**ВИСНОВКИ**

1. На основі аналізу сучасного стану і перспектив розвитку світового вертольотобудування, а також різноманіття задач, які виконують вертольоти показано актуальність проблеми удосконалення існуючих систем стабілізації шляхом синтезу оптимальних структур регуляторів в контурі стабілізації.

2. Проведено аналіз існуючих способів дослідження динаміки нестійких об`єктів і на його основі розроблено методику синтезу оптимальних передаточних функцій замкненої системи з урахуванням особливостей динаміки такої системи, як нестійкого об’єкта керування та стохастичних зовнішніх впливів.

3. Із застосуванням розроблених методики і алгоритму вирішена задача синтезу оптимальної системи стабілізації вертольота в режимі висіння.

4. Показано доцільність і ефективність аналітичного конструювання оптимальних по точності систем стабілізації.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Євланов Л.Г. Контроль динамічних систем. Наука, 1972. – 424 с.

2. Блохін Л.М. Оптимальні системи стабілізації. – Київ: Техніка, 1982. -144 с.

3. Азарсков В.М., Блохін Л.М., Житецький Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации. – НАУ, 2006. – 437 с.

4. Бесекерський В.А., Попов Е.П. Теорія систем автоматичного регулювання. – М. : Наука, 1966. – 992 с.

5. Дмитриев И. С., Есаулов С. Ю. Системы управления одновинтовых вертолетов. – М.: Машиностроение, 1969. – 218 с.

6. Есаулов С. Ю., Бахов О. П., Дмитриев И. С. Вертолет как объект управления. – М.: Машиностроение, 1977. – 191 с.

7. Володко А.М. Основы летной эксплуатации вертолетов. - Москва «Транспорт» 1986. – 263 с.

8. Блохін Л.М., Тунік А.А. Оптимізація точності систем автоматичного керування польотом. – К. : КІІЦА, 1982. – 52 с.

9. Блохін Л.М., Кривоносенко О.П. Синтез оптимальної мимовільної структури двоконтурної системи стабілізації програмного руху багатомірного динамічного об'єкта. У кн.: сб. наутч. тр. „ Моделювання польоту ВР цивільної авіації”. – Київ, КІІЦА, 1986. – с. 80-84

10. Володко А.М. Основы аэродинамики и динамики полета вертолета. – М.: Транспорт, 1988. – 342 с.

11. Дейч А. М. Методы идентификации динамических объектов. – М.: Энергетика, 1979. – 240 с.

12. Красовский А. А. Системы автоматического управления полетом и их аналитическое конструирование. – М.: Наука, 1973. – 558 с.

13. Ньютон Дж. К., Гулд Л. А., Кайзер Дж. Ф. Теория линейных следящих систем. – М.: ФМ, 1961. – 407 с.

14. Потемкин В. Г., Рудаков П. И. MATLAB 5 для студентов. - М.: Диалог МИФИ, 1999. - 448 с.

15. Фельдбаум А. А. Основы теории оптимальных автоматических систем. – М.: Наука. - 1966. – 384 с.

16. Алієв Ф.А., Ларін В.Б., Науменко К.И., Сунцев В.Н. Оптимизація лінійних інваріантних у часі систем керування. – К.: Наук. Думка, 1978. – 327с.

17. Колоколов С. Н., Коновалов А. П. Динамика управляемого движения вертолета. – М.: Машиностроение, 1987. – 144 с.

18. «Методичні вказівки до виконання розділу «Охорона праці» в дипломних проектах і роботах» І. О. Запорожець, А. В. Русаловський. Київ 2011 р. 30 с.

19. ДНАОП 0.00-1.31-99. “Правила охорони праці під час експуатації електронно-обчислювальних машин”. – Київ: 1999р. – 30с.

19. «Экология и устойчивое развитие: Учебное пособие.» — Дрейер О. К., Лось В. А. М.: Изд. УРАО. — 1997.

