

МЕТОДОЛОГІЯ ДЛЯ СТВОРЕННЯ РОБАСТНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ПОЛЬОТОМ БПЛА

Автори: В.М. Азарсков, д.т.н., проф.; А.А. Тунік, д.т.н., проф.; В.Б. Ларін, д.ф.-м.н., проф.; М.М. Комнацька, к.т.н., доц.; С.І. Ільницька, к.т.н., с.н.с.; В.М. Кондратюк, к.т.н., директор ННЦ «Аерокосмічний центр» НАУ.

Анотація: Різноманітність польотних завдань для сучасних БПЛА та підвищення їх складності вимагають створення робастних систем управління польотом БПЛА, що дозволяють отримати високу якість управління при дії під час виконання завдань як зовнішніх, так і внутрішніх збурень. За допомогою методів як параметричного, так і структурного синтезу робастних систем управління створені алгоритми і програми законів управління для автопілотів БПЛА в режимах стабілізації висоти, швидкості та кутової орієнтації, а також траєкторного управління, включаючи алгоритми планування заданої траєкторії та алгоритми її відстеження, при польотах у збуреній атмосфері. Застосування параметричного синтезу дозволяє віднайти оптимальні параметри налаштування існуючих автопілотів, що забезпечують компроміс між робастністю та якістю управління, в той час як структурний синтез дозволяє визначити перспективні закони управління автопілотів, зокрема такі, що містять елементи штучного інтелекту.

Ключові слова: робастні закони управління, кутова стабілізація, траєкторне управління, планування траєкторії, відстеження траєкторії, нечіткі автопілоти, інтегрована інерціально-супутникова система навігації.

Ціль роботи: створення методології проектування робастних систем управління польотом БПЛА, розробкам алгоритмів і програм робастного управління БПЛА в основних режимах польоту, застосування алгоритмів і програм в практичних бортових програмно-апаратних комплексах, тестування комплексів в умовах наземних та льотних випробувань.

Короткий опис проекту.

Ускладнення та різноманітність польотних завдань, що ставляться перед сучасними БПЛА вимагають виконання польотів в умовах широкого діапазону швидкостей та висот при дії турбулентного стохастичного вітру. Перша умова призводить до зміни динамічних властивостей БПЛА як об'єкта управління, а друга умова призводить до погіршення точності виконання завдання. Отже основні вимоги до законів управління полягають в мінімізації залежності точності управління від зміни динамічних властивостей БПЛА з одного боку, та забезпечення максимальної точності при дії турбулентного

стохастичного вітру з другого боку. Задовольнити цим суперечливим вимогам дозволяє застосування робастних систем управління.

З цією метою була створена методологія створення робастних систем управління польотом БПЛА на основі підходів сучасної теорії управління, а саме робастної H_2/H_∞ – оптимізації для знаходження параметрів існуючих законів управління польотом (наприклад, ПД-законів), а також методів структурного синтезу таких, як H_∞ – синтез, метод лінійних матричних нерівностей (ЛМН). Окремо слід зауважити, що для синтезу робастних систем були також залучені методи штучного інтелекту, зокрема теорія нечітких множин.

Отримані результати.

На основі методів параметричного та структурного синтезу, включаючи методи штучного інтелекту, були розроблені:

- робастні закони управління для поздовжнього та бокового каналів автопілоту в режимах стабілізації кутів тангажу, крену та курсу,
- робастні закони управління висотою та швидкістю польоту,
- методи планування заданої траєкторії польоту для випадків, коли задані проміжні пункти маршруту створюють як опуклу, так і не опуклу множину,
- робастні закони траєкторного управління для відстеження заданої траєкторії.

Окремо належить зауважити, що в межах цієї розробки була також розроблена інтегрована інерціально-супутникова система навігації (ІССН) із використанням спрощених алгоритмів інтегрування кінематичних рівнянь поступального та обертального рухів при збереженні точності визначення навігаційних параметрів БПЛА. З урахуванням обмежених можливостей бортових обчислювачів БПЛА, такі алгоритми мають неабияке практичне значення.

