Тамбовская ОШИ с ПЛП имени М. Расковой

Петля Нестерова. Моделирование движения самолета

Интегрированный урок по теме № 12 (аэродинамика) и теме № 6 (информатика и ИКТ)

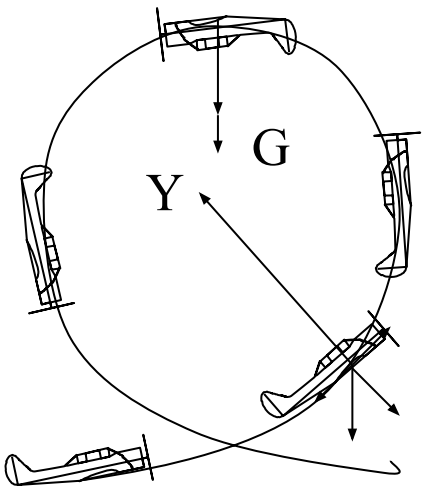
27 февраля 2009 г.

Пётр Никола́евич Не́стеров (27 февраля 1887 — 8 сентября 1914) — воспитанник Нижегородского кадетского корпуса, штабс-капитан, русский военный лётчик. Основоположник высшего пилотажа (петля Нестерова). Погиб в воздушном бою, впервые в практике боевой авиации применив таран.

Для доказательства своей идеи, согласно которой «в воздухе для самолета всюду опора», 27 августа 1913 года в Киеве над Сырецким полем П. Н. Нестеров впервые в мире выполнил на самолете «Ньюпор-4» с двигателем «Гном» в 70 л. с. замкнутую петлю в вертикальной плоскости. Этим маневром Нестеров положил начало высшему пилотажу.

1. Петля Нестерова. Схемы сил и условия выполнения

Петля Нестерова – это фигура пилотажа, при выполнении которой самолет выполняет замкнутую кривую в вертикальной плоскости с сохранением направления полета после вывода.



При вводе в петлю схема сил такая же, как на вводе в горку.

В верхней точке петли искривлению траектории вниз способствует, как сила тяжести, так и подъемная сила.

На выводе их петли схема сил такая же, как и при выводе самолета из пикирования.

Исследования показывают, что для выполнения петли необходимо:

-на вводе скорость должна быть не менее чем в два раза больше, чем минимально допустимая скорость;

-перегрузка при вводе в петлю должна быть не менее четырех.

2. Техника выполнения петли Нестерова

Перед выполнением петли наметить ориентир для вывода. Увеличить скорость до 300 км/час по прибору.при оборотах двигателя 82% и полном наддуве. Плавным движением ручки на себя перевести самолет на кабрирование.

Продолжая выбирать ручку управления на себя, создать угловую скорость вращения с таким расчетом, чтобы при угле кабрирования 40…50^0 перегрузка была 4…4,5, а скорость в верхней части петли не менее 140 км/час.

В верхней точке петли с появлением в поле зрения горизонта уточнить положение самолета. Когда капот самолета подойдет к горизонту, убрать наддув и плавным движением ручки управления на себя перевести самолет в пикирование.

При достижении скорости 200 км/час дальнейшим взятием ручки управления на себя выходить в горизонтальный полет с таким расчетом, чтобы скорость в конце вывода была равна 260..270 км/час. При угле пикирования 50…40^0 увеличить наддув двигателя до необходимой величины для выполнения следующего задания.

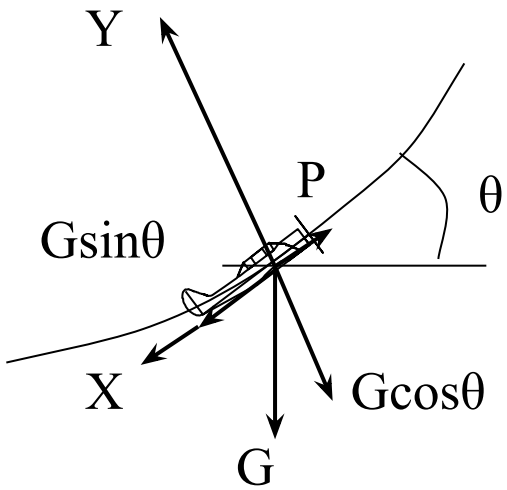
3. Уравнения движения самолёта при выполнении пилотажа в вертикальной плоскости

Уравнения движения самолета, как материальной точки, можно записать на основании второго закона Ньютона.

