**ОЦЕНКА ВЫИГРЫША ЗАТРАЧИВАЕМОЙ ЭНЕРГИИ В ЕДИНИЦУ ВРЕМЕНИ И НА ЕДИНИЦУ ПРОЙДЕННОГО ПУТИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ ОТКЛОНЕНИЯ ВИНТОМОТОРНОЙ ГРУППЫ КОНВЕРТОПЛАНА**

**С. С. Ногтев**

Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)

**Аннотация.** В работе рассмотрен расчет потребной тяги и оценка выигрыша затрачиваемой энергии в единицу времени и на единицу пройденного пути при различных углах отклонения винтомоторной группы конвертоплана.

Расчет производился на примере аэротакси Airbus Vahana.



Рисунок 1 - Airbus Vahana

Графики зависимостей аэродинамических величин от угла атаки (рад): К(alpfa), c\_y(alpfa), c\_x(alpfa).

% К(alpfa), c\_y(alpfa), c\_x(alpfa)

syms alpfa

K=-1202.2026\*alpfa^3-72.1322\*alpfa^2+69.0713\*alpfa+1.4007;

c\_y=3.5\*x+0.07;

c\_x=c\_y/K

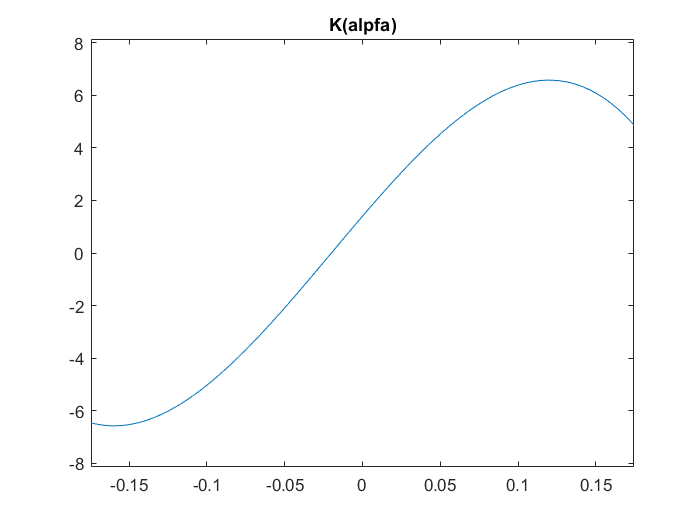
****

Рисунок 2 – График зависимости K(alpfa)

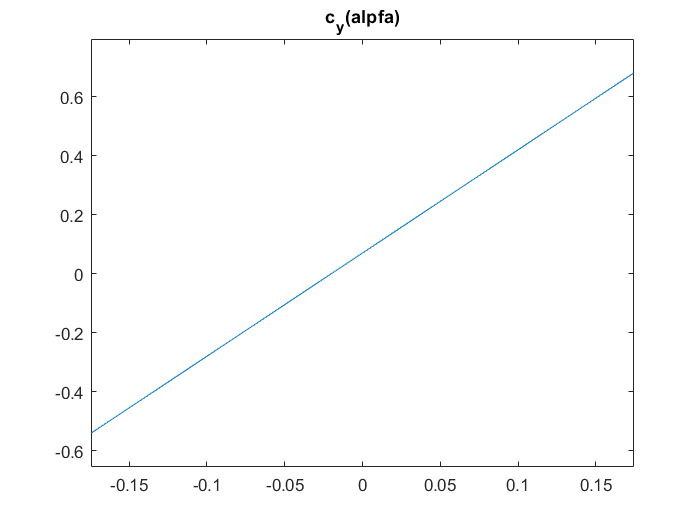


Рисунок 3 – График зависимости c\_y(alpfa)

