

УДК 629

О. В. ГЕТМАНЕЦЬ, канд. техн. наук;

Є. Д. ЛУКАЦЬКИЙ,

Державний університет телекомунікацій, Київ

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЛІТАЛЬНИМ АПАРАТОМ

Розглянуто наукову задачу використання волоконно-оптичних систем передавання в системах керування літальним апаратом. Обґрунтовано актуальність та визначено основні напрямки досліджень щодо створення волоконно-оптичної системи керування пілотованим літальним апаратом.

Ключові слова: волоконно-оптична система керування; оптичне волокно; літальний апарат.

Вступ

Постановка проблеми. Система керування літальним апаратом (ЛА) є однією з критичних та життєво необхідних систем, від коректної роботи якої значною мірою залежить безпека експлуатації ЛА. В сучасних умовах важливою задачею є забезпечення протидії природним та штучним електромагнітним завадам, зменшення ваги, підвищення захищеності авіаційного обладнання від пожеж, що в кінцевому результаті безпосередньо впливає на загальну надійність ЛА. Отже, необхідно створювати такі системи керування ЛА, які зможуть забезпечувати стабільну роботу в складних радіо та електромагнітних умовах, будуть відповідати наведеним вимогам. Використання волоконно-оптичних систем передавання в системах керування ЛА є одним з ефективних кроків у даному напрямку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Першим матеріалом щодо використання волоконно-оптичних систем та ліній зв'язку в авіації, що виявлено нами, є публікація Гарі Т Сенга з NASA 1988 року «Overview of NASA Research in Fiber Optics for Aircraft Controls» [1], однак до початку ХХІ сторіччя публікації носили поодинокий несистемний характер. При цьому нами не виявлено публікацій, які б стосувалися впровадження волоконно-оптичних технологій у цивільну авіацію. У дослідженнях йшлося лише про часткове впровадження оптичного волокна в інформаційні мережі військових фронтових літаків. У ХХІ сторіччі, у зв'язку з активним розвитком сучасних телекомунікаційних волоконно-оптичних мереж та суттєвим збільшенням обсягів інформації, що збиралася, а також переходом на сучасні композитні матеріали, почалася активна розробка волоконно-оптичних систем авіаційного призначення, що знайшло відображення у появі великої кількості публікацій. У 2008 році на сайті www.gulfstream-news.com з'явилася стаття щодо випробувань прототипа адміністративного літака (бізнес-джету) «Гольфстрім» із використанням технології Fly-

by-fiber [2], а з 2012-2014 років з'являється ціла низка публікацій щодо волоконно-оптичних технологій. Так, 2013 року було опубліковано статтю щодо еволюції систем керування літаком та описано базові принципи та переваги волоконно-оптичної системи керування [3], у 2019 році з'являється низка публікацій у журналі «Национальная оборона», зокрема стаття «Волоконная оптика в авиации: наступившее завтра», де наведено приклади використання оптичного волокна у військовій авіації та зроблено аналіз перспектив цих систем [4]. У статті, яку було опубліковано у Науковому віснику Новосибірського державного технічного університету, було розглянуто питання використання волоконно-оптичних систем для самодіагностики авіаційних конструкцій [5].

Метою даної статі є визначення основних напрямків досліджень, що необхідно виконати для створення всеохоплюючої волоконно-оптичної системи керування пілотованим ЛА, що буде відповідати підвищеним вимогам до безпеки експлуатації ЛА та електромагнітної завадостійкості.

Основна частина

До системи керування літаком висуваються такі основні вимоги:

- усі елементи системи керування повинні працювати чітко, легко, плавно та забезпечувати виконання заданих функцій;
- кожний елемент системи керування має бути сконструйований так, щоб звести до мінімуму вірогідність помилкового збирання та встановлення, що може призвести до неправильного функціонування;
- система повинна працювати, не зважаючи на поодинокі або майже неймовірні відмови в режимі нормального польоту, не вимагаючи від пілота виключної майстерності або надзусиль;
- літак має бути керованим у разі відмови всіх двигунів;
- навантаження на органах керування не повинно перевищувати 500...600 Н у поздовжньому,

300...350 Н у поперечному та 900...1050 Н у поперечному каналі.