20. «Основи екології.» — Злобін Ю. А. К.: Вид. “Лібра”. ТОВ. — 1998

**ДОДАТОК 1**

Текст програми синтезу оптимального закону управління вертольота за вихідними даними.

clc

clear

%Ishodnie dannie

k0=12

wl=0.7

w2=0.008

%w2=0.018

w0=0.5

dempf=0.4

k=0.5

C=0.1

R=1

s=tf('s');

% Zadanie objekta

disp('=—= Zadanie objekta ==');

P=(s+wl)\*(s^2-2\*dempf\*w0\*s+w0^2)

M=k0\*(s+w2)

K=k

P\_=ctranspose(P);

M\_=ctranspose(M);

% Spektralnajaplotnost vosmishenija disp(''= Spektralnaja plotnost vosmishenija===');

Sgm\_f=1;

Sff=Sgm\_f^2/pi\*(1.5^2)/(-(1.5\*s)^2+1);

% Spektralnaja plotnost pomechi izmerenija

disp('=== Spektralnaja plotnost pomechi izmerenija ===');

Sii=0

%P^-1

disp('');

P\_1=1/P

zpk(P\_1)

P\_1\_=ctranspose(P\_1);

%Separacia P\_1

disp('=== Separacia P\_1 ===');

[num,den]=tfdata(P\_1 ,'v');

% Polusa P^-1 v levoy poluploskosti

disp('=== Polusa P^-1 v levoy poluploskosti ===');

[bs,as,ks]=sep\_left(num,den);

P\_1\_plus=tf(bs,as)

zpk(P\_1\_plus)

% Polusa P^-1 v pravoy poluploskosti

disp('=== Polusa P^-1 v pravoy poluploskosti ===');

[bs,as\_P\_1\_minus,ks]=sep\_right(num,den);

P\_1\_minus=tf(bs,as\_P\_1\_minus)

zpk(P\_1\_minus)

disp('===P===');

P\_1

zpk(P\_l)

disp('=== P\_l\_plus+P\_l\_minus ===');

P\_1\_plus+P\_1\_minus

zpk(P\_1\_plus+P\_1minus)

%Zadanie matrici A

disp('=== Zadanie matrici A i B ===');

A=tf([0.327113 -0.132796],1)

B=tf(as\_P\_l\_minus,l)

B\_=ctranspose(B)

disp('== Opredelenie matrici G\_G ==');

G\_G=B\_\*(M\_\*P\_1\_\*R\*P\_1\*M+C)\*Bzpk(GG)

disp('=== Sokrashenie matrici G\_G ===');

G\_G=minreal(G\_G)

zpk(G\_G)

disp('== Faktorizacia matrici G\_G ===');

[num,den]=tfdata(G\_G,'v');

tol=le-10;d=smpoly(num,tol);c=smpoly(den,tol);

[d,c]=sfp(d,c);

G=tf(d,c)

zpk(G)

G\_l=l/G

G\_1 \_=ctranspose(G\_l)

disp('=== Opredelenie matrici DoDo\_ ===');

DoDo\_=Sff

zpk(DoDo\_)

disp('=== Faktorizatia matrici DoDo\_ ===');

[num,den]=tfdata(DoDo\_,'v');

tol=1e-10;d=smpoly(num,tol);c=smpoly(den,tol);

[d,c]=sfp(d,c);

Do=tf(d,c)

zpk(Do)

disp('=== Matrica Do^-l ===');

Do\_l=Do^(-l)

disp('=== Opredelenie matrici T T=G\_l\_\*B\_\*(M\_\*P\_l\_\*R\*P\_l\*(M\*A+l)+C\*A)\*Do ===');

T=G\_l\_\*B\_\*(M\_\*P\_l\_\*R\*P\_l\*(M\*A+l)+C\*A)\*Do

zpk(T)

T=minreal(T,0.01);zpk(T)

