

Сергій БОЙКО

Національний університет «Запорізька політехніка»

<https://orcid.org/0000-0001-9778-2202>**Альона ХЕБДА**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

<https://orcid.org/0000-0003-1917-9509>**Юрій СТУЩАНСЬКИЙ**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

<https://orcid.org/0000-0002-3021-6756>**Сергій ГОЛОВАНОВ**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

<https://orcid.org/0000-0002-0103-0530>**Михайло РИЖИК**

Кременчуцький льотний коледж Харківського національного університету внутрішніх справ

<https://orcid.org/0000-0002-1092-6742>

ПІДХІД ДО ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЮ СИЛОВОЮ УСТАНОВКОЮ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ

Сучасні літальні апарати невід'ємно пов'язані з електронікою, яка забезпечує функціонування всієї авіатранспортної системи. Сучасна авіоніка літальних апаратів являє собою комплекс апаратних та програмних засобів, що є частиною системи автоматичного управління літального апарату та функціонально об'єднує планер з приводом виконавчого органу. Однією з основних функцій сучасної авіоніки є автоматизація процесів керування літальними апаратами, що має на меті забезпечення належного виконання безпечного польоту з найменшою кількістю членів екіпажу. цей факт спонукає до постійного вдосконалення існуючих бортових комплексів авіоніки літальних апаратів. З поміж іншого, адаптивна система керування має визначати динамічні характеристики керованого літального апарату в процесі польоту, оцінку стану функціональних систем літального апарату та формування керуючих сигналів. Пропонується підхід до побудови системи керування літальним апаратом, який передбачає подвійне визначення характеристик досліджуваного об'єкту. Запропоновано структура системи керування літальним апаратом з електричною силовою установкою. На її побудову мали вплив особливості експлуатації електричної силової установки літального апарату, підхід щодо подвійного визначення характеристик літального апарату та принцип подвійного контролю параметрів польоту літального апарату. У роботі запропоновано підхід до вдосконалення адаптивної системи літальних апаратів з електричною силовою установкою.

Ключові слова: модернізація авіоніки, безпека польотів, людський фактор, мала авіація, безпілотна авіація, електричні силові установки, система керування.

Sergey BOIKO, Alona HEBDA, Yuri STUSHCHANSKY, Serhiy GOLOVANOV, Myhailo RUZHUK
Kremenchug Flight College of Kharkiv National University of Internal Affairs

APPROACH TO THE IMPROVEMENT OF THE CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRIC POWER PLANT OF THE AIRCRAFT

The paper proposes an approach to improving the adaptive system of aircraft with an electric propulsion system. Modern aircraft are inextricably linked with electronics that ensure the functioning of the entire air transport system. Modern aircraft avionics is a complex of hardware and software that is part of the automatic control system of the aircraft and functionally combines the glider with the drive of the executive body. One of the main functions of modern avionics is the automation of aircraft control processes, which aims to ensure the proper execution of a safe flight with the smallest number of crew members. this fact encourages the continuous improvement of the existing on-board avionics complexes of aircraft. Among other things, the adaptive control system should determine the dynamic characteristics of the controlled aircraft during the flight, the assessment of the state of the functional systems of the aircraft and the formation of control signals. An approach to the construction of an aircraft control system is proposed, which involves a double determination of the characteristics of the object under study. The structure of the control system of an aircraft with an electric power plant is proposed. Its construction was influenced by the operating features of the aircraft's electric power plant, the approach to the dual determination of the aircraft's characteristics, and the principle of dual control of the aircraft's flight parameters. The paper proposes an approach to improving the adaptive system of aircraft with an electric propulsion system. There are the following factors: 1) height, accuracy and reliability of sensors of all parameters, regardless of operating conditions; 2) a simple and at the same time reliable and functional interface; 3) timely detection of deviations in the operation of aircraft systems during its operation and transmission of relevant information to the crew and the control system; 4) operational determination of the dynamic characteristics of the aircraft during flight and adaptive optimization of controlled signals taking into account the purpose of control and the specified optimization criteria.

Key words: avionics modernization, flight safety, human factor, small aircraft, unmanned aircraft, electric power plants, control system.

Постановка проблеми

Сучасні літальні апарати невід'ємно пов'язані з електронікою, яка забезпечує функціонування всієї авіатранспортної системи. Сучасна авіоніка літальних апаратів являє собою комплекс апаратних та програмних засобів, що є частиною системи автоматичного управління літального апарату та функціонально об'єднує планер з приводом виконавчого органу [1].

