

чивать их апертуру за счет создания антенных решеток в горизонтальной плоскости. Сужение диаграммы направленности в горизонтальной плоскости позволит повысить коэффициент усиления антенны при постоянной ширине диаграммы направленности в вертикальной плоскости, что гарантирует возможность наведения антенны при любых допустимых углах полета ЛА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Боев Н.М.* Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2012. – Вып. 2 (42). – С. 86-91.
2. *Боев Н.М.* Адаптивное изменение параметров цифровых систем связи комплексов беспилотных летательных аппаратов // 22-я Международная Крымская конференция "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии", 10–14 сент., 2012 г.: Материалы конф.: в 2 т. – Т. 1.
3. *Боев Н.М.* Синхронизация цифровых программно-определяемых систем связи по сигналам СРНС // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М. Ф. Решетнева. – 2012. – Вып. 6 (46). – С. 34-37.
4. *Боев Н.М., Лебедев Ю.* Управление энергетической эффективностью совмещенных каналов передачи данных единой системы связи // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2013. – Вып. 1 (47). – С. 11-15.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Я. Браверман.

Боев Никита Михайлович – Институт инженерной физики и радиоэлектроники, Сибирский федеральный университет, г. Красноярск; e-mail: boev@radio-systems.org; 660074, г. Красноярск, ул. Академика Киренского, 28; тел.: +79022208967; аспирант.

Шаршавин Петр Владимирович – e-mail: sharshavin@radio-systems.org; тел.: +79135939754; аспирант.

Нигруца Игорь Владимирович – e-mail: nigruca@radio-systems.org; тел.: +79232842213; аспирант.

Boev Nikita Mikhaylovich – Institute of engineering physics and radioelectronics, Siberian federal university, Krasnoyarsk; e-mail: boev@radio-systems.org; 28, Kirenskogo street, Krasnoyarsk, 660074, Russia; phone: +79082208967; postgraduate student.

Sharshavin Petr Vladimirovich – e-mail: sharshavin@radio-systems.org; phone: +79135939754; postgraduate student.

Nigruca Igor Vladimirovich – e-mail: nigruca@radio-systems.org; phone: +79232842213; postgraduate student.

УДК 629.7.05, 004.891.3

И.В. Макаров

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СРЕДСТВ САМОДИАГНОСТИКИ И МОНИТОРИНГА ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА ИЗДЕЛИЯ НА БАЗЕ УНИФИЦИРОВАННОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ БЕСПИЛОТНЫМИ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ

Данная статья посвящена описанию подхода к сбору, обработке телеметрической информации с БПЛА, который применяется авторским коллективом в контексте развития технологий БПЛА в Красноярском крае. Отражены вопросы программной реализации масштабируемых механизмов сбора телеметрических данных комплекса БПЛА. Созданный механизм позволяет единообразным и макро программируемым образом в фоновом режиме

осуществлять сбор данных как с программных модулей, работающих в защищённом режиме, так и с внешних устройств, опрашиваемых по байт ориентированному протоколу. Сформулирован подход к автоматизированному мониторингу параметров БПЛА в процессе его эксплуатации разработчиком или конечным потребителем. В комплексе со средствами доставки данных телеметрии от БПЛА предлагается построение экспертной системы для их пост диагностики. В финале статьи осуществляется формулировка задачи построения автоматического классификатора данных телеметрии для обнаружения событий, представляющих угрозу безопасности эксплуатации БПЛА с электродвигателем в процессе катапультного взлёта.

БПЛА; беспилотный летательный аппарат; система объективного контроля; телеметрия; автопилот БПЛА; самодиагностика БПЛА.

