

УДК 61:007**Инженерно-эргономическое обоснование и разработка интеллектуальной системы оценки функционального состояния летных экипажей и специалистов операторского профиля»**

А.А. Золотарев, С.В. Кулешов

Тенденция развития технологий в вертолетостроении, как и в самолетостроении, идет по пути создания скоростных и маневренных летательных аппаратов (ЛА) за счет увеличения мощности двигательных агрегатов и реализации сложных систем управления полетом и навигации. При этом эволюционное развитие самого человека отстает от технических возможностей новой авиационной техники в плане эффективного и быстрого ее управления, выполнения сложных задач связанных с большими психофизиологическими нагрузками в условиях дефицита времени

Ключевые слова: бортовой компьютер, интеллектуальная система, цифровой биометрический браслет, летательный аппарат, цифровая платформа летательного аппарата.

Нагрузка на летчиков достигает критических пределов, что и является причиной многих аварий и катастроф. Очень часто причиной катастрофы и гибели множества людей является ошибка летчиков или диспетчеров, как в штатных, так и в особых ситуациях полёта, т.е. ключевым является человеческий фактор. Возможным решением этой проблемы является полное компьютерное управление летательным аппаратом с минимальным вмешательством человека. В своем развитии бортовые системы ЛА прошли несколько этапов. Большую часть сложных и ответственных операций во время полета выполнял летчик, затем появились технические средства контроля и поддержки пилотов, функционирующие независимо друг от друга, и предназначенные для информирования о текущем состоянии аппарата. Со временем летательная техника усложнялась, приборов становилось все больше, нагрузка на пилота все возрастала. Появилась объективная необходимость делегирования ряда операций на автоматику. Дальнейшие улучшения такого подхода, очевидно, должны заключаться в интеграции различных независимых управляющих систем, систем связи, навигации и др. на единой цифровой платформе. Информационные системы, работающие на такой платформе, берут на себя задачи сбора,

хранения и обработки всей поступающей и передаваемой с сотен приборов и датчиков информации, предоставляя пилоту лишь то, что действительно нужно, в тот момент, когда это нужно и в удобной для него форме. Переложив, таким образом некоторые задачи на информационные системы, мы тем самым уменьшаем напряженность работы летчика, что снижает вероятность ошибки.

Роль бортовых цифровых интеллектуальных систем (БЦИС) при операторном управлении ЛА заключается в поддержке и контроле действий пилота в сложных условиях полета, в том числе, производить непрерывный on-line контроль и персональную аутентификацию функционального состояния лица, принимающего решение.

Ключевым моментом является то, каким образом пилот (ЛПР – лицо принимающее решение) совершает операторное управление летательным аппаратом. Традиционно считалось и до сих пор считается, что принятие решений первично остается за человеком, даже если все его психофизиологические качества не соответствуют динамике поведения современных ЛА. Поэтому в существующих системах учитывается лишь взаимодействие «Пилот - ЛА» (рисунок 1), когда пилот, считывая показания приборов, анализирует полученные данные, принимает решение и осуществляет операторские действия. Этому подходу присущ ряд проблем. Во-первых, возросшие скоростные и функциональные возможности ЛА предъявляют специфические требования как к контролю, управлению и техническому состоянию ЛА, так и к пилоту (или оператору), управляющему беспилотным ЛА. Сохранение внимания и контроль ситуации при считывании показаний большого числа приборов оказывает большую нагрузку на пилота (оператора).

Другой более важный негативный момент заключается в неверной интерпретации считанных показаний приборов. Если не учитывать явные ошибки пилотирования по причине малого опыта пилота, то суть проблемы заключается в ограниченных возможностях органов чувств человека при ориентировании в трехмерном пространстве. Этот недостаток присущ людям по объективным причинам, так как в ходе своего эволюционного развития человек никогда не оказывался в условиях полета. Анализируя показания приборов, человек сопоставляет им сигналы своих органов чувств, часто подверженные влиянию различного рода иллюзий (пространственного положения, оптические, и т.д.) [2]. В [2], автор приводит систематизированный список наиболее часто встречающихся иллюзий полета. В общей сложности автор приводит описание порядка 50 разновидностей иллюзий, способных в значительной степени влиять на верную интерпретацию окружающей обстановки, и как следствие на безопасность полета.