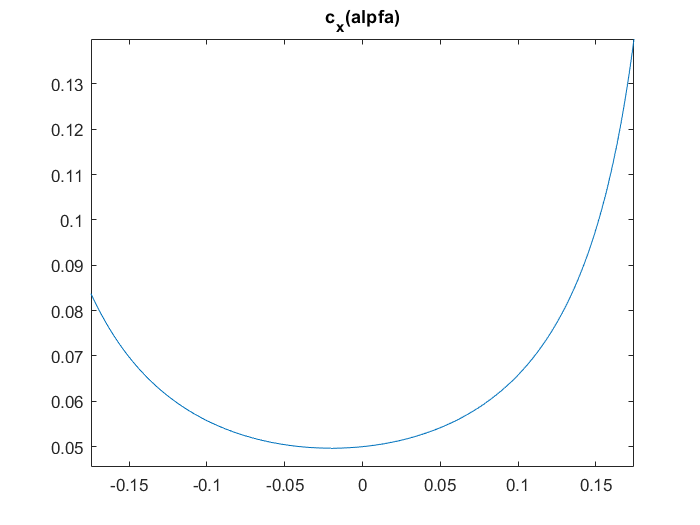


Рисунок 4 – График зависимости c\_x(alpfa)

Данные о ЛА, необходимые для расчета:

syms fi\_p u % Исходные данные о ЛА

theta=0; % угол наклона траектории = 0, горизонтальный полет

alpfa=5\*pi/180; % угол атаки, рад

g=9.81; % ускорение свободного падения, м/с^2

rho=1; % плотность воздуха на высоте 2000м, кг/м^3

K=-1202.2026\*alpfa^3-72.1322\*alpfa^2+69.0713\*alpfa+1.4007; % Коэфф. а. к.

c\_y=3.5\*alpfa+0.07; % аэродинамический коэффициент подъемной силы

c\_x=c\_y/K; % аэродинамический коэффициент лобового сопротивления

m\_p=1; % коэффициент профильного сопротивления

c\_o=0.095; % коэффициент тяги винта (выполняется:P1\_max=1100, omega\_max=300)

m=800; % максимальная взлетная масса, кг

S=10; % площадь крыла, м^2

Y\_a=m\*g; % потребная подъемная сила

P\_max=8800; % максимальная тяга: 8\*110кгс=880кгс=8800Н

n=8; % число двигателей ВМГ

R=0.75; % радиус каждого винта ВМГ

omega\_max=300; % макс. угловая скорость вращения лопасти винта ВМГ, рад/c

KPD=0.7; % КПД=70%

Аналитическое вычисление X\_a, P и V для определения зависимости индуктивной скорости от угла отклонения ВМГ: u\_i(fi\_p)

% Аналитические зависимости X\_a(fi\_p), P(fi\_p), V(fi\_p) для определения u\_i(fi\_p)

X\_a=(sin(fi\_p-alpfa)\*m\*g\*cos(theta)-cos(fi\_p-alpfa)\*m\*g\*sin(theta))/(K\*sin(fi\_p-alpfa)+cos(fi\_p-alpfa));

P=(K\*m\*g\*sin(theta)+m\*g\*cos(theta))/(K\*sin(fi\_p-alpfa)+cos(fi\_p-alpfa));

V=sqrt((2\*X\_a)/(c\_x\*rho\*S));

ufi=P/(n\*2\*rho\*pi\*R^2\*sqrt((V\*cos(fi\_p-alpfa))^2+(V\*sin(fi\_p-alpfa)+u)^2))

Численное вычисление u\_i(fi\_p):

u\_i=alpfa\*180/pi:1:90;

j=0;

for fi\_p=alpfa:1\*pi/180:90\*pi/180

j=j+1;

u\_i(j)=solve(u==872/(pi\*((u + sin(fi\_p - pi/36)\*((141376999502414610432\*sin(fi\_p - pi/36))/(5561799993361601\*cos(fi\_p - pi/36) + (9518347698922264905402679318163\*sin(fi\_p - pi/36))/281474976710656))^(1/2))^2 + (141376999502414610432\*cos(fi\_p - pi/36)^2\*sin(fi\_p - pi/36))/(5561799993361601\*cos(fi\_p - pi/36) + (9518347698922264905402679318163\*sin(fi\_p - pi/36))/281474976710656))^(1/2)\*(cos(fi\_p - pi/36) + (1711378997857363\*sin(fi\_p - pi/36))/281474976710656)),u,'real',true);

end

Зависимости силы сопротивления(X\_a), потребной тяги(P), скорости(V), угловой скорости винта(omega) от угла отклонения ВМГ(fi\_p):