T\_=ctranspose(T)

disp('=== Polusa T v levoy poluploskosti ===');

[num,den]=tfdata(T,'v');

[bs,as,ks\_Tl]=sep\_left(num,den);

disp('==== To ===')

To=tf(ks\_Tl,l)

disp('=== T\_+ ===')

T\_u=tf(bs,as)

T\_plus=minreal(tf(bs,as))+tf(ks\_Tl, 1)

zpk(T\_plus)

% pause

disp('=== Polusa T v levoy poluploskosti novoe ===');

[num,den]=tfdata(T,'v');

to=tf(num(l),l); num=num-num(1)\*den; num=smpoly(num,0.0000000001)

[bs,as,ks\_Tl]=sep(num,den); disp('=== To ===')

To=tf(ks\_Tl,l); disp('=== T\_+ ==')

T\_u=tf(bs,as)

%T\_plus=tf(bs,as)+tf(ks\_Tl,1)

T\_plus=tf(bs,as)+tf(ks\_Tl,1); zpk(T\_plus)

T\_plus=tf(bs,as)+to

zpk(T\_plus)

disp('=== Polusa T v pravoj poluploskosti ==='); [num,den]=tfdata(T,'v');

[bs,as,ks\_Tr]=sep\_right(num,den);

T\_minus=tf(bs,as); zpk(T\_minus); disp('=== T ===');

zpk(T)

disp('=== T\_plus+T\_minus ==');

T\_plus+T\_minus

zpk(T\_plus+T\_minus)

disp('=== SEP T novoe ===')

zpk(T)

[T\_nul,T\_plus,T\_minus]=sep\_uni(T);

disp('=== T\_nul ===');

T\_nul

disp('=== T\_plus ===');

T\_plus

disp('=== T\_minus =');

T\_minus

disp('=== T\_nul+T\_plus ===');

T\_nul+T\_plus

disp('===\*\*\*\* proverka \*\*\*\* T\_nul+T\_plus+T\_minus ===');

Tp=T\_nul+T\_plus+T\_minus % zpk(Tp)

zpk(T)

disp('=== Vichislenie F ===');

F=G\_1\*T\_plus\*Do\_l; zpk(F)

F=minreal(F)

zpk(F)

disp('=== Vichislenie Fu ===');

Fu=B\*F+A

zpk(Fu)

Fu=minreal(Fu)

zpk(Fu)

disp('=== Vichislenie Fx ===');

Fx=P\_l \*M\*B\*F+P\_1 \*(M\*A+1)

Fx=P\_1\*(M\*B\*F+M\*A+1); zpk(Fx)

Fx=minreal(Fx,0.00001); zpk(Fx)

disp('=== Vichislenie W ===');

W=Fu\*Fx^(-l)

zpk(W)

W=minreal(W,0.001); zpk(W)

disp('=== Vichislenie Integrala (8.88) ===');

Fo=G\*F\*Do

zpk(Fo)

Fo=minreal(Fo)

zpk(Fo)

Fo\_=ctranspose(Fo);

A\_=ctranspose(A);

disp('=== Vichislenie Integrala (8.88) N1 ===');

INTl=Fo\*Fo\_

zpk(INTl)

INT1=minreal(INT1); zpk(INTl)

[num,den]=tfdata(INT1,'v');

tol=1e-10;d=smpoly(num,tol);c=smpoly(den,tol);

[d,c]=sfp(d,c);

INTl\_=coloss(d,c)

disp('=== Vichislenie Integrala (8.88) N2 ===');

INT2=Fo\_\*T+T\_\*Fo

zpk(INT2)

INT2=minreal(INT2)

zpk(INT2)

[num,den]=tfdata(INT2,'v');

tol=le-10;d=smpoly(num,tol);c=smpoly(den,tol);

[d,c]=sfp(d,c);