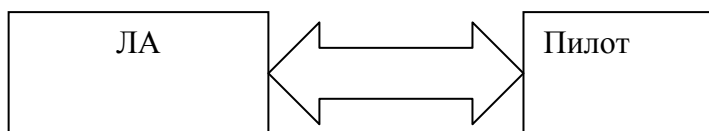


Рисунок 1. Система взаимодействия «ЛА – Пилот».

Для облегчения считывания показаний приборов пилотом разрабатывают специальное эргономичное расположение приборов, применяются различные когнитивные мнемонические схемы (интуитивно понятные и легко визуально интерпретируемые, например, горизонт представляется в виде изображения самолета относительно горизонта) шкал и индикаторов приборов. Но с ростом сложности ЛА, увеличением числа бортовых приборов эта задача постоянно усложняется.

Выходом из сложившейся ситуации стало внедрение бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ), как посредника непосредственно между пилотом и ЛА (см. рис. 2). ЛА уже достаточно давно оснащаются бортовыми вычислительными машинами. Главным образом такие БЦВМ отвечают за отдельные независимые системы, например, системы наведения, навигации и пр.

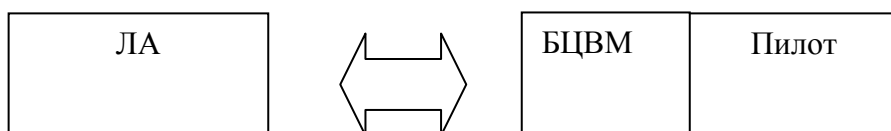


Рисунок 2. Система взаимодействия «ЛА – БЦВМ – Пилот».

Следующим же этапом, очевидно, является интеграция разрозненных БЦВМ, датчиков, систем управления в единую бортовую цифровую платформу (БЦП). Основанные на такой платформе БЦИС предназначены для обеспечения принятия решения пилотом в сложных и опасных условиях полета. Входящие в БЦИС компьютерный симулятор инженерно-технического (КСИ) состояния ЛА и компьютерный симулятор функционального состояния оператора (КФСО) позволяют производить оценку адекватности и скорости принятия решения ЛПР. На основе этих данных возможно вычисление степени доверия к действиям ЛПР и, в случае необходимости, корректировка ошибочных действий, либо полный переход в беспилотный режим.

Современные БЦВМ, устанавливаемые на вертолетах последнего поколения содержат в себе пилотажные и навигационные комплексы, а также поддержку различных режимов автопилота, которые позволяют выполнять режим висения, либо помогают более точно

выполнять пилотирование летчика, снимая с него часть как физической, так и эмоциональной нагрузки.

При наличии таких комплексов необходима система контроля функционального состояния летчика (оператора).

Система контроля функционального состояния летчика (оператора) должна иметь следующие функциональные возможности:

- *аутентификация (персонализация) непрерывного функционально-физиологического состояния экипажа;*
- *оценка временной недееспособности летчика (оператора) и автоматический переход на компьютерный «беспилотный» режим управления ЛА;*
- *постоянная полетная и внеполетная журнализация функционального состояния летчика (оператора) и синхронизация по времени с электронными цифровыми журналами других членов экипажа и электронными цифровыми журналами ЛА;*
- *автоматическая цифровая сенсорная передача, беспроводная журнализация.*

С этой целью разработан интегрированный комплекс с коммуникационной инфраструктурой, объединяющей сенсорные данные ЛА, МФД, органы управления, цифровой биометрический браслет (ЦББ) с бортовым интеллектуальным блоком управления (ИБУ).

Накопление биометрических характеристик психофизиологического состояния членов экипажа ЛА происходит во время каждого полета. На пилоте закрепляются набор необходимых биометрических датчиков, а также устройство сбора данных от них – ЦББ. Биометрические датчики, используя беспроводную коммуникацию, в реальном времени обмениваются данными с ЦББ, который и производит автономное накопление полученной информации. В одном датчике могут быть интегрированы биометрические сенсоры нескольких типов (рисунок 3).