% Зависимости X\_a(fi\_p), P(fi\_p), V(fi\_p), omega(fi\_p)

fi\_p=alpfa:1\*pi/180:90\*pi/180; % Изменение fi\_p от alpfa до 90 градусов

X\_a=(sin(fi\_p-alpfa)\*m\*g\*cos(theta)-cos(fi\_p-alpfa)\*m\*g\*sin(theta))./(K\*sin(fi\_p-alpfa)+cos(fi\_p-alpfa));

P=(K\*m\*g\*sin(theta)+m\*g\*cos(theta))./(K\*sin(fi\_p-alpfa)+cos(fi\_p-alpfa));

V=sqrt((2\*X\_a)/(c\_x\*rho\*S));

omega=sqrt((P\*pi^2)/(n\*4\*c\_o\*rho\*R^4));

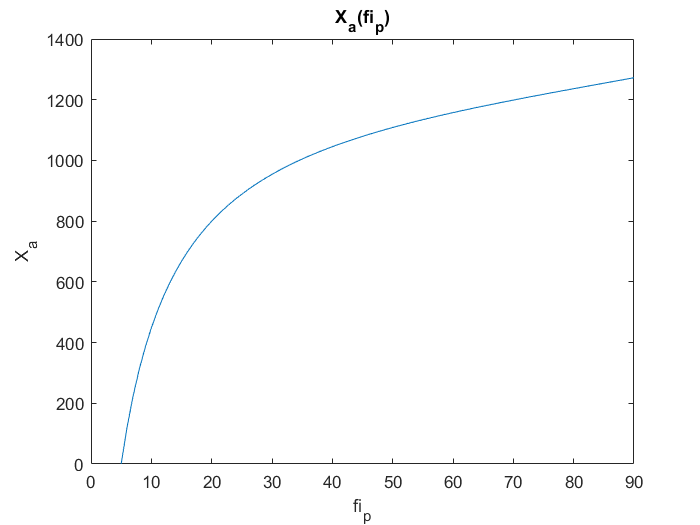


Рисунок 5 – График зависимости X\_a(fi\_p)

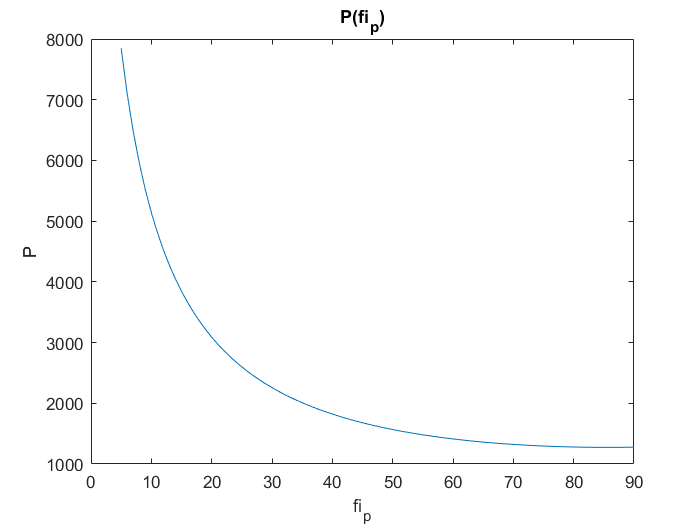


Рисунок 6 – График зависимости P(fi\_p)