I.V. Makarov

ORGANIZING OF INFORMATIONAL AND TELEMETRY SERVICES FOR MEANS OF SELF DIAGNOSTICS AND MONITORING OF LIFECYCLE OF UNMANNED AERIAL VEHICLE BASED ON UNIFIED CONTROL SYSTEM

Article dedicated to Krasnoyarsk scientific team's approach for gathering and processing of telemetry data from onboard systems of unmanned aerial vehicle (UAV). Paper describes aspects of software implementation of scalable logic of gathering telemetry data. Created approach allows to gather telemetry data universally in a single manner from software modules, operating in protected mode and external devices, connected via byte oriented protocol. Next part of paper formulates workflow of computer aided analysis of regularly generated data within UAV flight operation, conducted either by developers or by customers. In a complex of delivery means building of expert system for post diagnostics is suggested. Final part of the paper formulates task for future research and development of classification rules for detecting of events which are forerunners for potential critical system failure of catapult takeoff of electrically actuated unmanned aerial vehicle.

UAV; unmanned aerial vehicle; means of objective control; telemetry; autopilot of UAV; UAV self diagnostics.

Развитие робототехнических систем воздушного базирования, а именно беспилотных летательных аппаратов тяжелее воздуха (БПЛА), движется в направлении усложнения системы управления в пользу повышения эксплуатационных характеристик. Работа БПЛА для ряда задач с успехом обеспечивается в полностью автоматизированном варианте, когда на всех этапах полёта решения принимаются бортовым комплексом управления (БКУ), оставляя для наземного комплекса управления (НКУ) функции постановки задачи и мониторинга её выполнения. Одним из наиболее очевидных типов работ для данной техники являются гражданские задачи аэрофотосъёмки, мониторинг различного типа, аэрогеофизика. При создании комплекса БПЛА для этой ниши приходится учитывать следующие особенности:

- ◆ высокий уровень конкуренции;
- ◆ повышенные требования по эргономичности использования комплекса по причине отсутствия у потребителя навыка пилотирования;
- ◆ высокие требования к ресурсу планера и комплекса в целом;
- ◆ требуется минимизировать риск потери аппарата в полёте.

В отличие от комплексов для военных и специальных задач, где экономические показатели носят вторичный характер, гражданские комплексы должны быть повседневным инструментом, который приносит прибыль компании эксплантату.

Анализируя современные достижения техники БПЛА, можно утверждать, что для комплексов взлётной массой до 4 кг удаётся обеспечивать высокий уровень надёжности при минимальной цене. БКУ таких аппаратов представляет собой простейший автопилот в комплексе со стандартными сервоприводами. Данный класс БПЛА ограничен по времени полёта (60–90 минут) и массе полезной нагрузки (300–400 г), что сужает выбор до компактной бытовой фотокамеры или теплови-

зора. Низкий уровень объектива, вследствие его малой массы резко снижает характеристики точности камеры, сводя круг возможного применения, в случае съёмки в оптическом диапазоне, к задачам мониторинга.

Транспортировка полезной нагрузки от 1 кг, в особенности, когда её стоимость соизмерима со стоимостью БПЛА требует, по опыту авторского коллектива, иного подхода в организации надёжности [1]:

- ◆ использование помехозащищённых интерфейсов для связи между автопилотом и внешними устройствами (рис. 1);
- ◆ дублирование вычислительных средств (взлётная масса более 30 кг);
- ◆ дублирование средств навигационных измерений (взлётная масса более 30 кг);
- ◆ дублирование функций автоматического спасения;
- ◆ предстартовая самодиагностика;
- ◆ самодиагностика в полёте;
- ◆ регулярный анализ телеметрии в том числе и для безаварийных полётов.