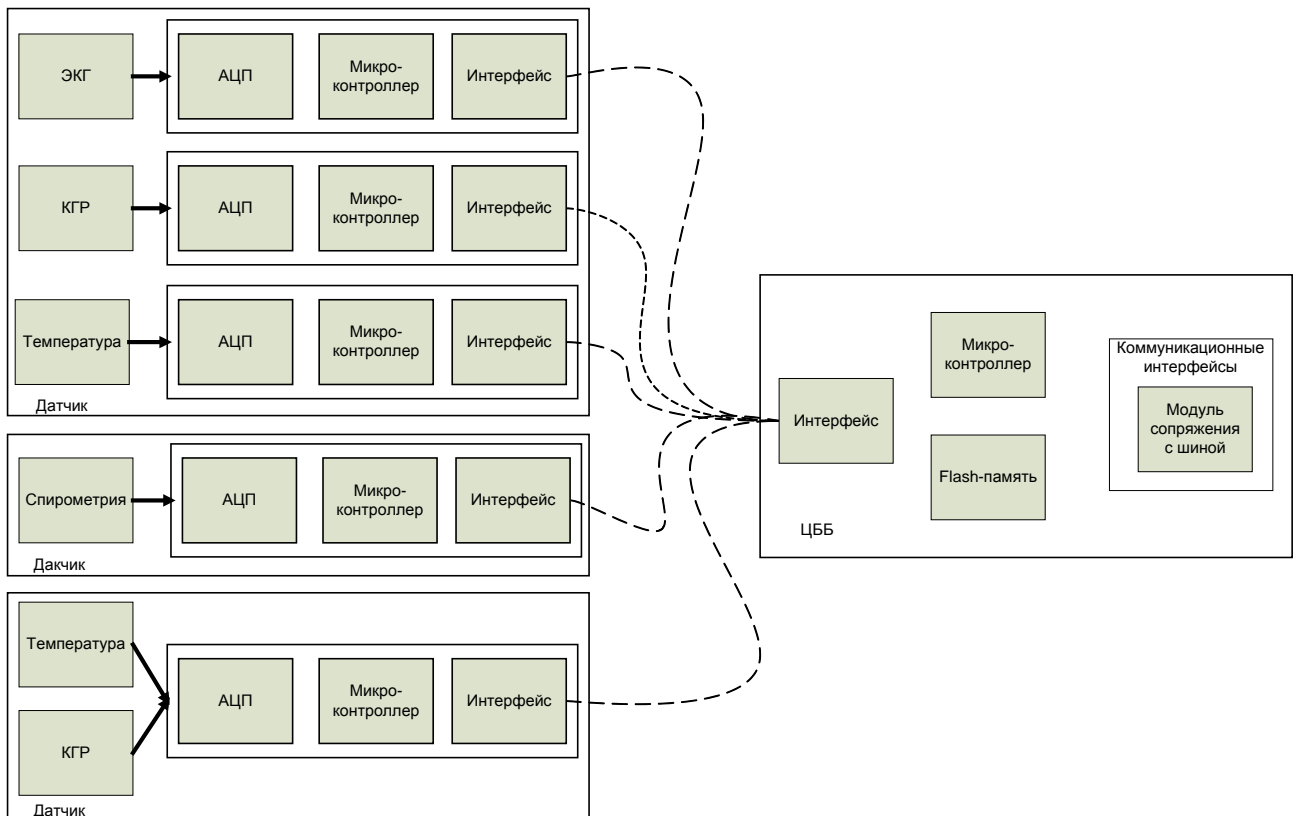


Рис. 3. Биометрические датчики и ЦББ

Сам ЦББ интегрируется в единую цифровую платформу ЛА посредством беспроводной связи локального действия, и является поставщиком данных для системы, предоставляя сервис доступа к накопленным данным психофизиологического состояния члена экипажа (оператора).

ЦББ предназначен для оценки психофизиологического состояния летчика (оператора) по 3 параметрам (температура, кожно-гальваническая реакция (КГР), частота сердечных сокращений (ЧСС)). На рисунке 4 представлен передающий блок.



Рисунок 4. Конструкция передающего блока.

ЦББ представляет собой передающий модуль, получающий параметры от совокупности, микроконтроллер для предобработки параметров и радиомодуль диапазона ISM для организации радиоканала со стационарным модулем (модуль приемника). Для приема и используется устройство, состоящее из радиомодуля диапазона ISM, микроконтроллера с интерфейсом USB (рисунок 5.)