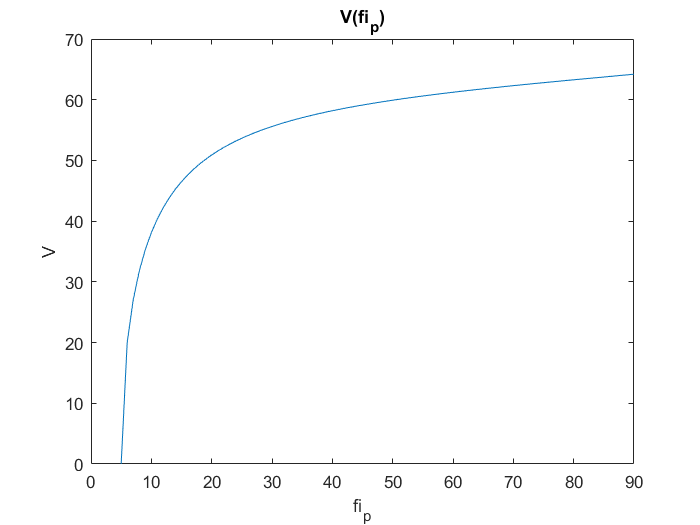


Рисунок 7 – График зависимости V(fi\_p)

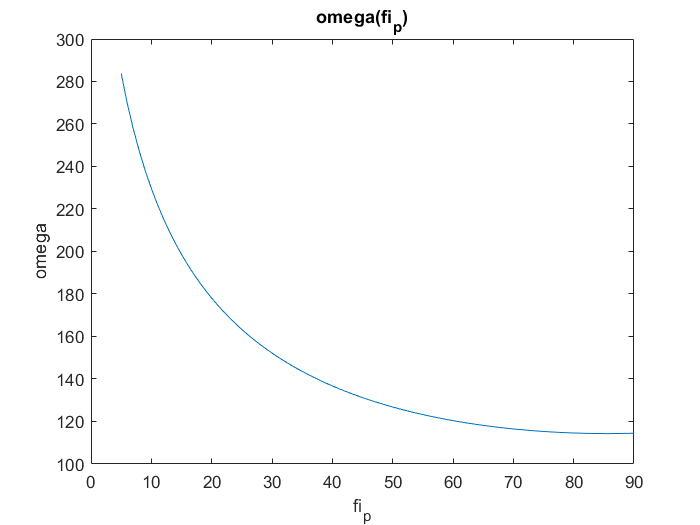


Рисунок 8 – График зависимости omega(fi\_p)

Требуемая мощность(N\_sum) и требуемая мощность ВМГ(N\_VMG):

N\_sum = P.\*V.\*sin(fi\_p-alpfa) + m\_p\*(1+4.6\*((V.\*cos(fi\_p-alpfa)./(omega\*R)).^2)).\*(P.^(1.5))./(sqrt(n\*2\*rho\*pi\*R^2))+P.\*u\_i;

N\_VMG = N\_sum/KPD;

Наименьший расход энергии в единицу времени:

d(N\_VMG)/d(fi\_p) = 0

График зависимости N\_VMG(fi\_p):

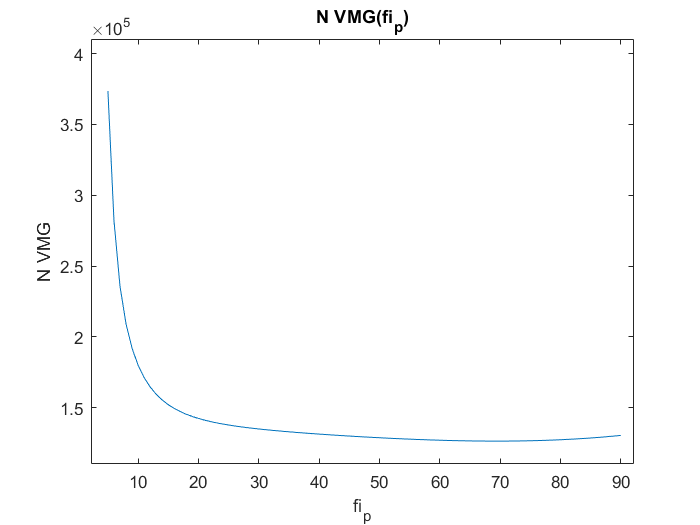


Рисунок 9 – График зависимости N\_VMG(fi\_p)

