УДК 623.746.4 - 519

***САМОЙЛЕНКО О.В.**, начальник науково-дослідної лабораторії, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*
***ВОЛИНЕЦЬ В.Л.**, провідний науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник*
***ЛАДИК М.О.**, старший науковий співробітник*

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМИ ПОБУДОВИ БОРТОВОГО ЕЛЕКТРОННОГО ОБЛАДНАННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА З МУЛЬТИПЛЕКСНИМ ІНТЕРФЕЙСОМ УПРАВЛІННЯ ТА КОНТРОЛЕМ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ

Представлено результати аналізу перспективних напрямів побудови бортового електронного обладнання з мультиплексним інтерфейсом управління та контролем інформаційного обміну між системами й комплексами безпілотних літальних апаратів класу І-ІІІ для Збройних Сил України.

Ключові слова: безпілотний літальний апарат, бортове електронне обладнання, мультиплексний канал інформаційного обміну, бортова цифрова обчислювальна система

Одним із основних завдань, що вирішується при формуванні комплексу бортового електронного обладнання (КБЕО) безпілотного літального апарату (БпЛА), є вибір його складу, характеристик обчислювальних засобів й організації управління та контролю за інформаційним обміном між системами КБЕО.

За організацією оброблення інформації між складовими КБЕО обчислювальні засоби можна поділити на дві основні групи: централізовані, в яких основні функціональні завдання вирішуються центральною бортовою цифровою обчислювальною системою (БЦОС) і децентралізовані, в яких завдання функціональних підсистем вирішуються автономними БЦОС, що входять до складу цих підсистем.

Протягом розвитку КБЕО відзначається стала тенденція до наближення централізованої й децентралізованої організації оброблення інформації шляхом створення БЦОС змішаної організації. Такі БЦОС мають ієрархічну структуру з кількома рівнями оброблення інформації.

Інформаційні й керуючі зв’язки між окремими пристроями КБЕО реалізуються на основі багаторівневої бортової мультиплексної системи інформаційного обміну з програмно-керуючими каналами інформації.

Кожний із зазначених у таблиці 1 інтерфейсів характеризується не тільки швидкістю обміну даними, а й розміром посилки, сумісною або роздільною лінією

Основу такої системи складають мультиплексні канали інформаційного

© Самойленко О.В, Волинець В.Л., Ладик М.О., 2017

обміну (МКІО) на основі чинних і перспективних стандартів (інтерфейси та їх модифікації) в авіації [1]. Приклади застосування інформаційних інтерфейсів на сучасних літальних апаратах і відповідного значення одного з основних їх параметрів - швидкості передавання даних, наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Швидкість передавання даних інформаційних інтерфейсів літальних апаратів

Швидкість передавання даних	Стандарт (тип) інформаційного інтерфейсу	Літальний апарат, область застосування
1 - 2 Гбіт/с	Fiber Channel (FC-AE:-1553,-AS M,-RDMA,-LP)	F-35, F/A-18 E/F, F-16-E/F (Block 60)
10 Мбіт/с - 1 Гбіт/с (10 Гбіт/с в перспективі)	Ethernet (IEEE-802./ AFDX)	Boeing 767-400 ER/ A 380
370 - 930 Мбіт/с	Масштабований інтерфейс (IEEE Std 1596), SCI/RT (IEEE P.1596.6)	цивільна, військова
800 Мбіт/с	IEEE 1394b	F-35
80 Мбіт/с	Fibre-optik (HSDB: AS 4074, STANAG 7076)	JIAWG/F-22
20 Мбіт/с	STANAG 3910 (A,B,C,D)	Typhoon (A), Rafale (D)
2 Мбіт/с	ARINC 629	цивільна, Boeing 777
1 Мбіт/с	1553 B	військова
110 Кбіт/с	ARINC 429	цивільна, військова (AWACS, Boeing 737, A330, Nimrod)
64 Кбіт/с	PAN standard (Tornado Serial)	Tornado, Sea Harrier

приймання/передавання даних та іншими не менш важливими параметрами.

Ефективність сучасних і перспективних БпЛА значною мірою визначається рівнем досконалості їх КБЕО. В свою чергу удосконалення КБЕО відбувається переважно за рахунок розвитку інформаційно-обчислювальних систем.