Однією з основних функцій сучасної авіоники є автоматизація процесів керування літальними апаратами, що має на меті забезпечення належного виконання безпечного польоту з найменшою кількістю членів екіпажу. цей факт спонукає до постійного вдосконалення існуючих бортових комплексів авіоники літальних апаратів.

Між тим, сучасні силові установки літальних апаратів класифікуються і за видом палива, в тому числі є і електричні [10].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Наукова когорта провідних фахівців авіаційної галузі сходиться у висновках про необхідність подальшого вдосконалення системи управління польотом літальних апаратів всіх типів, що має на меті створення сучасної багатофункціональної оптимальної системи керування, що забезпечить безпеку пілотування літальних апаратів та зменшить при цьому чисельність їх екіпажів [1-9].

Крім того, актуальним та сучасним на сьогоднішній день постає питання підходу до керування літальними апаратами з електричними силовими установками [9-12].

Формування мети дослідження

Метою роботи є аналіз особливостей та перспектив вдосконалення адаптивної системи керування польотом літального апарату з електричною силовою установкою.

Викладення основного матеріалу дослідження

Передусім, слід зауважити той факт, що до складу сучасної авіоники літального апарату входять будь-які системи розміщені на борту літального апарату, що залежать чи функціонують завдяки електриці.

Таким чином, адаптивна система керування має визначити динамічні характеристики керованого літального апарату в процесі польоту, оцінку стану функціональних систем літального апарату та формування керуючих сигналів [2].

Між тим, архітектура бортових комплексів авіоники має бути забезпечена комплексом датчиків, що точно передають параметри до системи керування. Результати вимірювань цих датчиків відіграють важливу роль при визначенні динамічних характеристик літального апарату та стан функціонування його систем під час польоту.

Рівень сучасної комп'ютерної техніки, на сьогоднішній день, дає можливість значною мірою автоматизувати процеси управління польотом літальних апаратів усіх типів. Між тим, для цивільної авіації є важлива вимога до системи пілотування, яка ґрунтується на високій ефективності експлуатації літального апарату. Тому, однією із складових системи керування польотом літального апарату є система оптимізації яка характеризується властивістю адаптації до постійно змінних стохастичних умов польоту.

На сьогоднішній день, є велика кількість програмних та апаратних засобів щодо реалізації оптимізаційних багатокритеріальних задач. Між тим, для ефективного їх використання необхідно проаналізувати рух під час польоту літального апарату, як об'єкта керування та визначити завдання які ставляться перед системою керування польотом літального апарату та їх пріоритетність у досягненні загальної мети керування [3].

Тож, враховуючи той факт, що система керування польотом літального керування літального апарату має на меті зміну фактичних параметрів польоту літального апарату з метою підтримання його руху у завчасно заданому напрямку. Виконання поставлених завдань реалізується шляхом опосередкованої передачі керуючого сигналу на відповідні функціональні системи літального апарату [3].



Рис. 1. Структура керування літальним апаратом

Відповідно до структурної схеми керування літальним апаратом (рис. 1), льотчик візуально та використовуючи покази приладового обладнання відслідковує параметри польоту літального апарату у просторі шляхом порівняння фактичних даних з приладів з початковими, заданими перед польотом. За результатами порівняння даних льотчик приймає рішення щодо керування пілотованим літальним апаратом та виконує відповідні дії шляхом взаємодії з ричагами керування. Таким чином відбувається коригування параметрів польоту літального апарату. В свою чергу, оператор безпілотного літального апарату має можливість частіше за все, керувати польотом пілотованого літального апарату опираючись лише на покази параметрів польоту. А система автоматичного керування літальним апаратом, в свою чергу, опирається

лише на отриманні з датчиків параметри польоту літального апарату.

Таким чином, всі можливі способи керування літальним апаратом мають спільну рису: передача управляючого сигналу до відповідних функціональних систем літального апарату опираючись на аналіз фактичних показів параметрів польоту в порівнянні з заданими перед польотом літального апарату.

Між тим, система керування будь-яким літальним апаратом має відповідати таким базовим вимогам, як забезпечення керування літальним апаратом у всіх його польоту, забезпечення високого рівня безпеки польоту літального апарату, мати мінімальні масогабаритні параметри, невелику вартість, надійність та високі експлуатаційні показники [4].