Наразі системи керування поділяються на 2 основних типи: *механічні* та *електродистанційні*. До *механічних* відносяться системи з гнучкою або жорсткою проводкою, який передає зусилля з органів керування на рульові поверхні. На сучасних літаках для зменшення зусиль можуть використовуватися бустерні підсилювачі. До переваг механічних систем керування можна віднести:

- відсутність перетворювачів сигналу;
- великий досвід конструювання систем;
- відсутність критичної залежності від роботи бортових систем живлення та робочих рідин, можливість керування літаком, не зважаючи на відмову бустерних підсилювачів;

• висока заводо- та ударостійкість.

До основних недоліків можна віднести:

- складну кінематику системи керування;
- велику масу системи;
- відсутність або велику додаткову масу дублювальних систем;

• складність обслуговування великої кількості елементів системи, розміщених по всьому літаку;

• необхідність великих органів керування з великими ходами, що суттєво зменшує корисний об'єм кабіни пілотів.

Електродистанційна система керування (ЕДСК) — система керування, в якій команди керування передаються з органів керування на рульові поверхні у вигляді електричних імпульсів. Розрізняють ЕДСК з повною відповідальністю та ЕДСК з механічним дублюванням. До переваг ЕДСК можна віднести:

- високий рівень дублювання (використовується три- та чотирикрратне резервування каналів);
- низьку масу;
- можливість створення більш ергономічного простору в кабіні пілотів (зменшення розмірів органів керування, використання сайдстіків тощо);

• більш легке обслуговування через істотне зменшення кількості елементів, що рухаються;

• можливість контролю та коригування дій пілота.

До недоліків ЕДСК можна віднести:

- низький захист від електромагнітних завад та систем радіоелектронної боротьби;
- низький захист від блискавок та підвищеного радіаційного фону;

• залежність від роботи бортової системи живлення;

• підвищені вимоги до рівня підготовки наземного персоналу;

• можливість виходу з ладу у разі пошкодження ізоляції проводу;

• відсутність прямого зворотного зв'язку між рульовими поверхнями та органами керування.

Таким чином, кожна з існуючих систем керування має як суттєві переваги, так і істотні недоліки. Водночас, у 70-80-х роках ХХ сторіччя почали активно розвиватися волоконно-оптичні системи зв'язку. Уже на початку 90-х років почалося обговорення можливості використання оптичного волокна в авіації. Наразі волоконно-оптичні інформаційні мережі використовуються у деяких військових літаках, таких як B2 Spirit, F/A-18E/F Super Hornet, F-35 Lightning II, E-3D Sentry, E-8C JSTARS (Block 20), EC-130H (Block 30) Compass Call, F-16-E/F (Block 60) Fighting Falcon, F-22 Raptor, E-3D Sentry, E-8C JSTARS (Block 20), EC-130H (Block 30) Compass Call, F-16-E/F (Block 60) Fighting Falcon, F-22 Raptor, Eurofighter Typhoon, Kawasaki P-1, МиГ-29К/КУБ, МиГ-35, Су-35, Т-50 [4]. Першими комерційними літаками з використанням волоконної оптики стали Boeing-777 та Boeing-787. На японському патрульному літаку Kawasaki P-1, крім волоконно оптичної інформаційної мережі, реалізовано першу в історії повноцінну волоконно-оптичну систему керування.

До переваг волоконно-оптичної системи керування (ВОСК) можна віднести:

- істотне зменшення маси та об'єму кабелів (можливо розміщення великої кількості жил в одному волоконно-оптичному кабелі, а масу багатожильного кабелю можна зіставити з одножильним мідним кабелем);
- збільшення надійності функціонування системи;
- підвищення захищеності від пожеж;
- зменшення споживання енергії;
- забезпечення гальванічної розв'язки електричних елементів системи керування;
- забезпечення стабільності передавання та знімання сигналів за умов радіоелектронного, радіаційного та електромагнітного впливу;
- підвищення швидкості передавання інформації та сигналів;
- високий ресурс волоконно-оптичних кабелів (можна зіставити з ресурсом літака);
- можливість створення більш ергономічного простору в кабіні пілотів (зменшення розмірів органів керування, використання сайдстіків тощо);
- високий рівень дублювання (використовується три- та чотирикрратне резервування каналів)
- можливість контролю та коригування дій пілота.

До недоліків ВОСК можна віднести:

- низький рівень упровадження оптичного волокна у цивільній авіації;
- відсутність підготовлених кадрів для обслуговування даних систем серед інженерів з авіоніки і радіоелектронного обладнання;
- низький ККД систем передавання електроенергії по оптичному волокну (не більш як 25-27%)

До недоліків ВОСК можна віднести:

- низький захист від блискавок та підвищеного радіаційного фону;
- залежність від роботи бортової системи живлення;
- підвищені вимоги до рівня підготовки наземного персоналу;
- можливість виходу з ладу у разі пошкодження ізоляції проводу;
- відсутність прямого зворотного зв'язку між рульовими поверхнями та органами керування.