За умов швидкого зростання можливостей обчислювальної техніки й значного розвитку цифрових технологій стає можливим подальше вдосконалення й технічного обрису КБЕО [2]. Тому вибір архітектури побудови МКІО на тому чи іншому БпЛА, як складової безпілотного авіаційного комплексу (БпАК), повинен здійснюватися на основі результатів аналізу їх КБЕО аналогічно тому, як це робиться для літальних апаратів різних класів.

Можливі напрями побудови МКІО для вітчизняних БпЛА пов’язані з класифікацією їх БпАК. Згідно з Правилами виконання польотів безпілотними авіаційними комплексами державної авіації України діє класифікація безпілотних комплексів, яку приведено у відповідність до класифікації БпАК країн членів NATO й наведено в таблиці 2.

Відповідність сучасного БпЛА цільовому призначенню забезпечується його інформаційно-обчислювальною системою, до складу якої входить сукупність датчиків інформації й обчислювачів, набір режимів їх функціонування та управлінням, і контролем інформаційного обміну між системами й комплексами БРЕО [3].

Таблиця 2

Загальна класифікація безпілотних авіаційних комплексів Збройних Сил України

Клас	Категорія (рівень)	Бойовий радіус дії	Категорія БпАК країн членів NATO
I Клас < 150 кг	мікро, злітна маса менше 2 кг	до 5 км	micro
	міні, 2 кг ≤ злітна маса ≤ 15 кг	понад 5 км	mini
	малі, злітна маса понад 15 кг	понад 25 км	small
II Клас 150-600 кг	тактичні	понад 50 км	tactical
III Клас > 600 кг	оперативні	понад 200 км (поза зоною прямої видимості)	MALE
	стратегічні	понад 200 км (поза зоною прямої видимості)	HALE

До сучасних і перспективних БЦОС безпілотних літальних апаратів пред'являються наступні вимоги [4]:

застосування в умовах вогневої, радіоелектронної й інформаційної протидії;

здатність до інтеграції інформаційних датчиків в єдину інформаційно-обчислювальну систему;

забезпечення раціонального поєднання управління БпЛА й застосування засобів ураження;

комплексне оброблення інформації в масштабі реального часу, яка отримана від датчиків різної фізичної природи й забезпечила виконання завдань відповідно до цільового призначення (виявлення та розпізнавання цілей різного класу, радіоелектронна боротьба, ретрансляція сигналів управління й передавання інформації, завдавання ударів, радіо- й радіотехнічна розвідка тощо).

Для визначення напрямів побудови мультиплексної системи інформаційного обміну бортового обладнання відповідно до класів I-III класифікації БпЛА, проведено компонентний аналіз складу їх бортового обладнання на основі уточнених загальних вимог до БпАК різних класів.

Результати системного аналізу безпілотних літальних апаратів щодо складу їх КБЕО (відповідно до наведеної класифікації) виявили те, що БпЛА класу I повинен мати в своєму складі таке основне бортове обладнання:

систему автоматичного керування польотом;

супутникову радіонавігаційну систему;

інерціальну навігаційну систему;

підсистему телеметрії передавання на пункт управління параметрів польоту; змінне цільове спорядження (ТВ камера, цифровий фотоапарат, камера ІЧ діапазону, передавачі перешкод, датчики радіоактивності, хімічного складу атмосфери тощо).

Для визначення інтерфейсу на БпЛА класу І (та інших класів), крім складу цільового спорядження, необхідно знати такі його параметри: геометричні розміри й розташування спорядження для визначення довжини ліній зв'язку інформаційної мережі, швидкості передавання даних, ймовірність інформаційної похибки та надійність передавання інформації, зручність роботи з вибраним стандартом щодо стандартизації рішень й уніфікації обчислювального та програмного обладнання.

Прикладом реалізації інтерфейсу БпЛА класу І може бути побудова центрального бортового обчислювача вітчизняного БпЛА "Горлиця". До складу його центрального обчислювального процесора входить три обчислювальних модуля (керування польотом, контролю, ресурсоємних завдань) і плата резервного приймача супутникової радіонавігаційної системи.