INT2\_=coloss(d,c)

disp('=== Vichislenie Integrala (8.88) N3 ==='); INT3=Sff\*(A\_\*M\_+l)\*P\_l\_\*R\*P\_l\*(M\*A+l)+Sff\*A\_\*C\*A; zpk(INT3)

INT3=minreal(INT3)

zpk(INT3)

[num,den]=tfdata(INT3,'v');

tol=le-10;d=smpoly(num,tol);c=smpoly(den,tol);

[d,c]=sfy(d,c);

INT3\_=coloss(d,c)

disp('=== Vichislenie Integrala (8.88) E (N1+N2+N3) ==='); INT1\_

INT2\_

INT3\_

INT=INT1\_+INT2\_+INT3\_

zpk(W)

integral=INT

zpk(Fx)

We=tf([0.1 1],[1])

Fxx=(P-M\*We)^(-1)

[num,den]=tfdata(Fxx,'v');

tol=0.001;d=smpoly(num,tol);c=smpoly(den,tol);

Fxx=tf(d,c)

zpk(Fxx)

Fxxl=(P-M\*W)^(-l)

[nurn,den]=tfdata(Fxx1,'v');

tol=0.000001;d=smpoly(num,tol);c=smpoly(den,tol);

Fxxl=tf(d,c)

zpk(Fxxl)

disp('=== Vichislenie W ==='); zpk(W)

disp('=== Vichislenie Fxn=(P-M\*W)^(-l) ===');

Fxn=(P-M\*W)^(-1)

zpk(Fxn)

disp('=== Vichislenie Fun=W\*(P-M\*W)^(-l) ===');

Fun=W\*(P-M\*W)^(-1); zpk(Fun)

disp('=== Vichislenie En=P\*Fx-M\*Fu ===');

En=P\*Fx-M\*Fu

[num,den]=tfdata(En,'v');

to1=0.00000001;d=smpoly(num,tol);c=smpoly(den,to1); En=tf(d,c)

En=minreal(En)

zpk(En)

**ДОДАТОК 2**

Графіки перехідних та амплітудно-частотних характеристик синтезованої системи стабілізації вертольота.



















































Вихідні передатні функції для Fu при значенні С=0.1

Zero/pole/gain from input 1 to output...

3.1011 (s+2.349) (s+1.054) (s-16.31) (s^2 + 1.008s + 0.4605) (s^2 + 3.213s + 6.926)

------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+2.975) (s+0.7631) (s^2 + 1.211s + 0.9304) (s^2 + 3.818s + 7.28) (s^2 + 3.264s + 6.934)

Zero/pole/gain from input 2 to output...

7.2526 (s+2.332) (s+0.3438) (s-0.007434) (s^2 + 1.013s + 0.3442) (s^2 + 3.21s + 6.922)

--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+2.975) (s+0.7631) (s^2 + 1.211s + 0.9304) (s^2 + 3.818s + 7.28) (s^2 + 3.264s + 6.934)

Zero/pole/gain from input 3 to output...

0.67236 (s+2.629) (s^2 + 1.428s + 0.5767) (s^2 + 0.2345s + 0.6659) (s^2 + 3.206s + 6.977

--------------------------------------------- -------------------------------------------------------------------

(s+2.975) (s+0.7631) (s^2 + 1.211s + 0.9304) (s^2 + 3.818s + 7.28) (s^2 + 3.264s + 6.934

Вихідні передатні функції для Fx при значенні С=0.1

Zero/pole/gain from input 1 to output...

1.1755 (s-86.9) (s+2.343) (s^2 + 2.165s + 1.276) (s^2 + 3.234s + 6.935)

-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+2.975) (s+0.7631) (s^2 + 1.211s + 0.9304) (s^2 + 3.818s + 7.28) (s^2 + 3.264s + 6.934)

Zero/pole/gain from input 2 to output...