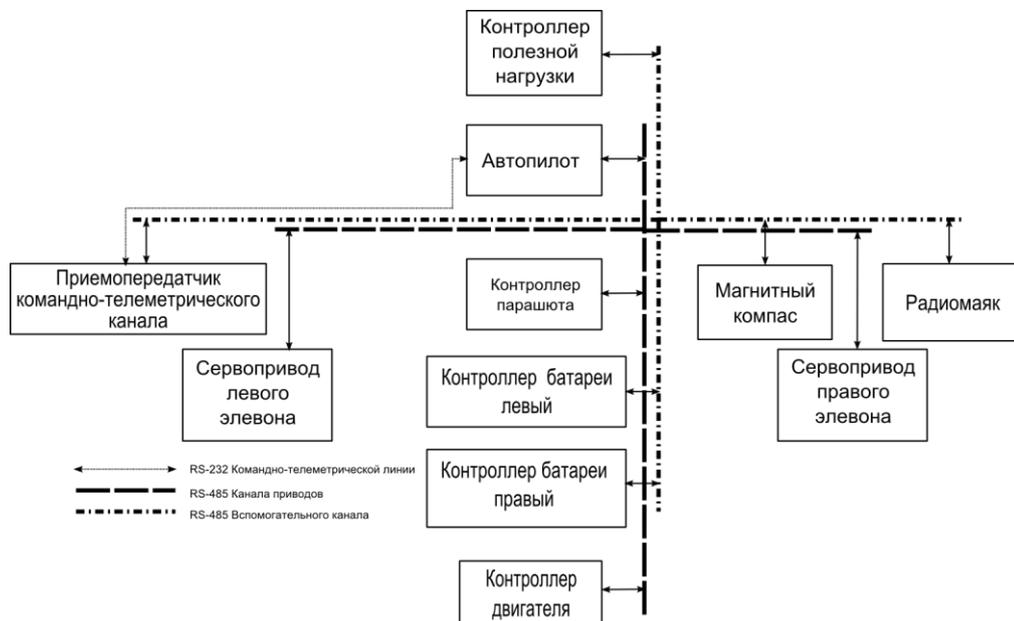


Рис. 1. Структурная схема БПЛА DELTA-M

Кроме структурных и функциональных особенностей БКУ для обеспечения надёжности требуется иной подход в обеспечении качества при организации мелкосерийного производства.

При развитии технологии БПЛА взлётной массой 3–70 кг малыми предприятиями не всегда удастся использовать в цикле автономных испытаний узлов и агрегатов климатические и вибрационные проверки из-за узкой специализации и дороговизне соответствующего оборудования. В итоге стойкость к внешним воздействиям приходится достигать на уровне проектирования, достигая требуемого уровня надёжности комплексными проверками в составе изделия в рамках наземных и лётных испытаний. Для обеспечения информативности испытаний необходимо осуществлять все измерения бортовыми средствами, без установки специального оборудования. Это накладывает требования к разработке приборов – элементов БКУ, согласно которым требуется обеспечивать измерение наиболее показательных логических, электрических и электромеханических параметров работы

прибора в составе комплекса. При современных достижениях микроэлектроники этот процесс не является затратным ни с точки зрения стоимости комплектующих, ни с точки зрения массогабаритных характеристик. Можно отметить только возрастание сложности разработки программного обеспечения соответствующих микроконтроллеров.

Большой объём формируемых телеметрических параметров позволяет по мере набора статистики формировать алгоритмы автоматической реакции на те или иные события, связанные с неисправностями, не штатными режимами работы приборов или комплекса в целом. Таким образом, определение подхода к организации процесса сбора и анализа телеметрии, а также решение соответствующих технических задач является одним из наиболее актуальных вопросов при создании робототехнической техники воздушного базирования.

Увеличивающийся в процессе разработки объём наблюдаемых параметров приводит к усложнению программного обеспечения и, как следствие, снижению его надёжности. Достижение требуемого качества возможно за счёт минимизации количества программных интерфейсов к функциональности сбора телеметрии. Данный вопрос перестаёт быть тривиальным, когда возрастает количество приборов, которые обслуживает центральный вычислитель, в частности при усложнении БКУ при реализации БПЛА взлётной массой более 50 кг (рис. 2).