Характеристики цифрових інтерфейсів, які доцільно використовувати при проектуванні БпЛА класу І, наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Основні характеристики інтерфейсів RS-232, RS-422 і RS-485

Найменування характеристики	Значення характеристики за інтерфейсом		
	RS - 232	**RS - 422**	**RS - 485**
Спосіб передавання сигналу	однофазний	диференційний	диференційний
Максимальна кількість приймачів	1	10	32
Максимальна довжина кабелю	15 м	1200 м	1200 м
Максимальна швидкість передавання інформації	460 кбіт/с	10 Мбіт/с	30 Мбіт/с (не стандартне)
Синфазна напруга на виході	± 25В	– 0,25...+6В	– 7...+12В
Напруга в лінії під навантаженням	±5... ±15В	±2В	±1,5В
Імпеданс навантаження	3...7 кОм	100 Ом	54 Ом
Струм витоку в "третьому" стані	-	дані відсутні-	±100 мкА
Допустимий діапазон рівня сигналів на вході приймача	±15В	±10В	– 7...+12В
Чутливість приймача	±3В	±200 мВ	±200 мВ
Вхідний опір приймача	3...7 кОм	4 кОм	≥12 кОм

Відповідно до таблиці 3 інтерфейс RS-485 є найкращим для сучасного рівня розвитку цифрових технологій. Він забезпечує двосторонній обмін даними лише по одній витій парі проводів, роботу з кількома трансиверами, що підключені до однієї й тієї ж лінії (є можливість організації мережі), має значну довжину лінії зв'язку та достатньо високу швидкість передавання даних.

Отже, для БпЛА класу І, які характеризуються невеликою масою (до 150 кг) і невеликою кількістю систем, що входять до складу їх бортового обладнання, доцільно при побудові інформаційно-обчислювальних систем використовувати цифрові лінії зв'язку побудовані по типу інтерфейсів RS-422 і RS-485 з пропускною здатністю до 30 Мбіт/с.

За результатами зазначеного вище аналізу БпЛА класу ІІ-ІІІ повинні додатково мати таке бортове обладнання:

цифрову систему повітряних сигналів;

безплатформну інерціальну навігаційну систему;

відповідач управління повітряним рухом;

систему розпізнавання “свій-чужий”;

датчик магнітного курсу;

змінне цільове спорядження (передавачі перешкод, бортовий накопичувач, апаратура ретрансляції радіосигналів, в ударному варіанті - озброєння).

Необхідність виконання вимог щодо оцінювання фоно-цільової обстановки на театрі військових дій потребує введення в інформаційний комплекс БпАК класу ІІІ таких датчиків:

радіолокаційної станції з режимами синтезованої апертури й селекцією рухомих цілей;

оптико-електронної й тепловізійної станції виявлення та розпізнавання наземних цілей;

станції радіо - й радіотехнічної розвідки для виявлення радіовипромінюючих наземних цілей;

лазерного далекоміра – цілевказівника для точного визначення дальності до наземної цілі та її підсвічування.

Інформаційне розширення буде досягатися за рахунок включення до БРЕО сучасних і перспективних датчиків щоб отримати від них більший обсяг даних, що дозволить покращати такі важливі показники БпАК, як ймовірність виконання завдань, точність визначення координат і класифікації об’єктів, розрізнювальну здатність і перешкодозахищеність.

Одним зі способів реалізації інформаційних можливостей БЦОС є інтеграція (комплексування) даних, що надходять від датчиків різної фізичної природи, а також однієї фізичної природи, які працюють у різних частотних діапазонах електромагнітних хвиль.

Сучасним напрямом розроблення архітектури й компонентів КБЕО є концепція інтеграції бортової апаратури IMA (Integrated Modular Avionic), основи якої викладено в стандарті ARINC 651. Концепція IMA припускає поділ функціональних компонентів КБЭО на три ієрархічні рівні, а саме:

нижній, який утворюють уніфіковані конструктивно-функціональні модулі, що мають обчислювальні засоби;

середній, до якого входять мультипроцесорні обчислювальні системи;

високий, що включає бортову локальну обчислювальну мережу з високою пропускною здатністю та об’єднує обчислювальні засоби середнього рівня.

Багатомодульні бортові обчислювальні засоби, що розробляються за концепцією IMA, мають важливі властивості, а саме: мультипроцесорність (немає фіксованого числа модулів), динамічну обчислювальну підсистему різних конфігурацій (керована комутація зв'язків між елементами модулів), ідентичність модулів, застосовуються при різних фізичних рівнях модулів.

Структура такої багатомодульної системи може бути різною в кожний момент часу, а мереживі комутатори – запам'ятовувати кілька динамічних конфігурацій зв'язку. Встановлення базової конфігурації дозволяє здійснювати статичне з'єднання між кількома потоками даних. Отже, мультипроцесорна структура IMA із програмованою архітектурою допускає динамічний перерозподіл обчислювальної потужності апаратури залежно від пріоритету розв'язуваних завдань [5].