До недоліків ВОСК можна віднести:

- низький захист від блискавок та підвищеного радіаційного фону;
- залежність від роботи бортової системи живлення;
- підвищені вимоги до рівня підготовки наземного персоналу;
- можливість виходу з ладу у разі пошкодження ізоляції проводу;
- відсутність прямого зворотного зв'язку між рульовими поверхнями та органами керування.

До недоліків ВОСК можна віднести:

- низький захист від блискавок та підвищеного радіаційного фону;
- залежність від роботи бортової системи живлення;
- підвищені вимоги до рівня підготовки наземного персоналу;
- можливість виходу з ладу у разі пошкодження ізоляції проводу;
- відсутність прямого зворотного зв'язку між рульовими поверхнями та органами керування.

До недоліків ВОСК можна віднести:

- низький захист від блискавок та підвищеного радіаційного фону;
- залежність від роботи бортової системи живлення;
- підвищені вимоги до рівня підготовки наземного персоналу;
- можливість виходу з ладу у разі пошкодження ізоляції проводу;
- відсутність прямого зворотного зв'язку між рульовими поверхнями та органами керування.

До недоліків ВОСК можна віднести:

- низький захист від блискавок та підвищеного радіаційного фону;
- залежність від роботи бортової системи живлення;
- підвищені вимоги до рівня підготовки наземного персоналу;
- можливість виходу з ладу у разі пошкодження ізоляції проводу;
- відсутність прямого зворотного зв'язку між рульовими поверхнями та органами керування.

До недоліків ВОСК можна віднести:

- низький захист від блискавок та підвищеного радіаційного фону;
- залежність від роботи бортової системи живлення;
- підвищені вимоги до рівня підготовки наземного персоналу;
- можливість виходу з ладу у разі пошкодження ізоляції проводу;
- відсутність прямого зворотного зв'язку між рульовими поверхнями та органами керування.

та низьку максимальну потужність (до 20 Вт на даний момент) доступних систем передавання [6];

- високу інноваційність елементів системи;
- залежність від енергопостачання (потреба у резервних акумуляторах або генераторах);
- відсутність прямого зворотного зв'язку між рульовими поверхнями та органами керування.

Таким чином, ВОСК мають додаткові переваги над механічними СК та вирішують деякі суттєві недоліки ЕДСК, і, отже, є перспективними, а їх розробка є актуальним науковим завданням.

ВОСК можна поділити на такі основні елементи:

- органи керування літаком;
- датчики та прилади вимірювання параметрів польоту;
- бортовий комп'ютер;
- інформаційна мережа;
- енергосистема;
- рульові приводи.

Органи керування літаком можна розділити на дві основні групи:

1) осьові, що передають дані про своє положення відносно базової точки під час обертання навколо осі;

2) дискретні, що передають деяку кількість дискретних значень свого положення.

До осьових органів керування належать ручка керування літаком, педалі, ручка керування двигуном, штурвал керування рульовим колесом.

До дискретних органів керування можна віднести різноманітні кнопки, тумблери та інші елементи, що мають фіксовану кількість положень.

Ручка керування літаком (РКЛ) — пристрій, за допомогою якого здійснюється керування кермом висоти та елеронами. Виокремлюють три основних типи РКЛ: центральну ручку, штурвал та бокову ручку або sidestick. ВОСК дозволяє використовувати бокову ручку керування, що збільшує корисний об'єм кабіни пілотів. Наразі використовуються sidestick із потенціометрами або іншими електричними датчиками кута повороту по двох осях, що мають велику точність, дешеві у виробництві, але є вразливими щодо зовнішніх електромагнітних впливів, а також потребують підведення енергії. Тому нами буде розроблено на базі волоконно-оптичних датчиків кута повороту пасивну ручку керування, в якій усі електричні частини будуть виведені до блока керування літаком.

Ручка керування двигуном та педалі мають лише одну вісь, отже, є більш простими та будуть використовувати ті самі датчики кута повороту, що й РКЛ, та також стануть пасивними приладами.

Тумблери, кнопки та інші пристрої керування ЛА, що мають скінчену кількість положень, можуть працювати за рахунок волоконно-оптичних датчиків, що змінюють інтенсивність оптичного

потoku шляхом змінення прозорості оптичного каналу.