Рисунок 5. Конструкция приемного блока

Для ЦББ разработано программное обеспечение, которое распространяется в виде инсталляционного пакета zip. Пользовательский интерфейс программы представлен на рисунке 6.

Программа обеспечивает два режима работы: режим рекордера - запись данных с биометрического браслета в реальном времени и режим проигрывателя - проигрывание ранее записанных биометрических данных «лог-файла».

Основные функции программы доступны в обоих режимах: визуализация текущих значений биометрических параметров в числовом виде, а также в виде объемной изменяющейся фигуры (3-D сферы), визуализация табличного представления протокола («лога») полученных данных, визуализация статистики значений биометрических параметров, фильтрация входных данных с помощью медианного фильтра (7 отсчетов), сохранение накопленных биометрических данных в файл протокола («лог-файл»). Результат измерений представлен в виде протокола (рисунок 7).

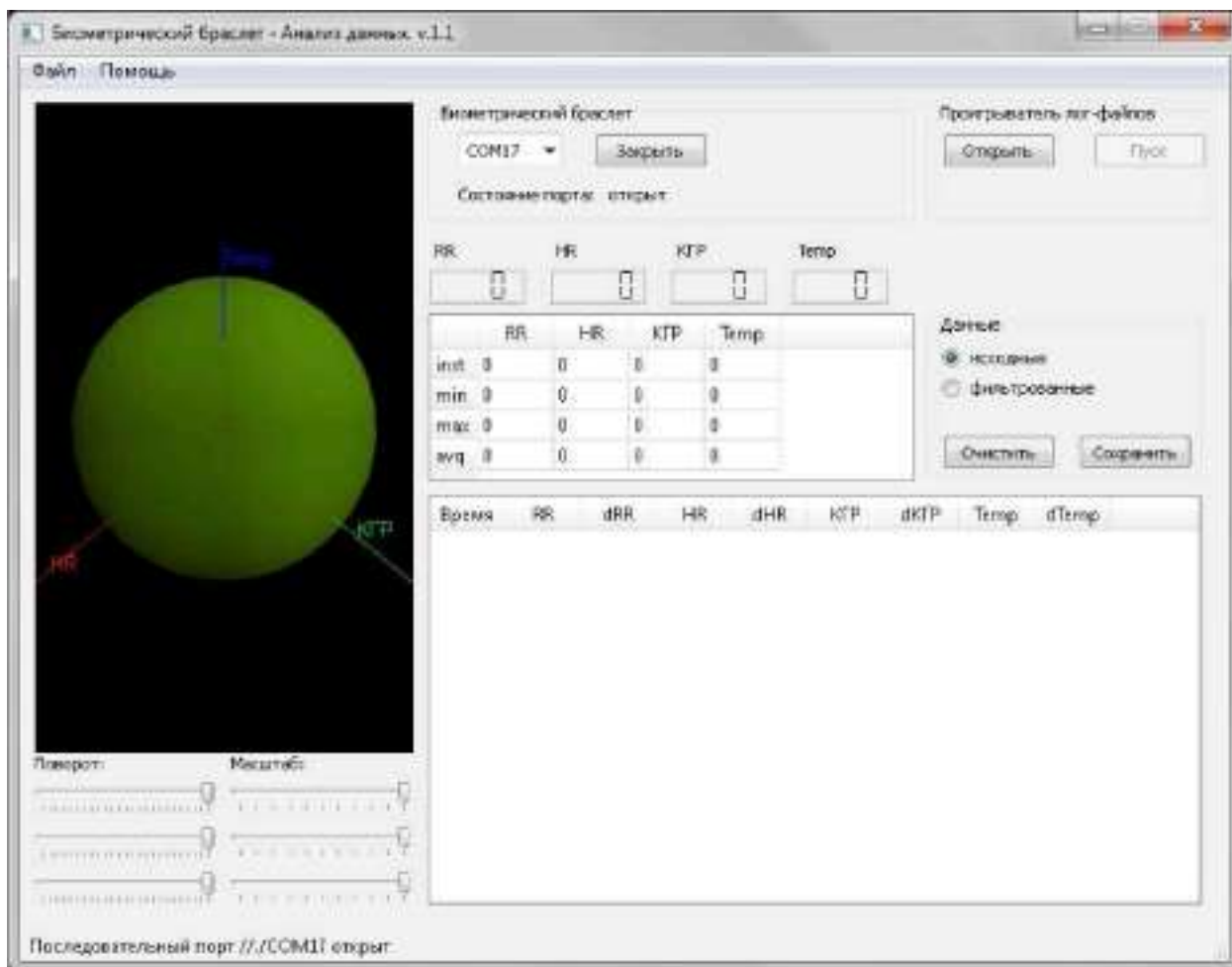


Рисунок 6. Вид окна программы.

Протокол данных представляет собой таблицу всех поступивших данных. Таблица содержит следующие поля:

1. Порядковый номер отсчета
2. Время отсчета
3. RR - значение RR интервала (мс).
4. dRR (delta RR) - разница между значениями двух смежных отсчетов.
5. HR - мгновенное значение количества ударов в минуту, вычисленных по формуле $HR=RR/60000$. (ударов в минуту)
6. dHR (delta HR) - разница между значениями двух смежных отсчетов.
7. KTP - значение параметра кожно-гальваническая реакция.

8. ΔKFP (delta КГР) - разница между значениями двух смежных отсчетов.
9. Temp - значение температуры тела, (цельсий)
10. $\Delta Temp$ – разница между значениями двух смежных отсчетов.

	Время	RR	ΔRR	HR	ΔHR	КГР	$\Delta КГР$	Temp	$\Delta Temp$
1	23:23:22	393	0	152	0	0	0	20.1	0.0
2	23:23:22	393	0	152	0	0	0	20.1	0.0
3	23:23:22	394	-1	152	0	0	0	20.0	0.1

Рисунок 7. Протокол данных

Программное обеспечение ЦББ также позволяет проводить статистические исследования и замер мгновенных значений. Отображение мгновенных значений и статистических данных представлено на рисунке 8.