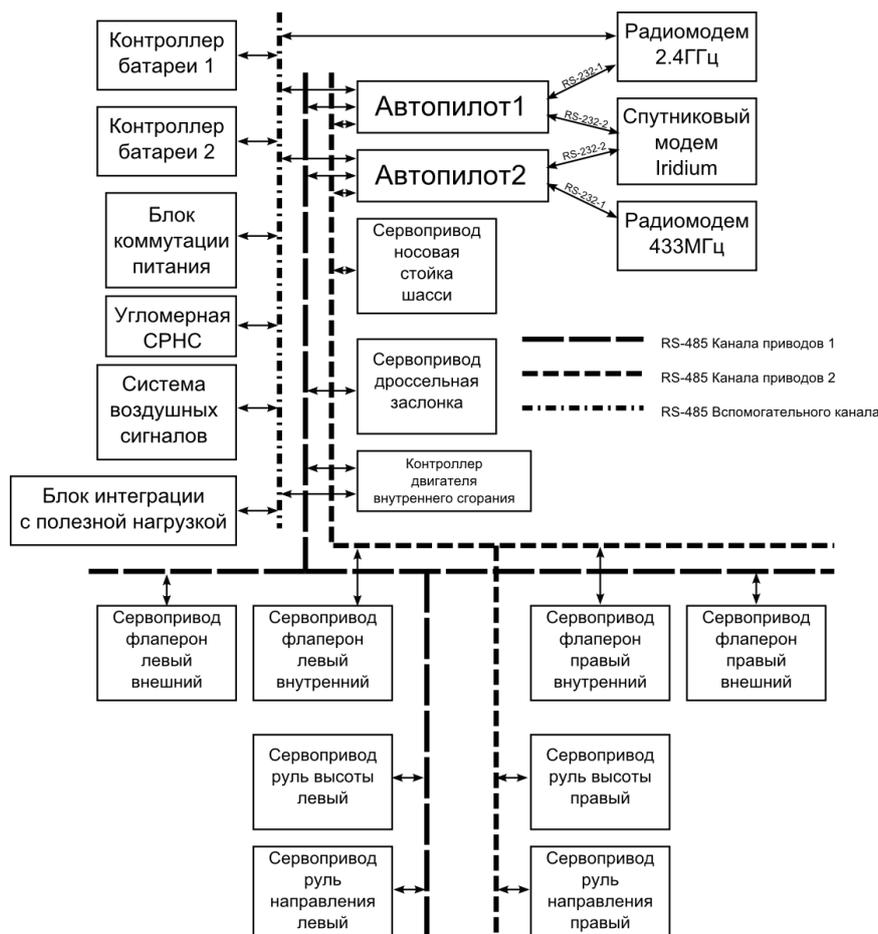


Рис. 2. Структурная схема БПЛА ГАММА

В своём подходе к созданию БКУ БПЛА авторский коллектив сориентировался на единый мультиплексный синхронный протокол, который был внедрён во все периферийные бортовые устройства: блок управления питанием, сервопривод, радиомодем (технологический стык), полезная нагрузка (канал управления). В составе блока автопилота (АП), который находится под управлением QNX Neutrino, этот протокол обслуживается отдельным программным процессом – исполняемым модулем взаимодействия с периферийными устройствами (МВПУ).

В качестве программного интерфейса внутри системы используется традиционный для *nix систем тип – администратор ресурса, где межпроцессное взаимодействие осуществляется через обращение к файлу стандартными вызовами открытия, чтения, записи, конфигурирования, закрытия (функции библиотеки Си `open`, `read`, `write`, `devctl`, `close` соответственно). МВПУ регистрирует в системе файлы, обращения к которым обслуживаются как обращение к адресу соответствующего заранее predeterminedного устройства на шине. Программное обращение к файлам МВПУ осуществляется POSIX стандартизованным вызовом `devctl()`, который имеет синхронную логику взаимодействия в соответствии протоколу. Вызов характеризуется командой и отправляемыми или принимаемыми данными.