Ефективність вищезгаданих результатів була підтверджена шляхом комп'ютерного моделювання з використанням математичних моделей динаміки реальних БПЛА. Вищенаведені закони управління та алгоритми ІССН були застосовані в програмно-апаратному комплексі управління польотом малого БПЛА, який було розроблено в ННЦ «Аерокосмічний

центр» НАУ та успішно випробувано в умовах наземних і льотних експериментів (див. Рис.1-4).



Рис.1. Дісплей наземної станції керування випробуваннями.



Рис.2. БПЛА, що був застосований для випробувань (модель легкого літака Cessna®Corvalis350®).

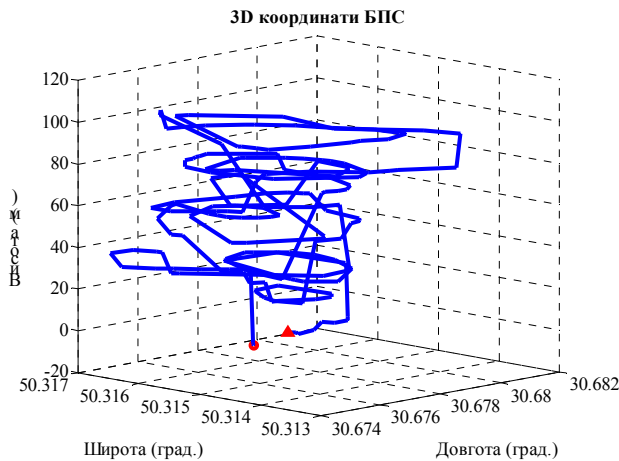


Рис.3. Просторова траєкторія БПЛА під час випробувань.

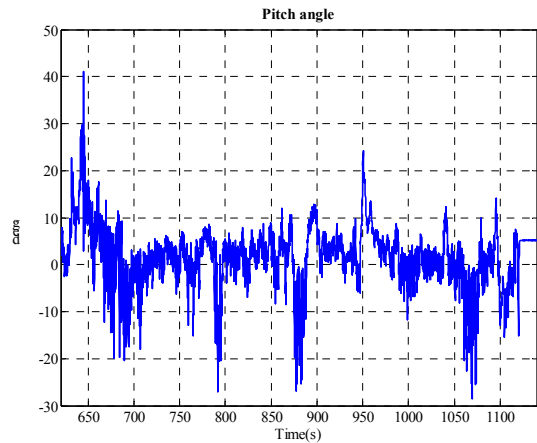


Рис.4. Стабілізація кута тангажу в турбулентній атмосфері.

Перелік статей по тематиці проекту.

1. В.М. Азарсков, А.М.Кліпа, А.А. Тунік. Розширена Калманівська фільтрація в задачах оцінки стану та ідентифікації динамічних характеристик літального апарата. Електроніка та системи управління, № 1, 2004, стор.114-124.
2. А.А. Tunik, М.А. Touat, Xu Guo Dong. Robust Autopilots Based on the Fuzzy Model Reference Learning Control. Proceedings of the National Aviation University, No.3 (29), Kyiv, 2006, pp. 30-38.
3. Азарсков В.Н., Блохин Л.Н., Житецький Л.С. Методология конструирования оптимальных систем стохастической стабилизации. Монография. К.: НАУ, – 2006. – 432 с.
4. А.А. Tunik, М.А. Touat. Hard and Soft Computing in the Robust Flight Control Systems. Applied and Computational Mathematics, Vol.5, No.2, 2006, pp.166-180.