	RR	HR	КГР	Temp
	394	152	0	20.0
inst	394	152	0	20.0
min	393	152	0	20.0
max	394	152	0	20.1
avg	393	152	0	20.1

Рисунок 8. Мгновенные и статистические данные.

Статистические данные по накопленным значениям биометрических параметров представлены в виде таблицы. Значения строк таблицы:

1. Inst (instant) - мгновенное значение.
2. Min (minimum) - минимальное значение.
3. Max (maximum) - максимальное значение.
4. Avg (average) - среднее значение.

С целью наглядного представления текущего психо-физиологического состояния летчика (оператора), в программе предусмотрена возможность мнемонической формы представления данных в виде трехмерной изменяющейся сферы. Масштаб по каждой из осей меняется в зависимости от динамики изменения соответствующего биометрического параметра (delta).

Лог-файл сохраняется в формате CSV («comma-separated-values» значения разделенные запятой). Формат пригоден для импорта в Microsoft Office Excel. Первая строка файла содержит описание заголовка таблицы:

time;rr;drr;hr;dhr;temp;dtemp;kgr;dkgr; где:

1. time - время отсчета
2. rr - значение RR интервала (мс).
3. drr (delta) - разница между значениями двух смежных отсчетов RR.
4. hr - значение количества ударов в минуту.
5. dhr (delta) - разница между значениями двух смежных отсчетов HR.
6. temp - значение температуры тела, (цельсий)
7. dtemp (delta) - разница между значениями двух смежных отсчетов Temp.
8. kgr - значение кожно-гальванической реакции.
9. dkgr (delta) - разница между значениями двух смежных отсчетов.

Оставшиеся строки файла содержат значения биометрических параметров. Пример лог-файла приведен ниже:

time;rr;drr;hr;dhr;temp;dtemp;kgr;dkgr;

23:23:22.088;320;0;187;0;20,125;0;0;0;

23:23:22.344;320;0;187;0;20,0938;0,03125;0;0;

23:23:22.873;321;-1;186;1;20,0312;0,0625;0;0;

23:23:25.192;323;-2;185;1;20,0625;-0,03125;0;0;

ЦББ интегрируется в единую цифровую платформу ЛА посредством беспроводной связи локального действия, и является поставщиком данных для системы, предоставляя сервис доступа к накопленным данным психофизиологического состояния члена экипажа (оператора).