$$F = m \cdot a$$

Это уравнение можно переписать в виде:

$$a = \frac{F}{m} = \frac{dV}{dt}$$



В поточной системе координат уравнения в проекциях на оси будут иметь вид:

$$\frac{dV}{dt} = \frac{g}{G}(P - X - G\sin\theta$$

$$V\frac{d\theta}{dt} = \frac{g}{G}(Y - G\cos\theta)$$

После разделения переменных уравнения примут следующий вид:

$$dV = \frac{g}{G}(P - X - G\sin\theta)dt$$ - изменение скорости при выполнении маневра;

$$d\theta = \frac{g}{GV}(Y - G\cos\theta)dt$$ - изменение угла наклона траектории;

$$dL = (V + \frac{dV}{2})\cos\theta dt$$ - изменение длины пути в горизонтальной плоскости;

$$dH = (V + \frac{dV}{2})\sin\theta dt$$ - изменение высоты полета за время *dt;*

$$V = V + dV$$

$$\theta = \theta + d\theta$$

$$L = L + dL$$

$$H = H + dH$$

$$t = t + dt$$

Формулы для вычисления сил:

$$c_y = c_y^{\alpha}(\alpha - \alpha_0) \qquad Y = c_y \rho \frac{V^2}{2} S$$

$$c_x = c_{x_0} + A \cdot c_y^2 \qquad X = c_x \rho \frac{V^2}{2} S$$

$$P = P_0 - (V - 100)k_p$$

4) Составление программы для эксперимента

```
DECLARE SUB tyaga ()
 'Программа для исследования вертикальных маневров
CLS
INPUT  "Введите начальную скорость"; VI
INPUT  "Введите конечный угол наклона траектории"; Teta2
INPUT  "Введите угол атаки"; alfa
INPUT  "Введите временной шаг интегрирования уравнений"; dt
V = VI / 3.6
t = 0: L = 0: gp = 9.81: G = 1200: H = 500
cy = .084 * (alfa + 1): Teta = 0
WHILE Teta < Teta2
tyaga
dV = gp / G * (P - X - G * SIN(Teta)) * dt
dTeta = gp / (G * V) * (Y - G * COS(Teta)) * dt
L = L + (V + dV / 2) * COS(Teta + dTeta / 2) * dt
V = V + dV
Teta = Teta + dTeta
H = H + ((V + dV / 2) * SIN(Teta + dTeta / 2)) * dt
t = t + dt
VI = V * 3.6
IF VI < 130 THEN PRINT "VI<VI min доп.": STOP
Teta1 = Teta * 57.3
```

$n_y = Y / G$

```
PRINT "VI="; VI, "ny="; ny, "Teta="; Teta1, "L="; L, "H="; H, "t="; t
WEND
PRINT : PRINT "VI="; VI, "Teta="; Teta1, "L="; L, "H="; H, "t="; t
END
```

```
SUB tyaga
SHARED G, X, P, V, VI, cy, Y
A = .062: cx0 = .0375: S = 15: ro0 = .125
Y = cy * ro0 * V ^ 2 / 2 * S
P0 = 438: kP = .932
cx = cx0 + A * cy ^ 2
X = cx * ro0 * V ^ 2 / 2 * S
P = P0 - (VI - 100) * kP
END SUB
```

5) Компьютерный эксперимент с моделью «Вертикаль»

Рассмотрим выполнение на самолете Як-52 петли Нестерова, с использование программы, которой была составлена на предыдущем уроке.

а) Точность проведения численного эксперимента зависит от временного шага и выбранного закона управления самолетом.

Инструкция экипажу самолета Як-52 предписывает выполнение петли Нестерова при следующих условиях:

- скорость ввода 300 км/час;
- закон управления должен быть таким, чтобы в верхней точке петли скорость была не ниже 140 км/час.

Мы примем упрощенный закон управления: летчик в начальный момент задает самолету нужный угол атаки (нормальную перегрузку) и выдерживает его в процессе выполнения всей фигуры.

Для заданных условий определим нужный угол атаки, обеспечивающий в верхней точке петли скорость не ниже 140 км/час.

Выполним программу VERTIKAL при следующих условиях: $\theta = 180^0$ (3.14 рад.)

$V_{нач.}$[км/ч]	300	300	300
α [град.]	8	10	11
dt[c]	0.1	0.1	0.1
$V_{кон.}$[км/ч] расчетная			

б) Компьютерный эксперимент по расчету характеристик Петли Нестерова, выполняемой на самолете Як-52, проведем с временным шагом dt=0.1 при следующих условиях: $V_{нач.}$= 300 км/ч; угол атаки = 10.5^0, высота ввода 500 м. Для возможности фиксирования данных эксперимента угол наклона траектории будем задавать поэтапно через 0.5 радиана

θ [рад]	θ [град.]	n_y	V[км/ч]	t [с]	L [м]	H [м]
0.5						
1						
1.5						
2						
2.5						
3						
3.5						
4						
4.5						
5						
5.4						
6						
6.28						

5) Построить траекторию движения самолета с указанием около расчетных точек значений скорости, перегрузки, времени и угла наклона траектории.

Сделать выводы о возможности и условиях выполнения петли Нестерова на самолете Як-52