5. А.А. Туник, К.В. Мельник. Проектування багатовимірних систем керування польотом в умовах невизначеності за допомогою технології μ -синтезу. Вісник НАУ, №3 (36).-К.: НАУ, 2008.-стор.73-84.
6. А.А. Tunik, M.A. Touat. Design of UAV Robust Control Autopilot Based on Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System. Вісник НАУ, №4 (37).-К.: НАУ, 2008.-стор.9-18.
7. А.А. Tunik, E.A. Abramovich. Multi-Model Approach to Parametric Robust Optimization of Digital Flight Control Systems. Journal of Automation and Information Sciences.- Begell House Inc.: 36(3), 2004.- pp.25-34.
8. V.B. Larin, A.A. Tunik. On Correcting the System of Inertial Navigation. Journal of Automation and Information Sciences.- Begell House Inc.: 42(8), 2010.- pp.13-26.
9. А.А. Туник, Г.Г. Вальденмайер. Аналіз процедур факторизації коваріаційних матриць для задач розширеної Калманівської фільтрації в інерційно-супутникових навігаційних системах. Системи управління, навігації та зв'язку.-2011.-Випуск 1(17).- с.10-15.
10. А.А. Tunik, O.D. Gorbatyuk. LMI-based Feedback Suppression of External Disturbances for RUAV. Information Systems, Mechanics and Control. NTUU "KPI". -2010.-Number 4, Special Issue.-pp.17-25.
11. А.А. Tunik, M.M. Komnatska. An LMI-Design of Flight Control Systems with Fuzzy Controllers. Інформаційні системи, механіка та керування. Київ, НТУУ «КПІ».- Вип. 5, 2010.- стор.119-130.
12. А.А. Туник, О.П. Басанец. Синтез следящей системы наведения вращающегося беспилотного летательного аппарата с помощью линейных матричных неравенств. Кибернетика и вычислительная техника. Выпуск 164, Киев, Институт Кибернетики НАНУ-2011.- стр.17-29.
13. V.B. Larin, A.A. Tunik. On Inertial Navigation System Error Correction. International Applied Mechanics, Springer Science, Inc. – 2012.- v.48, No.2. – pp. 213-223.
14. В.П. Харченко, А.А. Туник, В.І. Чепіженко, С.В. Павлова. Авіоніка безпілотних літальних апаратів. (Монографія). Київ, ТОВ «Абрис принт».-2012.- 463 стор.
15. Г.Г. Вальденмайер, В.Б. Ларін, А.А. Туник. Процедура початкової виставки безплатформової інерціальної навігаційної системи для малого безпілотного літального апарату. Системи управління, навігації та зв'язку.-Випуск 1(21), том 2, 2012.- стор.6-16.
16. А.А. Туник, О.О. Абрамович. Основи сучасної теорії управління. Навчальний посібник з грифом МОНУ. К.: «НАУ-друк»,2010.- 259 с.
17. А.А. Tunik, M.M. Komnatska. On Structures of Combined UAV Flight Control Systems with Elements of Fuzzy Logics. Electronics and Control Systems.- No.1(43), 2015.-pp.17-25.
18. V.B. Larin, A.A. Tunik. Improvement of Aircraft's Capability of Tracking the Reference Trajectory. International Applied Mechanics, Springer Science, Inc. – vol.51, no.5, 2015.-pp. 601-606.
19. А.А. Tunik, K.Rydlo, O.V.Savchenko, K.V.Melnik. Practical Experience of Intellectual UAV Attitude Stabilization System Computer-Aided Design. Electronics and Control Systems.- No.1(43), 2015.-pp.17-25.

20. V.B. Larin, A.A. Tunik. Software Algorithms for Low-Cost Strap-down Inertial Navigation Systems of Small UAV. TWMS Journal of Pure and Applied Mathematics, Vol. 7, No.2, 2016.-146-166.

Апробація.

1. В.М. Азарсков та інші. Оптимальне стохастичне керування боковим рухом безпілотного літального апарату при неповному вимірюванні вектору стану в неперервних системах. Матеріали V Міжнародної конф. "ABIA-2003, т.ІІ, Вид. НАУ, Київ, с.66-70.