Датчики та прилади вимірювання параметрів польоту. Істотною проблемою існуючих систем керування є використання для отримання основних параметрів польоту приймача повітряного тиску, що істотно залежить від чистоти отвору, та відомі неодноразові випадки відмови приймача повітряного тиску (ППТ) через обмерзання або потрапляння у канал ППТ сторонніх предметів. Другим важливим датчиком є датчик кута атаки, що також є електромеханічним і може бути легко пошкоджений або виведений з ладу у разі потрапляння на нього води (внаслідок замерзання). При цьому в дослідній аеродинаміці використовується метод визначення аеродинамічних характеристик літака за допомогою дренажних випробувань, які полягають у вимірюванні тиску в багатьох точках по хорді в деяких перерізах крила. Під час переходу на ВОСК пропонується розробити комплекс волоконно-оптичних датчиків тиску та систему оброблення даних, що дасть можливість:

- відмовитись від ППТ та датчика кута атаки;
- зменшити аеродинамічний спротив літака;
- збільшити точність розрахунку параметрів польоту;
- покращити визначення виходу на критичні режими польоту завдяки контролю за примежовим шаром на всьому розмаху крила.

Також пропонується використовувати волоконно-оптичні гіроскопи замість електричних чи механічних.

Ще одним важливим елементом сучасної системи керування є встановлення систем машинного зору, камер, лідарів та інших пристроїв для контролю та автоматичного руху.

Бортовий комп'ютер. Сьогодні на території пост-радянського простору згідно з відкритими джерелами для пілотованих ЛА використовуються бортові комп'ютери на базі застарілих версій процесорів компанії Intel або радянських мікропроцесорів, що мають відносно великі габаритні розміри та масу, при цьому не відрізняються великими розрахунковими можливостями та запасом потужності для оброблення додаткової інформації та впровадження систем автоматичного руху по літовищу та машинного зору. Ми пропонуємо у процесі розробки ВОСК використовувати як бортовий комп'ютер системи на платі з лінійки Jetson компанії Nvidia, що успішно застосовуються як у безпілотній авіації, так і в системах автоматичного керування автомобілями та іншої техніці. Завдяки малим розмірам та масі й високим розрахунковим можливостям ці мікрокомп'ютери дозволять суттєво покращити параметри автоматичної та зменшити масу літака за рахунок більш компактного розміщення модулів.

Інформаційна мережа. Інформаційна мережа літака складається з кабельної мережі та систем комутації сигналів, що з'єднує різні прилади та системи літака з бортовим комп'ютером та один з одним. Ця система є найбільш вразливою перед зовнішнім впливом та створює загрозу для екранованих елементів бортової електроніки. Також через властивості мідного кабелю для передавання сигналу необхідно використовувати багатожильні кабелі, що істотно збільшує масу та розміри ізоляції. Тому ми пропонуємо замінити мідні кабелі на більш легкі волоконно-оптичні кабелі, які потребують меншої ізоляції і дають змогу в одній оболонці розмістити велику кількість волокон, а також завдяки частотній модуляції пускати по одному волокну кілька сигналів. Також оптичне волокно дозволяє без використання зайвих схем з'єднувати та розділяти сигнали за рахунок зварювання кількох волокон, тим самим уможливаючи створення монолітної системи, що не буде потребувати додаткового огляду. Ще однією перевагою оптичного волокна є велика довговічність (30 років на відміну від 15 у мідного кабелю), що дозволяє зняти питання заміни кабелів під час експлуатації літака та зменшити час важких форм технічного обслуговування літаків.

Енергосистема. Суттєвою проблемою є необхідність живлення деяких віддалених елементів літака, а також небезпека короткого замикання або перевищення допустимої потужності чи сили току у мідних жилах, що може призвести до виходу з ладу встаткування, пожежі в електропроводці або аварійного вимкнення ЕДСУ. На цей час є вирішення, що дають можливість передавати по оптичному волокну енергію вихідною потужністю до 20...25 Вт з КПД 25-27% (потужність лазера до 100 Вт), уможливаючи живлення пристрою відображення польотних даних, простих електричних датчиків та блоків керування (Power-over-fiber). Ця система дозволить зробити гальванічну розв'язку електросистем літака, зменшити масу кабелів (для передавання енергії необхідно лише одне волокно, на відміну від двох жил мідного проводу), а також зменшити вірогідність пожежі електропроводки. Одна ця система ще не дозволяє передавати через себе велику потужність, необхідну для роботи рульових машин та інших енергоємних систем

Висновки

Зважаючи на аналіз переваг та недоліків сучасних систем керування ЛА, а також активний розвиток волоконно-оптичних систем, є доцільним продовжити роботу з розробки волоконно-оптичної системи керування літальним апаратом, також вважаємо її найперспективнішим напрямком розвитку систем керування літальним апаратом на цей час. Основними напрямками наукових досліджень у цій області є дослідження волоконно-оптичних датчиків та систембору інформації, систем оброблення та виводу сигналу, передавання енергії через оптичне волокно, оптимізації інформаційної мережі літака.