Аналогичный тип вызова (`devctl`) реализует сбор данных, настройку и управления с остальных модулей АП: модуль навигационных измерений (МНИ), модуль управления БПЛА (МУБ), модуль связи (МС), модуль полезной нагрузки (МПН), модуль аппаратного состояния (МАС). Таким образом, на уровне системы был сформирован единый механизм синхронного доступа к данным измерений как внешних приборов, так и внутренних программных процессов блока АП.

Единая логика запросов данных привела к созданию отдельной библиотеки, которая автоматически осуществляет необходимые запросы через модули системы [2]. Разработчик, одновременно с развитием системы, поддерживает в актуальном состоянии файл реестра параметров системы (РПС), который определяет структуры всей совокупности кадров данных с программных модулей и внешних приборов, а также правила доступа к ним. Испытатель или пользователь экспериментальной системы для формирования целевого телеметрического кадра (ЦТК) формирует перечень параметров, которые необходимы для анализа конкретной функциональности. На основании сформированного запроса, библиотека автоматически осуществляет чтение соответствующих кадров РПС и из избранных параметров внутри кадров сериализует целевой пакет телеметрической информации. Целевой пакет (кадр) формируется в текстовом либо в бинарном виде для последующего сохранения в энергонезависимой памяти или в отправке по радиоканалу, IP-сети [3].

В качестве примера предлагается перечень параметров, регистрируемых в составе комплекса DELTA-M, разработки авторского коллектива, который представлен в табл. 1.

В процессе испытаний и отработки перечисленные параметры протоколируются в энергонезависимую память, по командно-телеметрической радиолинии передаются только данные, необходимые для обеспечения контроля выполнения задачи.

Выполнение экспериментальных задач, квалификация программного обеспечения при его развитии требует регулярного изменения состава наблюдаемых параметров системы. Используемый подход позволяет с меньшими затратами осуществлять процесс расширения без риска снижения надёжности программного обеспечения.

По мере развития технологии и увеличения налёта возникают сложности при обработке большого числа данных из-за ограниченности трудовых ресурсов. В то время как для непрерывного совершенствования комплекса управления БПЛА не-

обходим регулярный анализ параметров эксплуатации вне зависимости от того, кто эксплуатирует беспилотную авиационную систему (БАС): разработчик или конечный потребитель. Возникает актуальность автоматизации как процессов формирования телеметрических данных, так и их централизованного формирования и доставки.

Таблица 1

Перечень телеметрических параметров БПЛА DELTA-M

	Тип регистрируемых параметров	Тип источника данных для параметра
1	Напряжение питания от аккумуляторных батарей (АКБ) с номерами 1 и 2	Устройства управления питанием АКБ 1 и 2 (через МВПУ)
2	Распределение напряжений между элементами каждой АКБ	
3	Ток потребления приборами БКУ	
4	Ток потребления маршевым электродвигателем по каждой АКБ	
5	Объём свободной оперативной памяти	АЦП блока автопилота и программные средства операционной системы (через МАС)
6	Объём свободной энергонезависимой памяти с файловой системой	
7	Средняя загрузка процессора в течение 5 секунд, 1 минуты, 10 мин	
8	Параметры жизнеобеспечения вычислителя автопилота: температура, измерения питающей линейки напряжений	
9	Количество принятых и отправленных пакетов по командно-телеметрической радиолнии (КТР)	Модуль радиосвязи (МС)
10	Количество ошибок при приёме данных по КТР	
11	Тип ошибок и количество ошибок каждого типа при взаимодействии между автопилотом и периферийными устройствами	Модуль взаимодействия с периферийными устройствами (МВПУ)
12	Первичные навигационные измерения инерциальных датчиков, датчиков системы воздушных сигналов	Модуль навигационных измерений (МНИ).
13	Навигационное решение инерциальной навигационной системы, спутниковой навигационной системы, системы воздушных сигналов	
14	Характеристики точности спутникового навигационного приёмника	
15	Количество полученных снимков с фотокамеры Фактическая ориентация опорно-поворотного устройства	Модуль полезной нагрузки (МПН)
16	Период получения решения САУ	Модуль навигационного и пилотажного уровней управления (МУБ)
17	Значения входов регуляторов	
18	Значения выходов регуляторов	
19	Невязка позиционирования сервопривода	Специализированный сервопривод (через МВПУ)
20	Напряжение питания сервопривода	