У будь-якому випадку використання системи керування літальним апаратом, чи то в режимі автопілоту, чи то в допоміжному режимі, має такі завдання, як забезпечення необхідної стійкості літального апарату та його керованості, стабілізація параметрів руху та ціле направлене керування траєкторією руху літального апарату [5].

Слід також враховувати важливість впливу людського фактору при пілотуванні літального апарату. Сучасна система керування літальним апаратом має забезпечувати не тільки керування літальним апаратом в автоматичному режимі, але і в процесі пілотування льотчиком чи оператором надавати застереження щодо небезпечних маневрів чи режимів польоту та, за необхідності, у критичній ситуації під час польоту стабілізувати польотні параметри літального апарату [6].

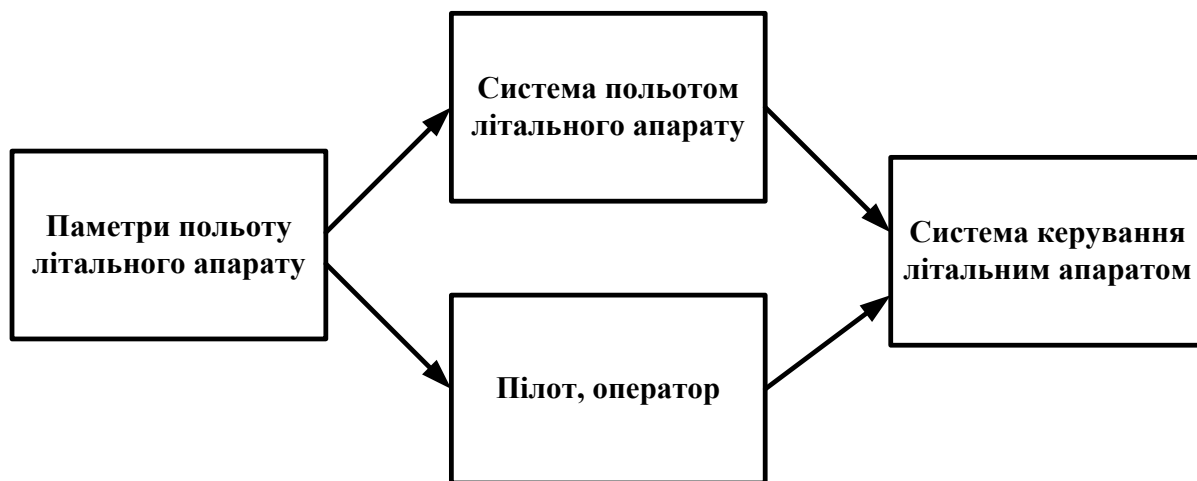


Рис. 2 Структура подвійного контролю параметрів польоту літального апарату

Тому завдання створення оптимальної системи керування польотом літального апарату, яка характеризується властивістю адаптації до стохастичних характеристик умов польоту, має бути вирішена при використанні підходу оптимальної ідентифікації та фільтрації керованого процесу, який ґрунтується на алгоритмах оптимізації керування з використанням прогнозних моделей (рис. 2).

Між тим, система керування польотом літального апарату з посеред іншого, має виконувати такі завдання як, ідентифікація динамічних характеристик керованого літального апарату в процесі експлуатації, оцінка стану літального апарату та його функціональних елементів системи керування польотом, формування керованих сигналів, що ґрунтуються на інформації, що надходить до системи керування відповідно про динамічні характеристики та стан функціональних елементів системи керування польотом літального апарату.

Таким чином, результати вимірів динамічних параметрів польоту надходять до системи керування польотом літального апарату, у якій використовуються для розрахунку та визначення динамічних характеристик літального апарату та за встановленими у алгоритмі системи керування критеріями визначається його стан.

Пропонується підхід до побудови системи керування літальним апаратом, який передбачає подвійне визначення характеристик досліджуваного об'єкту. Перший рівень визначення динамічних характеристики літального апарату реалізує програмну оптимізацію параметрів на основі сигналів із датчиків. Другий рівень визначення динамічних характеристики літального апарату являє собою параметричну ідентифікацію. Досягнення завдань другого рівня визначення динамічних характеристик обумовлене використанням вхідних і вихідних сигналів функціональних систем керування польотом літального апарату (рис. 3).

Після виконання усіх зазначених дій, система керування польотом літального апарату виконує оптимізацію керованих сигналів, що ґрунтуються на даних про мету керування польотом та заданих критеріях оптимізації.

