



Задача № 1

При маневре беспилотному летательному аппарату необходимо отклонить руль высоты 5 (рисунок 1), который связан с электродвигателем 6 через редуктор 7 шестернями d_2 и d_3 . Крутящий момент на руль передается от шестерни d_1 электродвигателя 6 на шестерню руля d_4 . Определите крутящий момент и силу тока электрического двигателя для поворота руля со скоростью $\omega_{\text{руль}} = 5$ град/с.

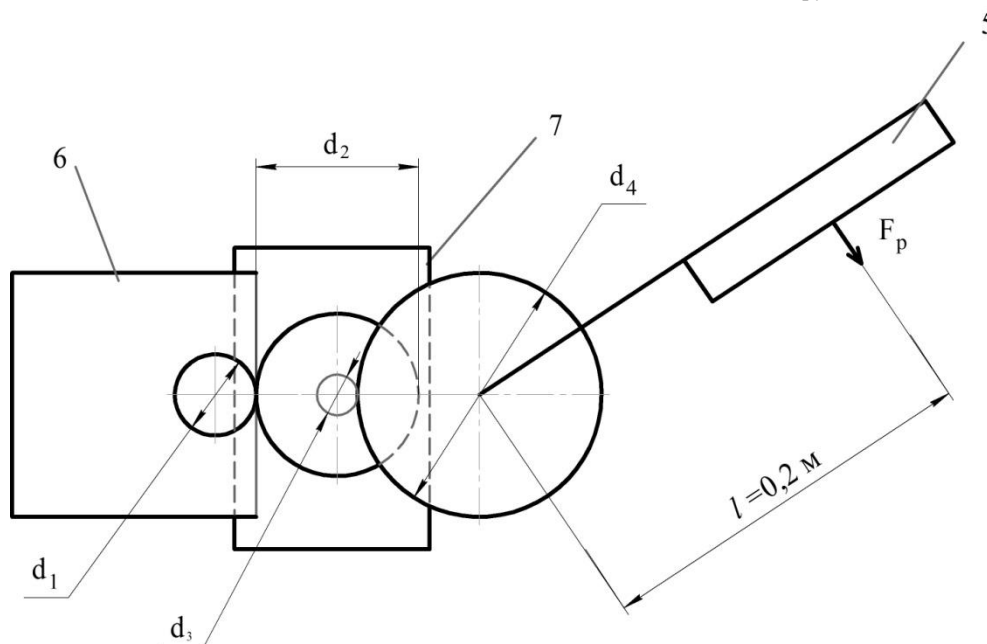


Рисунок 1 – Расчетная схема

При этом – площадь поверхности руля $S = 0,1 \text{ м}^2$; скорость набегающего потока $V = 20 \text{ м/с}$, плотность воздуха $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$, аэродинамический коэффициент $C = 1$. Диаметры шестерен равны соответственно $d_1 = 1 \text{ м}$, $d_2 = 2 \text{ м}$, $d_3 = 0,5 \text{ м}$, $d_4 = 3 \text{ м}$. Шестерни d_3 и d_4 находятся на одном валу редуктора. КПД редуктора $\eta_p = 0,9$. Напряжение, подаваемое на электродвигатель $U = 12 \text{ В}$, КПД электродвигателя $\eta_{\text{эд}} = 0,8$. равнодействующая сила действующая на руль определяется по формуле

$$F_p = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C \cdot S.$$

Решение:

1. Крутящий момент для поворота руля равен

$$M_{\text{кр}} = F_p \cdot l.$$

$$M_{\text{кр}} = \frac{\rho \cdot V^2}{2} \cdot C \cdot S \cdot l$$

$$M_{кр} = \frac{1,25 \cdot 20^2}{2} \cdot 1 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 5 \text{ Нм.}$$

2. Мощность от аэродинамической нагрузки

$$P_{аэр} = M_{кр} \cdot \omega_{рул} \quad (1)$$

3. Исходя из закона сохранения энергии

– для механической передачи

$$\eta_p = \frac{P_{аэр}}{P_p}; \quad (2)$$

где P_p – мощность редуктора;

– для электрического двигателя

$$\eta_p = \frac{P_p}{P_{дв}}; \quad (3)$$

где $P_{дв}$ – мощность двигателя.