Список використаної літератури

1. Gary T. Seng. *Overview of NASA Research in Fiber Optics for Aircraft Controls*, Houston, Texas, NASA. 1988.
2. *Gulfstream Demonstrates Fly-By-Light Aircraft-Control System*, March 18, 2008. URL: <https://www.gulfstreamnews.com/news/gulfstream-demonstrates-fly-by-light-aircraft-control-system> (Дата звернення 23.10.2019).
3. *Evolution of Aircraft Flight Control System and Fly-By-Light Flight Control System* Atul Garg¹, Rezawana Islam Linda², Tonoy Chowdhury³ // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering Website*. Issue 12.2013. www.ijetae.com.
4. Пенін А. В. Волоконная оптика в авиации: наступившее завтра // *Национальная оборона: электрон. версия журн.* 2019. №8. URL: <http://www.oborona.ru/includes/periodics/defense/2016/0118/143817620/detail.shtml>.
5. *Применение оптоволоконных технологий при создании встроенных систем самодиагностики авиационных конструкций* / А. Н. Серьезнов, А. Б. Кузнецов, А. В. Лукьянов, А. А. Брагин // *Научный вестник НГТУ: электрон. версия журн.* 2016. Т. 64, № 3. С. 95–105. URL: <http://journals.nstu.ru/vestnik>.
6. *MH GoPower photovoltaic converter [Електронний ресурс]*. URL: http://www.mhgo-power.com/laser_pof_YCHPPC.html#lasertop.

Рецензент: доктор техн. наук, доцент В. Ф. Заїка, Державний університет телекомунікацій, Київ.

О. В. Гетманец, Е. Д. Лукацкий

ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМ АППАРАТОМ

Рассмотрено научную задачу использования волоконно-оптических систем передачи в системах управления летательным аппаратом. Обосновано актуальность и определены основные направления исследований относительно создания волоконно-оптической системы управления пилотируемым летательным аппаратом.

Ключевые слова: волоконно-оптическая система управления; оптическое волокно; летательный аппарат.

O. V. Hetmanets, Y. D. Lukatskyi
THE FIBER-OPTIC AIRCRAFT CONTROL SYSTEM

The scientific problem of using fiber-optic transmission systems in aircraft control systems was described. The analysis of studies in this field from published source of information is made and known examples of fiber-optic transmission systems using in aircraft are considered. The comparative assessment of existing aircraft control systems is described. It is shown that the control system of the aircraft is one of the critical and vitally important systems, correct work of which influences largely on the safety of operation of the aircraft. In modern conditions, many man-made and natural factors can influence the control system of an aircraft. Therefore, an important purpose is counteraction to natural and artificial electromagnetic interference; providing weight reduction and improvement the aviation equipment for protection from fires. This properties ultimately directly affect the overall reliability of the aircraft. Thus, it is necessary to create aircraft control systems, which are able to provide stable operation during complex radio and electromagnetic conditions and will meet the requirements that are described in the article. The using of fiber-optic transmission systems in aircraft control systems is one of the effective steps in this direction. The urgency of this investigation was proved and the main directions of research regarding the creation of fiber-optic system that control manned aircraft was determined.

Keywords: fiber-optic control system; optical fiber; manned aircraft.

Шановні колеги!

*Передплата на загальногалузевий науково-виробничий журнал
завжди триває!*

Її ви можете оформити за «Каталогом видань України» та «Каталогом видань зарубіжних країн»:

- ❖ у відділеннях поштового зв'язку
- ❖ в операційних залах поштамтів
- ❖ у пунктах приймання передплати
- ❖ на сайті ДП «Преса» www.presa.ua
- ❖ на сайті УДППЗ «Укрпошта» www.ukrposhta.ua

**ПЕРЕДПЛАТНИЙ ІНДЕКС
74224**



Підтримуйте фахове галузеве видання — завжди надійне джерело достовірної інформації!