2. I.K.Ahn, H.Ryu, V.B.Larin, A.A. Tunik. Integrated Navigation, Guidance and Control Systems for Small Unmanned Aerial Vehicles. The World Congress "Aviation in the XXI-st Century", NAU, Kyiv, 2003, pp.5.15 –5.25.

3. А.А. Туник, Е.А.Абрамович. Оценка влияния неструктурированных параметрических возмущений на робастность и качество замкнутых цифровых систем управления. Автоматика-2004. Матеріали 11-ої конф. по автоматичному управлінню. Вид. НУХТ. Київ, 2004, т.1, стор.41.

4. В.М.Азарсков,Т.А.Галагуз, А.А. Туник. Структурно-параметричний синтез цифрової робастної системи управління при стохастичних збуреннях і неповних вимірах вектору стану системи. Там же, стор. 42.

5. В.Б. Ларин, А.А. Туник. Компенсация внешних возмущений в системах управления полётом при неполном измерении фазовых координат. «Автоматика-2005», Матеріали 12-й Міжн. Конф. з автом. управл., т.1, Харків, ХІІІ, 2005,с.106.

6. А.А. Tunik ,Т. Galaguz, Xu Guo Dong. Design of Sub-optimal Robust Flight Control Systems for Small UAV. The 2nd World Congress "Aviation in the XXI Century. Safety in Aviation". Kiev, NAU, September 2005, pp.1.70- 1.79.

6. V.B. Larin, A.A. Tunik. Flight Stabilization and Exogenous Uncertain Disturbance Suppression via Static and Dynamic Output Feedback. Proceedings of 13th St. Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems. 2006, pp.27-35.

7. А.А. Tunik, М.А. Touat. Hard and Soft Computing in the Robust Flight Control Systems. 14th Saint Petersburg International Conference on integrated navigation systems. 2007, pp.271-280.

8. А.А. Туник, К.В. Мельник. Робастная оптимизация многомерной системы управления полётом, основанная на концепции структурированного сингулярного числа. VII Міжнародна науково-технічна конференція «Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної □техніки». Збірник доповідей. Ч.1. Київ: 23-24.04.09.- С.289-291.

9. А.А. Туник, М.М. Комнацька. Синтез робастної системи управління поздовжнім рухом БПЛА за наявності чітких та нечітких регуляторів у системі управління польотом. Матеріали Міжн. наукової конф. «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту» (ISDMCI'2010), том 1.- Євпаторія : 2010.- стор.499-502.

10. А.А. Туник, О.П. Басанец. Синтез робастной системы слежения на основе линейных

матричних нерівностей. Гіротехнології, навігація, керування рухом та конструювання авіаційно-космічної техніки. Збірник доповідей VII Міжнародної науково-технічної конференції. Част.2, Київ, НТУУ «КПІ», 2011.-стор. 166-174.

11. А.А. Тунік, О.П. Басанець. Синтез робастного ПД-регулятора для рухомого об'єкту з використанням теорії лінійних матричних нерівностей. XVIII Міжнародна конференція з автоматичного керування «АВТОМАТИКА/AUTOMATICS-2011», Львів, 2011.-стор. 257-258.

12. V.B. Larin, A.A. Tunik. Optimal UAV Path Planning Based on Decomposition and the Spatial Lead. Proceedings of the 3rd Internat. Conf. "Methods and Systems of Navigation and Motion Control" Kyiv, NAU.- Oct. 14-17, 2014.-pp.17-22.

13. A.A. Tunik, K.Rydlo, O.V.Savchenko, K.V.Melnik. Computer-Aided Design of the Stability and Controllability Augmentation System. Proc. of Intern. Conf. "Actual Problems of Unmanned Aerial Vehicles Developments", Kyiv, NAU.-Oct.13-15, 2015.-pp. 73-79.

14. A.A. Tunik, M.M. Komnatska. Robust Optimization of the UAV Path Following Guidance Systems. Proceedings of the 4th IEEE International Conference "Methods and Systems of Navigation and Motion Control". Kyiv, NAU.- 2016.-pp. 25-29.