N\_VMG min=126400 (Вт)

fi\_p=70 (град)

Наименьший расход энергии на единицу пройденного пути:

d(N\_VMG/V)/d(fi\_p) = 0

График зависимости N\_VMG/V(fi\_p):

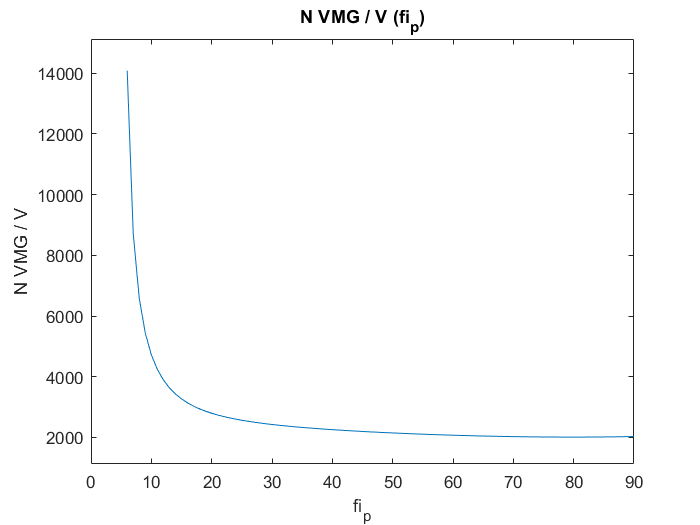


Рисунок 10 – График зависимости N\_VMG/V (fi\_p)

N\_VMG/V min=2013

fi\_p=1.414 (рад)=80 (град)

График зависимости V/N\_VMG(fi\_p):

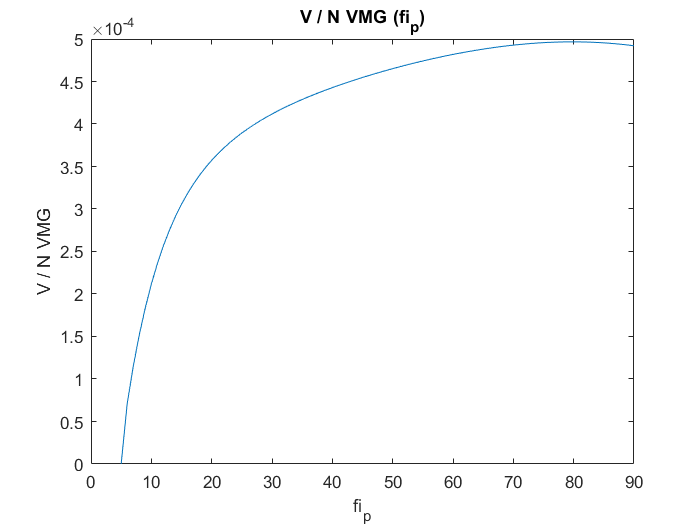


Рисунок 11 – График зависимости V/N\_VMG (fi\_p)

Таким образом, при угле атаки 5 градусов углы отклонения ВМГ для минимизации расхода энергии в единицу времени и расхода энергии на единицу пройденного пути составили 70 и 80 градусов соответственно. За 1 час полета экономия 4,1 кВт\*ч, если полет совершается на угле 70 градусов, а не 90. За 1 час полета экономия 3,1 кВт\*ч, если полет совершается на угле 80 градусов, а не 90.

\*Результат расчета может быть искажен из-за использования неправильных данных о ЛА Airbus Vahana.

**Список использованных источников**

1. В. И. Бусурин, П. В. Мулин Оптимизация балансировочного угла поворота винтомоторной группы электроконвертоплана.