Таким чином, запропонований підхід щодо реалізації системи керування польотом літального апарату складається з наступних етапів реалізації: розробка математичної моделі літального апарату, як об'єкту керування, визначення критеріїв оптимізації за якими синтезуються закони оптимізації керування польотом, розробка алгоритмів від лагодження законів керування польотом відносно режимів його

функціонування та безпосередньо реалізація отриманих алгоритмів системи керування польотом літального апарату в умовах апаратної реалізації бортової комп'ютеризованої системи.

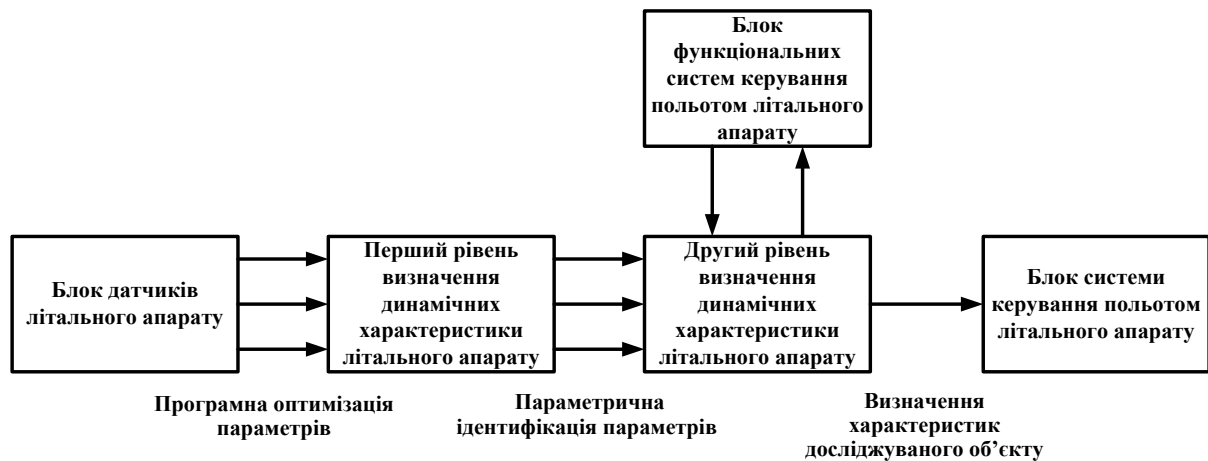


Рис. 3 Структура подвійного визначення характеристик літального апарату

Силові установки літальних апаратів не менш інших функціональних систем літального апарату задіяні у керуванні його польотом. Тому актуальним є розгляд системи керування електричною силовою установкою літального апарату в контексті особливостей його експлуатації [10].

На рис.4 показана запропонована структура системи керування літальним апаратом з електричною силовою установкою. На її побудову мали вплив особливості експлуатації електричної силової установки літального апарату, підхід щодо подвійного визначення характеристик літального апарату та принцип подвійного контролю параметрів польоту літального апарату.



Рис. 4 Структура системи керування літальним апаратом з електричною силовою установкою

Висновки

Отже, враховуючи сучасні вимоги до бортових систем керування літальними апаратами, при їх вдосконаленні слід звернути увагу на такі чинники: 1) висота точність та надійність датчиків усіх параметрів, не в залежності від умов експлуатації; 2) простий і в той же час надійний та функціональний інтерфейс; 3) своєчасне виявлення відхилення в роботі систем літального апарату під час його експлуатації та передача відповідної інформації екіпажу та до системи керування; 4) оперативне визначення динамічних характеристик літального апарату під час польоту та адаптивна оптимізація керування сигналами з урахуванням мети керування та заданих критеріїв оптимізації.

У роботі запропоновано підхід до вдосконалення адаптивної системи літальних апаратів з електричною силовою установкою.

Література

1. Безпека авіації / В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін. К. : Техніка, 2004. 584 с.
2. Харченко В.П., Остроумов І.В. Авіоніка: навч. посіб. К. : НАУ, 2013. 272 с.