Для решения данной задачи авторским коллективом были задействованы ресурсы командно-телеметрической радиолинии, а также стыков Ethernet, которыми обладает и бортовой, и наземный комплексы управления (рис. 3).

БКУ осуществляет автоматическое протоколирование в энергонезависимую память автопилота всех требуемых дежурных параметров, перечень которых определяет разработчик, исходя из решаемых задач. Данные хранятся в виде файлов в привязке к дате и времени начала протоколирования. Средствами IP сети данные доставляются либо при стыковке БПЛА к сети (наиболее удобный вариант для разработчика), либо с промежуточной передачей протокола прошлого вылета от БКУ к НКУ в процессе подготовки к взлёту (наиболее приемлемо для потребителя БПЛА).



Рис. 3. Функциональная схема сбора данных с БПЛА и последующего анализа

Автоматизированное рабочее место (АРМ) аналитика телеметрии осуществляет подключение к серверу с базой данных и осуществляет работу с накопленными данными, которые привязаны к заводским серийным номерам изделий БПЛА. Задачей аналитика становится выявление количественных и качественных критериев возникновения того или иного события с последующим формированием базы знаний экспертной системы, целью создания которой является сокращение затрат на обработку данных.

Решение задач системного анализа регулярно получаемых данных и развитие базы знаний в перспективе позволит определять автоматически:

- ◆ общий налёт системы, наступление периода технического обслуживания;
- ◆ возникновение неисправностей приборов, их частоту, регулярность, продолжительность;
- ◆ насколько корректно эксплуатируется БПЛА, соблюдается ли инструкция по эксплуатации;
- ◆ износ двигательной установки;
- ◆ износ аккумуляторных батарей;
- ◆ износ планера;
- ◆ несовершенство программного обеспечения;
- ◆ низкое качество работы системы автоматического управления в особых условиях.

В процессе решения поставленной задачи возникает вопрос о принципах формирования базы знаний. На текущем этапе развития системы приоритетом для мониторинга является безопасность эксплуатации. Рассмотрим наиболее сложный этап полёта БПЛА – взлёт, на примере DELTA-M.

БПЛА DELTA-M имеет аэродинамическую схему «бесхвостка» и осуществляет взлёт с катапульты. Алгоритм взлёта выглядит следующим образом:

1. Ожидание взлёта по сравнению с пороговыми значениями ускорения по оси X, связанной системы координат, а также приборной скорости V_a , начало взлёта – момент времени t_s .
2. Мощность двигателя 100 %, регулирование положения по крену – 0° по тангажу – 24° .
3. Ожидание набора крейсерской скорости и истечения трех секунд с момента начала взлёта.
4. Начало регулирования приборной скорости.
5. Ожидание набора минимальной высоты.
6. Окончание взлёта (момент времени t_f), переход к выполнению полётного задания.