(s+15.63) (s+2.213) (s+1.332) (s+0.5168) (s-0.1758) (s^2 + 3.233s + 6.933)

-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+2.975) (s+0.7631) (s^2 + 1.211s + 0.9304) (s^2 + 3.818s + 7.28) (s^2 + 3.264s + 6.934)

Zero/pole/gain from input 3 to output...

0.98018 (s+2.613) (s+1.281) (s+0.45) (s-0.8439) (s^2 + 3.23s + 6.963)

------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+2.975) (s+0.7631) (s^2 + 1.211s + 0.9304) (s^2 + 3.818s + 7.28) (s^2 + 3.264s + 6.934)

Вихідні передатні функції для W при значенні С=0.1

Zero/pole/gain from input 1 to output...

7.2526 (s^2 + 0.9731s + 0.3127) (s^2 + 3.543s + 5.975)

------------------------------------------------------------------------

(s+19.21) (s+0.8879) (s^2 + 3.562s + 6.244)

Zero/pole/gain from input 2 to output...

0.67236 (s+3.104) (s+0.7886) (s^2 + 3.52s + 7.908)

-----------------------------------------------------------------

(s+19.21) (s+0.8879) (s^2 + 3.562s + 6.244)

Zero/pole/gain from input 3 to output...

3.1011 (s-6.146) (s+0.6078) (s-0.5379) (s^2 + 3.717s + 6.345)

------------------------------------------------------------------------------

(s+19.21) (s+0.8879) (s^2 + 3.562s + 6.244)

Вихідні передатні функції для Fu при значенні С=1

Zero/pole/gain from input 1 to output...

6.3291 (s+1.102) (s+7.439) (s-17.57) (s^2 + 1.156s + 0.6602) (s^2 + 3.25s + 6.954)

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+9.347) (s+0.9725) (s^2 + 2.122s + 2.528) (s^2 + 4.452s + 6.972) (s^2 + 3.252s + 6.904)

Zero/pole/gain from input 2 to output...

16.4653 (s+7.399) (s+0.3257) (s-0.001861) (s^2 + 1.176s + 0.5051) (s^2 + 3.249s + 6.955)

---------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+9.347) (s+0.9725) (s^2 + 2.122s + 2.528) (s^2 + 4.452s + 6.972) (s^2 + 3.252s + 6.904)

Zero/pole/gain from input 3 to output...

1.5252 (s+8.319) (s^2 + 1.57s + 0.6905) (s^2 + 0.1513s + 0.8532) (s^2 + 3.254s + 7.063)

--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+9.347) (s+0.9725) (s^2 + 2.122s + 2.528) (s^2 + 4.452s + 6.972) (s^2 + 3.252s + 6.904)

Вихідні передатні функції для Fx при значенні С=1

Zero/pole/gain from input 1 to output...

5.8639 (s-34.52) (s+7.235) (s^2 + 2.252s + 1.292) (s^2 + 3.252s + 6.942)

-------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+9.347) (s+0.9725) (s^2 + 2.122s + 2.528) (s^2 + 4.452s + 6.972) (s^2 + 3.252s + 6.904)

Zero/pole/gain from input 2 to output...

(s+32.4) (s+6.995) (s+1.237) (s+0.4853) (s-0.1263) (s^2 + 3.251s + 6.942)

--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+9.347) (s+0.9725) (s^2 + 2.122s + 2.528) (s^2 + 4.452s + 6.972) (s^2 + 3.252s + 6.904)

Zero/pole/gain from input 3 to output...

2.1897 (s+8.224) (s+1.221) (s+0.5909) (s-0.7917) (s^2 + 3.256s + 7.022)

----------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+9.347) (s+0.9725) (s^2 + 2.122s + 2.528) (s^2 + 4.452s + 6.972) (s^2 + 3.252s + 6.904)

Вихідні передатні функції для W при значенні С=1

Zero/pole/gain from input 1 to output...