3. Boiko S.M. Modern aspects of helicopters' modernization. Monograph / S.M. Boiko, V.H. Romanenko, Yu.V. Stushchanskyi, M.O. Nozhnova, V.M. Doludariiev, Ya.S. Doludarieva, I.M. Koval, N.A. Koversun Warsaw : iScience Sp. z.o.o. 2020. 140 p.
4. Gorodniy O. Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies / Gorodniy O., Gordienko V., Stepenko S., Boyko S., Sereda O. // Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017. P. 232-235.
5. *World Energy Outlook –2021*, OECD/IEA, Paris.
6. Кутовий О.П. Тенденції розвитку безпілотних літальних апаратів. *Наука і озброєння*. 2014. № 4. С. 39 - 47.
7. Білолід В.Д., Таранець К.В. Мала енергетика та її значення в регіональних системах майбутнього. *Проблеми загальної енергетики*. 2008. №18. С. 40–47.
8. Головко В.М., Денисюк П.Л., Кириленко В.М. Аналіз принципів побудови локальних систем енергозабезпечення на базі відновлювальних джерел енергії. Відновлювана енергетика XXI століття: IX міжнар. конф., 15–19 вересня 2008 р.: тези доп. АР Крим, 2008. С. 124– 125.
9. Глоба Л. С. Розробка інформаційних ресурсів та систем / Л. С. Глоба, Т. М. Кот. – К. : НН ІТС НТУУ «КПІ», 2012. – 322 с.
10. Демківський Є. О. Система підтримки прийняття рішень при прогнозуванні нестационарних процесів / Є. О. Демківський, П. І. Бідюк // Наукові праці Миколаївського державного гуманітарного університету ім. Петра Могили. – 2008. – Вип. 77. – С. 137-159.
11. Мясичев А. А. Построение БПЛА длительного полета с использованием солнечных модулей / А. А. Мясичев // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки. – 2017. - № 2. – С.132-136.
12. Функціональна стратифікація структур систем керування безпілотних авіаційних комплексів / Сергій Нестеренко, Андрій Акименко, Оксана Герасименко [та ін.] // Технічні науки та технології. – 2016. - № 2. – С. 123-129.

References

1. Bezpeka aviatsii / V. P. Babak, V. P. Kharchenko, V. O. Maksymov ta in. K. : Tekhnika, 2004. 584 s.
2. Kharchenko V.P., Ostroumov I.V. Avionika: navch. posib. K. : NAU, 2013. 272 s.
3. Boiko S.M. Modern aspects of helicopters modernization. Monograph / S.M. Boiko, V.H. Romanenko, Yu.V. Stushchanskyi, M.O. Nozhnova, V.M. Doludariiev, Ya.S. Doludarieva, I.M. Koval, N.A. Koversun Warsaw : iScience Sp. z.o.o. 2020. 140 p.
4. Gorodniy O. Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies / Gorodniy O., Gordienko V., Stepenko S., Boyko S., Sereda O. // Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017. P. 232-235.
5. *World Energy Outlook –2021*, OECD/IEA, Paris.
6. Kutovyi O.P. Tendentsii rozvytku bezpilotnykh litalnykh aparativ. Nauka i ozbroiennia. 2014. № 4. S. 39 - 47.
7. Bilolid V.D., Taranets K.V. Mala enerhetyka ta yii znachennia v rehionalnykh systemakh maibutnoho. Problemy zahalnoi enerhetyky. 2008. №18. S. 40–47.
8. Holovko V.M., Denysiuk P.L., Kyrylenko V.M. Analiz pryntsyypiv pobudovy lokalnykh system enerhozabezpechennia na bazi vidnovliualnykh dzherel enerhii. Vidnovliuvana enerhetyka KhKhI stolittia: IKh mizhnar. konf., 15–19 veresnia 2008 r.: tezy dop. AR Krym, 2008. S. 124– 125.
9. Hloba L. S. Rozrobka informatsiinykh resursiv ta system / L. S. Hloba, T. M. Kot. – K. : NN ITS NTUU «KPI», 2012. – 322 s.
10. Demkivskyi Ye. O. Systema pidtrymky pryiniattia rishen pry prohnozuvanni nestatsionarnykh protsesiv / Ye. O. Demkivskyi, P. I. Bidiuk // Naukovi pratsi Mykolaivskoho derzhavnoho humanitarnoho universytetu im. Petra Mohyly. – 2008. – Vyp. 77. – S. 137-159.
11. Miasyshchev A. A. Postroyeniye BPLA dlytelnoho poleta s yspolzovanyem solnechnykh modulei / A. A. Miasyshchev // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Tekhnichni nauky. – 2017. - № 2. – S.132-136.
12. Funktsionalna stratyfikatsiia struktur system keruvannia bezpilotnykh aviatsiinykh kompleksiv / Serhii Nesterenko, Andrii Akymenko, Oksana Herasymenko [ta in.] // Tekhnichni nauky ta tekhnolohii. – 2016. - № 2. – S. 123-129.