработано множество выдающихся технических решений, при том что были и грандиозные неудачи, провалы, которые на последующих этапах вновь приводили к замечательным результатам.

Целью работы является разбор и обоснование уместности привлечения технических решений из области авиации для обеспечения учебного процесса прежде всего по физике не только в учебных заведениях авиационного направления, но и вообще во всех заведениях гражданского и военного профиля.

Физические основы развития и совершенствования авиации.

Для конкретизации места физики в ходе зарождения, развития и совершенствования методов и средств воздухоплавания уместно привлекать исторические рекорды-события, например, как это широко всеми принято, полет братьев Райт, которые, пожалуй, первыми поняли, что для преодоления сил

гравитации нужна достаточно высокая скорость обтекания несущих поверхностей. Для реализации гипотезы эти исследователи пытались двигаться против ветра, осуществляли разбег с холма и даже использовали примитивную катапульту в виде падающего груза [1, с.116-117.].

В курсе физики целесообразно исследовать задачи, связанные с этими процессами, с позиций современного знания. В ходе экспериментов братья Райт достаточно быстро выяснили, что для успеха требуется двигатель и винт преобразующий вращательное движение в поступательное всего агрегата. Этот подход лежал в основе прогресса в авиации вплоть до появления реактивного двигателя, но и теперь он широко используется. Кроме этого, разработанная упомянутыми исследователями система управления самолетом по трем координатным направлениям являет собой хороший пример задач на моменты сил.

К другим достижениям из сферы авиации с анализом физических принципов, на которых они основаны, логично отнести элементы отвечающие зарождению высшего пилотажа, основоположником которого является выдающийся инженер и летчик Петр Нестеров. Петля Нестерова – отличный пример движения по окружности для средней школы, а для физики в высшей школе представляют интерес реальные траектории самолета при выполнении этой фигуры (Рис. 1). В истинном смысле петля оказывается сжатой в горизонтальном направлении, возможность выполнения самолетом такой траектории была математически строго доказана проф. Н.Е. Жуковским в его работе 1892 г. «О парении птиц». Летчик П.Н. Нестеров осуществил такой вид пилотирования в октябре 1913 г.

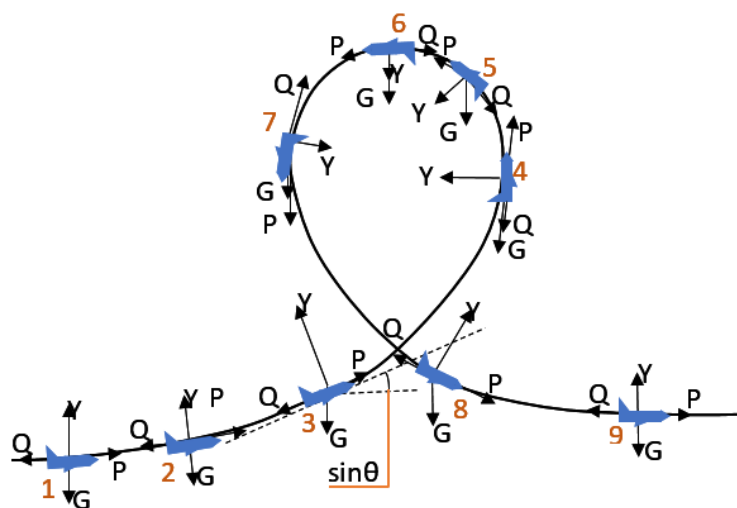


Рис. 1 – Петля Нестерова и силы, действующие на самолет при ее выполнении: P – сила тяги, G – сила тяжести, Q – сила сопротивления, Y – подъемная сила.

В строгом смысле, представленный вид траектории несимметричен, поскольку скорость движения самолета уменьшается по мере его подъема и становится минимальной в верхней точке (положение б). Такой тип движения может быть реализован, если начальная скорость самолета при входе в вираж будет больше минимальной в 1,6 – 2,2 раза при работающем двигателе и не менее чем в 3 раза при неработающем. На первом этапе целесообразно изобразить все силы, действующие на самолет в характерных точках траектории и записать для них второй закон Ньютона. Сюда же примыкают вопросы движения по спирали, полный разбор которых представляет интерес и для курса теоретической механики. Вращательное движение пропеллера, турбины как движителей дают повод рассмотреть силы инерции, включая силу Кориолиса, силы реакции в подшипниках, силы и моменты сил при гироскопических эффектах.