Таблица 2

Перечень интегральных диагностических параметров взлёта БПЛА DELTA-M

	Описание	Обозначение	Начало регистрации (t_0)	Окончание регистрации (t_1)	Алгоритм вычисления
1	Интеграл модуля ошибки регулятора крена	ξ_φ	t_s	$t_s + \Delta t_I$	$\xi_\varphi = \int_{t_0}^{t_1} \varphi - \varphi_i dt$
2	Интеграл модуля ошибки регулятора тангажа	ξ_θ	t_s	$t_s + \Delta t_I$	$\xi_\theta = \int_{t_0}^{t_1} \theta - \theta_i dt$
3	Скорость ЛА после схода с катапульты	V_{as}	t_s	-	$V_{as} = V_a(t_s)$
4	Задержка выхода двигателя на взлётный режим	Δt_m	Δt_m	$t_s + \Delta t_{II}$	Δt_m для которого $P_m(t_0 + \Delta t_m) = \max_{t_0 \leq t \leq t_0 + \Delta t_{II}} P_m(t)$
5	Оценка ошибки позиционирования по ГНСС (среднеквадратическое отклонение)	σ_G^{max}	t_s	t_f	$\sigma_G^{max} = \max_{t_0 \leq t \leq t_1} \sigma_G(t)$
6	Время набора минимальной высоты	$\Delta t_{взл}$	t_s	t_f	$\Delta t_{взл} = t_f - t_s$
7	Уровень балансировочного сигнала элевонов по тангажу	μ_θ	$t_f - \Delta t_{III}$	t_f	$\mu_\theta = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} \delta_\theta dt$
8	Уровень балансировочного сигнала элевонов по крену	μ_φ	$t_f - \delta t_{III}$	t_f	$\mu_\varphi = \frac{1}{t_1 - t_0} \int_{t_0}^{t_1} \delta_\varphi dt$
9	Максимальная потребляемая мощность	P_m^{max}	t_s	t_f	$P_m^{max} = \max_{t_0 \leq t \leq t_1} P_m(t)$
10	Суммарная работа	$A_{взл}$	t_s	t_f	$A_{взл} = \int_{t_0}^{t_1} P_m dt$

Окончание табл. 2

	Описание	Обозначение	Начало регистрации (t_0)	Окончание регистрации (t_1)	Алгоритм вычисления
11	Максимальная просадка напряжения аккумуляторных батарей при выходе двигателя на взлётный режим	$\Delta U_{\text{взл}}$	t_s	t_f	$\Delta U_{\text{взл}} = \max_{t_0 \leq t \leq t_1} U_b(t_0) - U_b(t) $

t_s – сход с катапульты; t_f – окончание взлёта; Δt_I – стартовый интервал времени равен 10 с; Δt_{II} – интервал времени между сходом с катапульты и началом регулирования скорости равен 3 с; Δt_{III} – интервал времени регистрации балансировочного угла равен 10 с.

В табл. 2 приведён разработанный перечень интегральных диагностических параметров, которые оценивают отдельные аспекты безопасности взлёта, приводятся алгоритмы их вычисления по соответствующему фрагменту телеметрии.

Общий алгоритм оценки сводится к следующим действиям:

- ◆ определение времени начала взлёта t_s по системному протоколу;
- ◆ определение времени окончания взлёта t_f по системному протоколу;
- ◆ расчёт выявленных параметров согласно сформированным алгоритмам в сформулированном фрагменте общей выборки телеметрии;
- ◆ применение к рассчитанным значениям параметров методов классификации.

На начальном этапе исследования ставится задача сформулировать алгоритмы классификации данных для следующих ситуаций:

- ◆ взлёт не безопасен;
- ◆ взлёт полностью безопасен;
- ◆ взлёт выполнен с нарушением инструкции:
 - неверно выбрано направление для взлёта;
 - батареи заряжены не полностью;
 - батареи заряжены не равномерно;
- ◆ аккумуляторные батареи имеют критический уровень износа;
- ◆ планер имеет потенциально опасные дефекты.

В текущем представлении и постановке были сформулированы диапазоны допустимых значений интегральных диагностических параметров (табл. 3), выход за пределы которых автоматически свидетельствует о принадлежности взлёта к классу «не безопасен».