Из (2) выразим P_p

$$P_p = \frac{P_{аэр}}{\eta_p}. \quad (4)$$

Подставим (4) в (3) получим

$$\eta_p = \frac{P_{аэр}}{\eta_{дв} \cdot P_{дв}}. \quad (5)$$

Преобразуем выражение (5)

$$\eta_p \cdot \eta_{дв} = \frac{P_{аэр}}{P_{дв}}.$$

Учитывая (1) получим

$$\eta_p \cdot \eta_{дв} = \frac{M_{кр} \cdot \omega_{рул}}{M_{дв} \cdot \omega_{дв}}. \quad (6)$$

Согласно расчетной схеме

$$\omega_{дв} = \frac{d_4}{d_3} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot \omega_{рул}. \quad (7)$$

Подставляем (7) в (6) получим

$$\eta_p \cdot \eta_{дв} = \frac{M_{кр} \cdot \omega_{рул}}{M_{дв} \cdot \omega_{рул}} \cdot \frac{d_3}{d_4} \cdot \frac{d_1}{d_2} \quad (8)$$

Из (8) выразим крутящий момент на электродвигателе

$$M_{дв} = \frac{M_{кр} \cdot d_3 \cdot d_1}{\eta_p \cdot \eta_{дв} \cdot d_4 \cdot d_2}$$

$$M_{дв} = \frac{5}{0,9 \cdot 0,8} \cdot \frac{0,5}{3} \cdot \frac{1}{2} = 0,59 \text{ Нм.}$$

4. Мощность двигателя равна $P_{дв} = I \cdot U$.

Согласно закону сохранения энергии

$$\eta_{эд} \cdot \eta_p \cdot M_{дв} \cdot \omega_{дв} = I \cdot U.$$

Из данного выражения выразим силу тока

$$I = \frac{\eta_{эд} \cdot \eta_p M_{дв} \cdot \omega_{дв}}{U}$$

С учетом (7) получим

$$I = \frac{\eta_{эд} \cdot \eta_p M_{дв} \cdot d_4 \cdot d_2 \cdot \omega_{рул}}{U \cdot d_3 \cdot d_1};$$

$$I = \frac{0,8 \cdot 0,9 \cdot 0,59 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 5}{12 \cdot 0,5 \cdot 1} = 2,12 \text{ А.}$$

Задача № 2

Исследования показывают, что, при условии достаточной удалённости двух точек друг от друга, кратчайшая траектория полёта беспилотного летательного аппарата (далее – БПЛА) из точки **A** (с начальным углом курса) в точку **B** (с заданной ориентацией по углу курса) будет состоять из разворота по дуге окружности, полёта по прямой и ещё одного разворота (рисунок 2). (считается, что путь по дуге является полуокружностью).