У бортовій апаратурі сучасного й перспективного БпЛА необхідно інтегрувати датчики радіочастотного діапазону, датчики оптичного діапазону, обчислювальну систему та систему керування. Прикладом такої інтеграції КБЕО є архітектури JSF і JAST [6]. Так проектна швидкість передавання даних і продуктивність архітектури JAST у 2010 році складала: для ОЕС – 120...700 Мбіт/с із продуктивністю до 25 млрд. опер./с, для РЛС – 200...800 Мбіт/с із продуктивністю до 15млрд. опер./с, для станцій РТР – 150...700 Мбіт/с із продуктивністю до 10 млрд. опер./с. Основним недоліком функціонування такої архітектури є використання зовнішньобортових датчиків.

Перехід до принципу глибокої функціональної інтеграції у єдиному інформаційному просторі дозволяє формувати мережеві технології оброблення інформації безпосередньо на борту перспективних БпЛА [7].

Отже, БпЛА класу II-III, для яких характерним є значна маса (150…600 кг і більше) та значна кількість систем у складі КБЕО, доцільно будувати інформаційно-обчислювальну систему з використанням цифрових ліній зв'язку на основі інтерфейсів типу MIL-STD-1553B, STANAG-3910, HSDB, Fibre Channel з пропускною здатністю від 1 Мбіт/с до 1 Гбіт/с і більше та CAN протоколу (для БЦОС БпАК класу II), який має підвищену перешкодозахищеність і надійність [8].

Аналіз розроблених КБЕО сучасних і перспективних літальних апаратів і детальне порівняння різних принципів організації бортових МКІО виявили незаперечну перевагу мультиплексування з часовим розподілом каналів.

При плануванні постановки на озброєння Збройних Силах України БпЛА класів I-III, які вже мають (клас I) і матимуть у перспективі (клас II-III) нове цифрове бортове обладнання, необхідно застосовувати комплексування за допомогою цифрових каналів інформаційного обміну даними, обґрунтовувати та формулювати технічні вимоги до перспективних МКІО.

Визначені в статті перспективні напрями побудови БРЕО безпілотних літальних апаратів дозволяє нині ставити завдання на обґрунтування технічних даних БпАК класів II-III, формулювання функціональних завдань за призначенням і вибір можливих варіантів застосування мультиплексної системи управління та контролю інформаційним обміном між системами й комплексами бортового обладнання БпЛА для Збройних Сил України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ian Moir, Allan G. Seabridge. Military Avionics Systems. – England. John Wiley & Sons, Ltd., 2006 – 538 p.
2. Медведєв Г.А., Харитонов М.О., Самойленко О.В., Чепіженко В.І. Аналіз основних тенденцій та напрямків розвитку перспективних комплексів авіоніки тактичних літальних апаратів // Збірник наукових праць ДНДІА. Вип. 4(11). – К: ДНДІА, 2008. – С.69-74.
3. Кадем Р.К. Компонентный анализ беспилотных летательных аппаратов. – Електроніка та системи управління. №2(24), 2010. – С.45-51.

4. Верба В.С. Авиационные комплексы радиолокационного дозора и наведения. Принципы построения, проблемы разработки и особенности функционирования [Текст] / В.С. Верба. – М.: Радиотехника, 2014. – 528 с.
5. Парамонов П.П., Жаринов И.О. Интегрированные бортовые вычислительные системы: обзор современного состояния и анализ перспектив развития в авиационном приборостроении [Текст] / П.П. Парамонов, И.О. Жаринов // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. №2 (82), 2013. – С.1-17.
6. Бортовые системы управления боевыми режимами современных и перспективных самолетов. Кн. 1. Аналитический обзор по материалам зарубежных информационных источников [Текст] / Под ред. Е.А. Федосова. – М.: Научно-информационный центр ГосНИИАС, 2009. – 171 с.
7. Интерфейсы бортовых систем. Глава 4. [Електрон. ресурс] – Режим доступу: http://window.edu.ru/resource/082/59082/files/bis-4.pdf.
8. В. Гришин, П. Еремеев, Н. Зубов, С. Муратов, Н. Шелепин. Микросхемы приемопередатчиков для основных типов мультиплексных каналов информационного обмена. – Компоненты и технологии. №5, 2002. – С.7.

Надійшла до редакції 14.11.2017.
Рецензент: СНС Богославець С.О.