Таблица 3

Характеристика безопасности интегральных диагностических параметров

	Обозначение	Что характеризует	Идеальное значение	Допустимое значение	Критическое значение
1	ξ_φ	Качество переходного процесса регулирования по крену, косвенно отражает степень износа сервоприводов, уровень люфта приводов	0°	15°	30°
2	ξ_θ	Качество переходного процесса регулирования по тангажу	0°	15°	30°

Окончание табл. 3

	Обозначение	Что характеризует	Идеальное значение	Допустимое значение	Критическое значение
3	V_{as}	Корректность работы катапульты, сообщённую кинетическую энергию, правильность выбора направления взлёта относительно ветра	22 м/с	18 м/с	16 м/с
4	Δt_m	Исправность двигательной установки	0	1,5 с	3 с
5	σ_G^{max}	Исправность оборудования спутниковой навигации в условиях стартовой перегрузки	0	8 м	20 м
6	$\Delta t_{взл}$	Интегрально отражает соответствие взлётной конфигурации сформированной при изготовлении	TBD	TBD	TBD
7	μ_θ	Погрешность формовки, монтажа, настройки угла установки элевонов по тангажу, а также поперечной центровки планера	0	$\pm 20\%$	$\pm 60\%$
8	μ_φ	Погрешность формовки, монтажа, настройки угла установки элевонов по крену, а также продольной центровки планера	0	$\pm 10\%$	$\pm 20\%$
9	P_m^{max}	Отражает соответствие сопротивления обмоток двигателя, регулятора, их КПД заложенным при изготовлении	1,5 кВт	$1,5 \pm 0,2$ кВт	$1,5 \pm 0,4$ кВт
10	$A_{взл}$	Отражает аэродинамическое качество планера по сравнению с исходным после изготовления, отражает уровень воздействия атмосферы на взлёт	TBD	TBD	TBD
11	$\Delta U_{взл}$	Отражает степень износа аккумуляторных батарей, их исправность	0,5 В	0,8 В	2,5 В

TBD – значения, которые будут определены в по результатам дальнейшего исследования.

Предстоит проведение дополнительных исследований с имеющимися экспериментальными данными для выявления потенциальных проблем и замечаний по безопасности согласно поставленной задаче.

Сформулированный в статье комплексный подход к сбору и анализу телеметрической информации предназначен для своевременной выработки причинно-следственных связей в программных и аппаратных сбоях и замечаниях как элементов комплекса, так и всей системы в целом. Получаемое в данном процессе знание необходимо для реализации алгоритмов автоматической диагностики в реальном времени и последующего принятия адекватных мер по нивелированию отказа, его устранению либо автоматическому спасению системы. В процессе разработки и экспериментальной отработки систем БПЛА принципиально важным

вопросом становится повышение производительности труда разработчика, которое возможно в опоре на современные методы системного анализа и доступные информационные технологии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Макаров И.В., Кокорин В.И.* Комплекс управления беспилотными летательными аппаратами для дистанционного зондирования Земли // Современные проблемы радиоэлектроники: Сб. науч. тр. / Под ред. А.И. Громыко, Г.С. Патрина. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2010. – С. 6-10.
2. *Makarov I.* Flexible Telemetry Parameters Management System for Research and Development of Unmanned Platforms, Control and Communications (SIBCON), 2011 International Siberian Conference IEEE. – P. 152-154.
3. *Макаров И.В.* Оценка пропускной способности системы связи беспилотного летательного аппарата для решения задач управления // Радиотехника. – 2013. – Вып. 4. – С. 40-45.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.Я. Браверман.

Макаров Иван Владимирович – ООО «Научно-производственное предприятие «Автономные аэрокосмические системы – ГеоСервис»; e-mail: makarov@uav-siberia.com; 660025, г. Красноярск, пер. Вузовский, 3, каб. 223; тел.: +79232719340; технический директор.

Makarov Ivan Vladimirovich – LLC «Scientific and productional enterprise «Autonomous Aerospace Systems – GeoService»; e-mail: makarov@uav-siberia.com; 3, Vuzovski av. off. 223, Krasnoyarsk, 660025, Russia; phone: +79232719340; technical director.