По завершении полета накопленные данные переносятся из внутренней памяти ЦББ в хранилище персонального профиля пилота. После чего внутренняя память ЦББ может быть очищена.

Все персональные профили пилотов (ППП) хранятся в едином data-центре и доступны для использования (анализа, пред- и пост-полетной симуляции, идентификации пилота и др.) Режимы использования ЦББ (автономный, активный с интеграцией в единую цифровую платформу ЛА и анализ данных) приведены на рисунке 9.

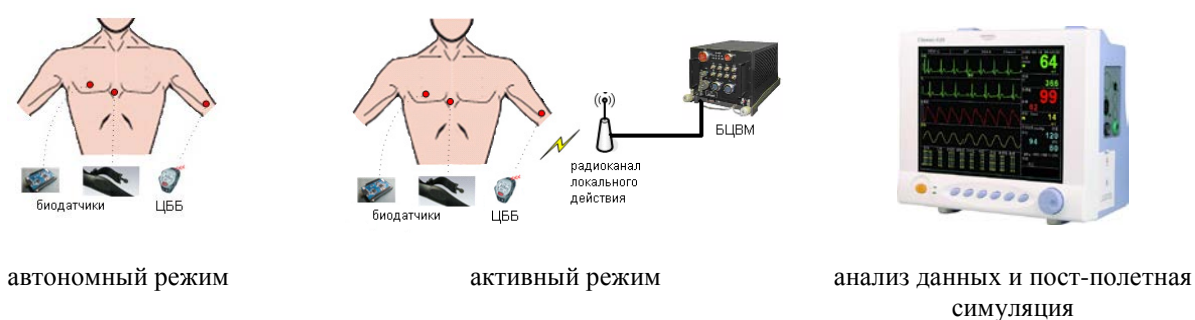


Рисунок 9. Иллюстрация использования персонального ЦББ в различных режимах.

Помимо задачи формирования ППП, контроль функционального состояния используется также и для обеспечения безопасности, путем мониторинга функционального состояния летчика во время полета.

Другой вариант применения идентификации пилота – обеспечение безопасности полетов. В этом случае управление ЛА возможно лишь уполномоченным пилотом. Все остальные попытки получить управление ЛА блокируются.

ЦББ реализует функции интеллектуального интерфейса ПИЛОТ–ЛА, который основан на постоянном обмене данными между ЦББ и интеллектуальным блоком управления (ИБУ) ЛА для биометрического контроля и журнализации физиологического состояния и действий экипажа в процессе всей профессиональной деятельности. В процессе полета на бортовую интеллектуальную систему синхронно поступают сенсорные данные ЛА, параметрические показатели действий экипажа. Бортовая интеллектуальная система в соответствии с заданием выдает команды управления.

Список использованной литературы

1. Автопилоты и системы автоматического управления полетом летательного аппарата // интернет ресурс < www.airwar.ru/breo/pnk/pnk4.html >
2. Коваленко П. А., Пономаренко В. А., Чунтул А. В. Иллюзии полета (Авиационная делиалогия). Методические рекомендации. – М.: 2005. – 376 с. с илл.
3. Петров Д. Электрокожное сопротивление как показатель состояния человека // интернет ресурс < <http://www.medlinks.ru/article.php?sid=8356> >
4. Создание системы дистанционного бесконтактного сканирования и идентификации психофизиологического состояния человека: Отчет о НИР / ООО «Многопрофильное предприятие «Элсис»; научный руководитель В.А.Минкин. Шифр: лот № 2005-БТ-13.2/003. — 275 с.
5. Взаимосвязь кожного сопротивления с физическим и эмоциональным состоянием человека // интернет ресурс <http://iks8.ru/>
6. Александр Жигарьков «Детектор лжи» или Что такое практическая психофизиология // «Психологическая газета», №4, апрель 2003

Сведения об авторах:

Золотарев Алексей А, инженер-конструктор ОАО «МВЗ им. М. Л. Миля»,
e-mail: zolotarev.a.a@gmail.com

Кулешов С.В., к.т.н., Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН, e-mail: kuleshov@ias.spb.su