Возвращаясь к первооткрывателям, следует отметить, что братья Райт быстро уяснили, что для полета нужен мощный, но легкий двигатель. По их оценкам для полета аппарата типа «этажерки» требовалась мощность 8 л.с. Сотрудники технической поддержки изготовили двигатель мощностью 12 л.с. при массе 77 кг для аппарата массой 283 кг, с удельной мощностью в 14,4 л.с./кг [2, с. 26 - 28]. Это свидетельствует о многочисленных экспериментальных исследованиях, в том числе и в аэродинамической трубе, при формулировании требуемых параметров к летательному аппарату. Скорость самолета v можно определить из условия преодоления расстояния в 39 м за 12 с.

00 л/ч, то есть $2.8 \cdot 10^3$ кг в час, при плотности керосина равной 0.810^3 кг/м³ и его теплотворной способности – $43 \cdot 10^9$ Дж / кг . При величине КПД двигателя около 0,3 затраты энергии на полет оказываются порядка $26,83 \cdot 10^9$ Дж / ч при полезной мощности около 7450 кВт, которая отвечает затраченной удельной мощности – $0,13$ Вт / кг.

Обычный человек массой 70 кг продолжительное время может развивать мощность порядка 100 Вт . Масса самолета греческого велосипедиста в рассматриваемом случае составляла 31 кг, поэтому взлетная масса равна 101 кг . Исходя из перечисленных параметров, удельная мощность, которую может развить не тренированный человек при преодолении такой дистанции, составляет порядка $0,01$ Вт / кг. При мощности, развиваемой спортсменом, параметры удельного расхода энергии приближаются к значению самолета хотя скорости полета сильно различаются.

Другой интересный факт показывает, что в настоящее время грань между самолетами и ракетами размывается. Установлено, что выше 100 км самолеты

летать не могут, что имеет смысл обсуждать и интерпретировать на занятиях по физике. Теодор фон Карман (1881 – 1963) определил границу между атмосферой и космосом на высоте порядка 100 км, высказав предположение, что на такой высоте самолеты летать не в состоянии.

Чтобы обосновать этот тезис примем, что у поверхности Земли плотность воздуха $\rho_0 = 1,29 \text{ кг/м}^3$, и учтем, что самолет МиГ 29 массой 15 240 кг на высоте 17 км развивает скорость $v_1 = 2\,350 \text{ км/ч} = 652,78 \text{ м/с}$. На этой высоте плотность воздуха равна $0,15 \text{ кг/м}^3$, то есть составляет порядка 10 % так как $\rho_1/\rho_0 = 0,11611$. На высоте 100 км плотность воздуха отвечает соотношению $\rho_2/\rho_0 = 4,4075 \cdot 10^{-7}$, составляя порядка $5,68 \cdot 10^{-7} \text{ кг/м}^3$.

Сила тяжести, действующая на самолет, должна быть уравновешена подъемной силой $mg = c_y S \rho v^2 / 2$ – здесь m – масса самолета, c_y – аэродинамический коэффициент, S – площадь крыльев. Из этого следует, что если для высоты в 17 км $c_y S = 2mg/\rho_1 v_1^2$, то при том же значении произведения $c_y S$ для высоты в 100 км вытекает, что скорость вблизи космоса должна быть $v_2^2 = \rho_1 v_1^2 / \rho_2$, отвечая 336,5 км/с и существенно превышая первую космическую скорость, да еще в условиях холода, так как на такой высоте температура воздуха отрицательна, порядка -90°C .

31 августа 1977 года летчик А.Федотов на экспериментальном самолете Е – 266 М бюро Микояна поднялся на высоту 37 650 м, что является мировым рекордом для самолета с реактивным двигателем. Можно предложить пересчитать требуемую скорость полета для этого самолета. Его масса 36 тонн, скорость 3 200 км/ч (889 м/с) при плотности атмосферы $0,8962 \cdot 10^{-2} \text{ кг/м}^3$.

Следующая задача из области глобального воздействия законов физики на развитие воздухоплавания и освоение пространства связана с изучением состояния невесомости, его имитацией на базе самолета. Возникает вопрос, по какой траектории должен лететь аппарат для того, чтобы можно было воспроизвести невесомость и как долго это возможно. Невесомость как состояние, свободного падения при движении объекта с ускорением g возможно на первый взгляд реализовать вблизи поверхности, если компенсировать сопротивление воздуха за счет тяги двигателей, но практически это осуществить невозможно. В виду этого падение самолета должно происходить в области, где сопротивление мало, т.е. на большой высоте. Поскольку тело, брошенное под углом к горизонту, движется с ускорением g находясь в невесомости, то самолет на большой высоте также должен описывать аналогичную траекторию.

