

Теория к семинару №13

При движении тела в атмосфере Земли на него помимо силы тяжести также действует сила сопротивления воздуха

$$F(v) = iS \frac{\rho v^2}{2} c_x \left(\frac{v}{a} \right), \quad (1)$$

где i - коэффициент формы, S - площадь лобового сечения, ρ - плотность среды, c_x - закон сопротивления, a - скорость звука.

Для тела с круглым сечением, очевидно,

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (2)$$

Плотность атмосферы ρ является функцией виртуальной температуры T_v , давления P_0 в точке бросания, высоты полета y

$$\rho = \rho(y) = 1.225 \left(\frac{T(y)}{T_v} \right)^{4.256} \frac{P_0}{T_v} \frac{288.15}{760}, \quad (3)$$

где $T(y)$ - зависимость температуры от высоты

$$T(y) = T_v - 0.0065y. \quad (4)$$

Скорость звука a зависит от температуры в точке полета следующим образом:

$$a = 340.294 \left(\frac{T(y)}{288.15} \right)^{1/2}. \quad (5)$$

Для учета влажности необходимо во всех формулах вместо реальной температуры T_0 использовать так называемую виртуальную температуру

$$T_v = \frac{T_0 + 273.15}{1 - \frac{3}{8} \frac{12.7}{P_0} w}, \quad (6)$$

где w - влажность, выраженная в долях 1. В этой формуле T_0 - температура в градусах Цельсия в точке бросания, то есть в числителе дроби стоит абсолютная температура.

Для расчета закона сопротивления c_x можно использовать следующий код:

```
function r=cx(x)
pa=[0.0525    -0.9476    8.9342    -9.4610    0.3207    4.2980    -1.9382];
pb=[1.0000   -15.4071   178.6690  -580.8643   985.5873  -853.9492   296.9213];
pc=[0.0531    0.9449    90.5063    0.1639];
r = polyval(pa,x.^2)./polyval(pb,x.^2) + pc(1)./(1+exp(-(x-pc(2))*pc(3)))+pc(4);
end
```

Для учета дерирации надо систему дифференциальных уравнений внешней баллистики для движения центра масс тела дополнить еще двумя уравнениями

$$\begin{aligned}\frac{dz}{dt} &= qv_x \pi v_0 c_d, \\ \frac{dq}{dt} &= \frac{e^{-m_3 t}}{v^2},\end{aligned}\tag{7}$$

где v_x - горизонтальная компонента скорости, v_0 - начальная скорость, v - модуль скорости, c_d - коэффициент дерирации, m_3 - коэффициент убывания угловой скорости вращения.

Если метание тела осуществляется с помощью порохового заряда, то начальная скорость тела будет зависеть от температуры заряда T_z

$$v_0 = v_{15}(1 + z_t(T_z - 15)),\tag{8}$$

где v_{15} - начальная скорость при 15°C , z_t - коэффициент температуры заряда.

Для учета влияния ветра необходимо сперва перейти в систему отсчета, связанную с ветром, где атмосфера неподвижна, затем решить задачу и при необходимости вернуться в исходную систему отсчета.

Заметим, что в баллистике принято углы выражать в так называемых делениях угломера (д.у.). По определению, окружность делится на 6000 таких делений, т.е.

$$1 \text{ д.у.} = \frac{\pi}{3000} = 0.06^\circ.\tag{9}$$

Задание к семинару №13

1. Определить угол бросания для пули Б-32 пулемета НСВ-12.7 на дальность 2000м с точностью не хуже 0.01 д.у., если

$$g = 9.80665 \frac{M}{c^2}$$

$$d = 12.7 мм$$

$$m = 48.3г$$

$$i = 1.0629$$

$$v_{15} = 820 \frac{M}{c}$$

$$P_0 = 750 мм.рт.с.$$

$$T_0 = 15^\circ C$$

$$w = 0.5$$

$$z_t = 1.35 \cdot 10^{-3}$$

$$c_d = 0.0423$$

$$m_3 = 0.1744$$

Здесь m - масса пули.

Повторить расчет для $T = 5^\circ C$.

Указание: перейти от независимой переменной t к переменной x (координата пули вдоль траектории).

2. Определить угол бросания и горизонтальную угловую поправку с учетом ветра и деривации в условиях предыдущей задачи ($T_0 = 15^\circ C$), если скорость ветра 10м/с, он дует справа налево перпендикулярно траектории, а деривация приводит к смещению пули вправо.
3. Определить максимальную дальность полета в условиях 1 задания ($T_0 = 15^\circ C$).