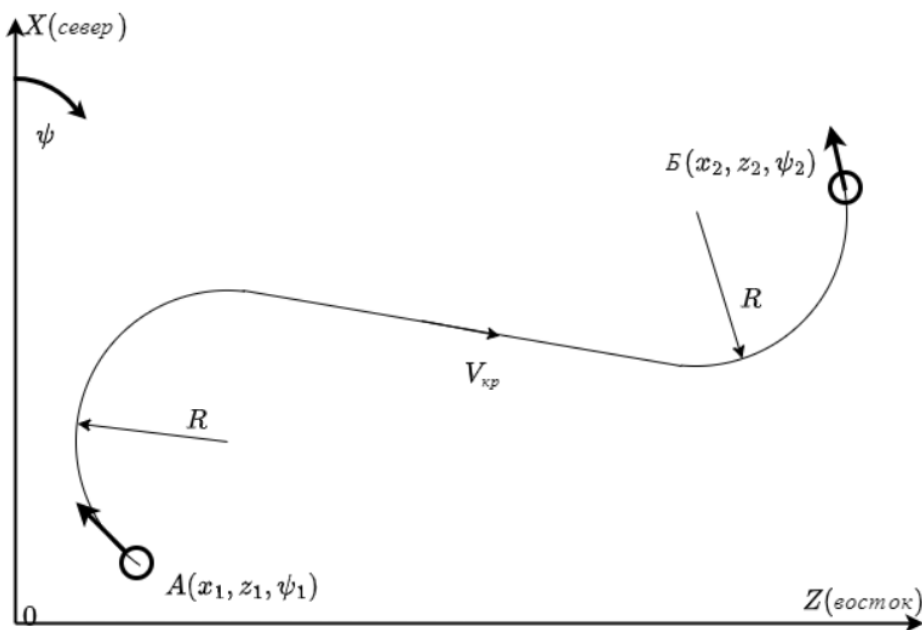


Рисунок 2 – Траектория полёта беспилотного летательного аппарата

Для достижения критерия минимизации времени полёта БПЛА должен двигаться по кратчайшей траектории с максимально возможной скоростью.

Допустим, что БПЛА совершает полёт на постоянной высоте и может осуществлять разворот только по окружности заданного радиуса $R=100\text{м}$. При этом значение угла крена составляет $\gamma = 45^\circ$.

Связь мгновенного радиуса разворота с углом крена описывается соотношением

$$R = \frac{V^2}{g \cdot \tan(\gamma)}$$

Определите минимально возможную длину траектории полёта из точки **A** в точку **B**, а также время полёта БПЛА из точки **A** в точку **B**. При этом, ускорение

свободного падения $g=9.81 \text{ м/с}^2$, максимальная угловая скорость разворота по крену $\dot{\gamma}_{max} = 0,2618 \text{ 1/с}$, крейсерская скорость полета по прямой $V_{кр}=15 \text{ м/с}$.

Гарантируется, что расстояние между точками А и Б достаточно велико, чтобы оптимальная траектория включала в себя участок прямолинейного полёта.

Решение: Т.к. расстояние по окружности четко задано, то остается вычислить минимальную длину полета по прямой. БПЛА нужно развернуться, поэтому кратчайшим путем будет этап изменения угла крена в другую сторону (на 90 градусов). Угловая скорость известна. Переведем ее в единицы измерения рад/с и получим 1,645. Отсюда найдем время прямого участка полета: $1,5708/1,645=0,9545 \text{ с}$. Скорость по прямой дана. Поэтому расстояние равно: $15*0,9545=14,32 \text{ м}$.

Путь по дуге вычисляется, как длина окружности, деленная на 2. Но таких дуги у нас 2, поэтому сократим. Итак, путь по двум дугам равен: $2*\pi*R=628 \text{ м}$. Сложим с расстоянием по прямой: $628+14,32=642,32 \text{ м}$.

Время вычислим через скорость: $V = \sqrt{R * g * \tan(\gamma)} = 31 \text{ м/с}$. Далее: $642,32/31=20,72 \text{ с}$. Общее время полета $20,72*2+0,9545=42,4 \text{ с}$.

Ответ: 642,32м; 42,4с.

Задача № 3

Скорость истечения газов из сопла двигателя БПЛА $V = k \cdot \sqrt{\frac{T}{\mu}}$, где T – абсолютная температура газов в камере сгорания, μ – молекулярный вес продуктов сгорания, а $k = \text{const}$. На сколько процентов увеличится скорость истечения газов из двигателя с жидким топливом, если температура увеличиться с 2500 до 3200°K, а молекулярный вес топлива уменьшиться с 18 до 14?

Решение:

1. Определим скорость истечения газов из сопла двигателя БПЛА при температуре 2500°K

$$V_1 = k \cdot \sqrt{\frac{2500}{18}} = 11,8k.$$

2. Определим скорость истечения газов из сопла двигателя БПЛА при температуре 3200°K

$$V_2 = k \cdot \sqrt{\frac{3200}{14}} = 15,1k.$$

3. Отношение скоростей истечения газов

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{15,1k}{11,8k} \approx 1.28$$

показывает, что скорость увеличиться на 28 %.