Время подъема на максимальную высоту зависит от угла наклона к линии горизонта α и от начальной скорости v_0 , а полное время движения отвечает удвоенному времени подъема $t = 2v_0 \sin \alpha / g$. Как видим, это время максимально при вертикальном бросании $\alpha = \pi/2$. При перемещении на высоту $h = 9$ км из расчета $v_0^2 = 2gh$, время имитации невесомости порядка 84,85 с, что является максимальным промежутком. Для самолета на большой высоте при его способности двигаясь под углом к горизонту подняться еще выше, на высоту Δh , продолжительность невесомого состояния составит $t_1 = 2\sqrt{2\Delta h/g} \sin \alpha$. Для $\Delta h = 2$ км и $\alpha = \pi/2$ время свободного падения $t_2 = 40$ с, что по порядку величины соответствует реальности.

В целом, увеличение времени поддержания состояния невесомости является актуальной задачей и ее решение отыскивали иначе. Самолет – носитель White Knight Илона Маска поднявшись на высоту 14 км дал старт ракетоплану, который при минимальных затратах топлива забрасывал корабль Space Ship One на высоту 112 км. В результате полет в невесомости до границы космоса был увеличен до 3 мин. Возникает простейшая задача объяснить, почему затраты топлива малы. Более сложна задача расчета времени полета в невесомости. Не менее оригинально была решена проблема спуска на землю путем изменения геометрии крыла и хвоста, когда корабль превращается в «волан» опускаясь до 17 км, где снова принимает форму планера для приземления.

Итак, в состоянии невесомости, тело должно двигаться под действием сил гравитации поскольку на большой высоте сопротивление воздуха мало и им можно пренебречь. Поэтому, если ориентировать самолет под углом к горизонту и отключить двигатели, то наступает движение только под действием силы тяжести, то есть невесомость. Пусть на заданной высоте скорость самолета v_0 ориентирована под углом α к горизонту. Тогда вертикальная составляющая скорости составляет $v_y = v_0 \sin \alpha$ и с такой скоростью самолет поднимается с течением времени t , пока не погаснет вертикальная составляющая скорости ($v_y = 0$; $t = v_0 \sin \alpha / g$). Поэтому, общее время состояния невесомости составит $2t$, которое обычно достигает 40 с, (для $v_0 = 230$ м/с $\sin \alpha = 0.8696$ и $\alpha = \pi/3$). При этом самолет поднимается на дополнительную высоту Δh порядка 2 км, например с высоты 9 км до 11 км, что приемлемо.

Выполненные оценки были привлечены к обеспечению реального полета в августе 1988г года, когда самолет-лаборатория ИЛ-76 МДК находясь на высоте 6000 м, с максимальным ускорением набирал высоту до 9000 м под углом 45° (перегрузка составляла $2g$) с последующим отключением тяги двигателя.

При движении по инерции и во время переваливания самолета через вершину параболы для последующего снижения и был симитирован режим невесомости длительностью от 25 до 28 секунд. Затем самолет снижался до высоты 6000 м. Проверить эти цифры достаточно просто, так как следуя описанию можно понять, что самолет «падал» свободно около 3 км для которого требуется время около 24,5 с. что и составило длительность невесомости

Заключение. История авиации дает массу примеров постановки и разрешения практических проблем технического и исследовательского рода из области различных разделов механики включая динамику и кинематику не только сложных конструкций-агрегатов как систем материальных точек, но и материалов различной степени плотности, включая конденсированные среды, на примере фазовых переходов между агрегатными состояниями, изучаемых и в настоящее время по ходу поисков более успешного решения проблемы обледенения несущих поверхностей. Практическая направленность подобных задач может явиться стимулом к повышению интереса слушателей различных учреждений в профессиях, связанных с физикой.

Библиографические ссылки

1. Зигуненко, С.Н. 100 великих рекордов авиации и космонавтики / С.Н. Зигуненко; под ред. Н.М.Смирнова. – Москва: Вече, 2018. – 453 с.
2. Пуков, В.Н. Энциклопедия авиации / В.Н. Пуков, А.Н. Толкачев; под ред. В.Обручева. – Москва: Эксмо, 2013. – 271 с.