16.4653 (s+2.19) (s+4.431) (s^2 + 1.084s + 0.4323)

--------------------------------------------------------------

(s+38.09) (s+3.79) (s+2.403) (s+0.8344)

Zero/pole/gain from input 2 to output...

1.5252 (s+9.189) (s+0.7944) (s^2 + 3.656s + 8.299)

-----------------------------------------------------------------

(s+38.09) (s+3.79) (s+2.403) (s+0.8344)

Zero/pole/gain from input 3 to output...

6.3291 (s-6.575) (s+4.701) (s+2.102) (s+0.5701) (s-0.4053)

-----------------------------------------------------------------------

(s+38.09) (s+3.79) (s+2.403) (s+0.8344)

Вихідні передатні функції для Fu при значенні С=10

Zero/pole/gain from input 1 to output...

15.9606 (s+1.142) (s+0.8132) (s-17.84) (s+24.51) (s+87.09) (s^2 + 1.256s + 0.8348) (s^2 + 3.238s + 6.883)

--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+29.45) (s+87.09) (s+6.69) (s+1.606) (s+1.122) (s+0.8132) (s^2 + 2.58s + 4.954) (s^2 + 3.237s + 6.877)

Zero/pole/gain from input 2 to output...

42.7771 (s+0.8132) (s+0.3198) (s+24.54) (s+0.0001358) (s^2 + 1.298s + 0.6489) (s^2 + 3.238s + 6.882)

------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+29.45) (s+6.69) (s+1.606) (s+1.122) (s+0.8132) (s^2 + 2.58s + 4.954) (s^2 + 3.237s + 6.877)

Zero/pole/gain from input 3 to output...

2.3289 (s+41.53) (s^2 + 1.849s + 0.9093) (s^2 + 0.1666s + 0.9663) (s^2 + 3.231s + 6.888)

--------------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+29.45) (s+6.69) (s+1.606) (s+1.122) (s^2 + 2.58s + 4.954) (s^2 + 3.237s + 6.877)

Вихідні передатні функції для Fx при значенні С=10

Zero/pole/gain from input 1 to output...

19.886 (s-24.27) (s+23.86) (s^2 + 2.272s + 1.292) (s^2 + 3.238s + 6.88)

-----------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+29.45) (s+6.69) (s+1.606) (s+1.122) (s^2 + 2.58s + 4.954) (s^2 + 3.237s + 6.877)

Zero/pole/gain from input 2 to output...

(s+79.54) (s+22.71) (s+1.209) (s+0.4339) (s-0.07519) (s^2 + 3.238s + 6.88)

---------------------------------------------------------------------------------------------

(s+29.45) (s+6.69) (s+1.606) (s+1.122) (s^2 + 2.58s + 4.954)

Zero/pole/gain from input 3 to output...

3.1327 (s+43.59) (s+1.212) (s+0.882) (s-0.7399) (s^2 + 3.234s + 6.886)

---------------------------------------------------------------------------------------------------------

(s+29.45) (s+6.69) (s+1.606) (s+1.122) (s^2 + 2.58s + 4.954) (s^2 + 3.237s + 6.877)

Вихідні передатні функції для W при значенні С=10

Zero/pole/gain from input 1 to output...

42.7771 (s^2 + 1.232s + 0.586) (s^2 + 8.19s + 25.12)

----------------------------------------------------

(s+87.09) (s+0.8132) (s^2 + 7.884s + 23.44)

Zero/pole/gain from input 2 to output...

2.3289 (s+0.9408) (s+48.9) (s^2 + 3.237s + 7.422)

----------------------------------------------------------------

(s+87.09) (s+0.8132) (s^2 + 7.884s + 23.44)

Zero/pole/gain from input 3 to output...

15.9606 (s-6.677) (s+0.5261) (s-0.2731) (s^2 + 8.11s + 24.89)

--------------------------------------------------------------------------

(s+87.09) (s+0.8132) (s^2 + 7.884s + 23.44)