

Малогабаритная система бортовых измерений для лётных испытаний воздушных судов малой размерности

Александр Брагин, Артём Лукьянов

С целью устранения недостатков и эксплуатационных ограничений ранее применяемых систем бортовых измерений, а также для повышения качества, безопасности и информативности испытаний специалистами СибНИА был разработан действующий образец автоматизированной малогабаритной системы бортовых измерений для воздушных судов малой размерности. Система позволяет сократить сроки на подготовку, проведение и обработку результатов лётных испытаний, а также проводить анализ полётных данных в темпе эксперимента и выдавать текущую информацию непосредственно при выполнении испытательных режимов.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из источников получения исходных данных, необходимых для оценки результатов лётных испытаний самолётов и вертолётов, является бортовая информационно-измерительная система, включающая комплекс технических средств измерений (первичных преобразователей параметров полёта), а также аппаратные и программные средства сбора и обработки информации.

До последнего времени в России применялись системы бортовых измерений (СБИ) и сбора полётной информации «Тестер», «ГАММА», «Регата», «БУР» и др. в комплексе с твердотельными накопителями полётной информации и первичными преобразователями параметров полёта. Данные системы по своим возможностям имели ряд существенных недостатков, связанных с их эксплуатацией: большие габаритные размеры и вес (измерительные комплексы имели блочную конструкцию с количеством блоков до 10 единиц в зависимости от количества измеряемых параметров и массу комплекса от 20 до 40 кг без монтажных деталей), большая протяжённость соединительных межблочных проводов, напряжение питания одного номинала (+27 В), ограниченная частота регистрации полётной

информации, значительные затраты времени на предварительную наземную подготовку комплекса и последующий монтаж на борту. Кроме того, для выдачи лётчику полётных данных (высота, скорость, курс и др.) требовалась установка дорогостоящих многофункциональных индикаторов и пультов управления. Для выполнения работ, связанных с проведением тензометрии, использованием спутниковых навигационных систем, вводом видеoinформации, а также необходимостью последующей синхронизации по времени, требовалась установка дополнительных устройств сопряжения. Это вело к дальнейшему увеличению габаритов и массы СБИ. Применение таких систем возможно только на самолётах и вертолётах, имеющих достаточно большой свободный объём для монтажа соответствующего оборудования. Помимо всего этого использование подобных СБИ допускало выполнение математического анализа собранных данных только при наземной обработке, что существенно увеличивало период времени от проведения лётного эксперимента до получения окончательного результата.

Для обеспечения работ, связанных с выполнением испытательных полётов

малых воздушных судов, перед специалистами лётной базы ФГУП «СибНИА им. С.А. Чаплыгина» была поставлена задача по разработке действующего образца автоматизированной малогабаритной системы бортовых измерений (далее МСБИ) и программно-математического обеспечения с эффективным распределением задач между процессорным и интерфейсными модулями. Целью работы было сокращение сроков на подготовку, проведение и обработку результатов лётных испытаний авиационной техники, а также повышение качества, безопасности и информативности проводимых испытаний.

На момент разработки целесообразным выбором базы для создания МСБИ являлись IBM PC совместимые промышленные компьютеры для встраиваемых систем. Их применение позволяло проводить разработку и отладку специализированного программного обеспечения на основе стандартных инструментальных средств на обычных офисных компьютерах параллельно с разработкой аппаратной части системы. По таким критериям, как эксплуатационные характеристики, высокая надёжность, малое энергопотребление, широкая номенклатура представ-



Рис. 1. Первый образец малогабаритной системы бортовых измерений

ленных на российском рынке плат, в качестве основного промышленного стандарта был выбран MicroPC. Платы этого стандарта по своим физическим и электрическим параметрам имеют полную совместимость с шиной ISA. В качестве поставщика была выбрана российская компания FASTWEL, предлагающая широкий выбор промышленных средств измерений по конкурентоспособным ценам.

Выбранная аппаратная платформа позволила специалистам СибНИА в кратчайшие сроки достигнуть поставленной цели и в 2006 году завершить разработку первого образца малогабаритной системы бортовых измерений (рис. 1).

НАЗНАЧЕНИЕ И ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

МСБИ предназначена для измерения параметров исследуемых объектов, преобразованных в электрические аналоговые, цифровые, аналого-цифровые и дискретные сигналы, и записи результатов в виде данных бинарного, текстового и др. типов на флэш-диск, жёсткий диск или внешний твердотельный накопитель.

Основная область применения – лёгкие испытания самолётов и вертолётов (лёгких на первом этапе и более тяжёлых на следующих этапах). В зависимости от типов используемых объектов и видов испытаний система может быть представлена в нескольких вариантах, отличающихся количеством и типами блоков, оптимизированных для каждого определённого случая.

МСБИ позволяет осуществлять следующие виды преобразования сигналов, поступающих от первичных преобразователей параметров полёта, спутниковой навигационной системы (СНС), инерциальной навигационной системы (ИНС) и согласующих устройств:

- аналого-цифровое и цифро-аналоговое преобразования напряжения и силы постоянного тока в различных диапазонах;
- преобразование сигналов разовых команд;
- преобразование частотных сигналов до 12,5 МГц.

В скомпонованной конфигурации конструкция системы имеет размеры до 310×190×170 мм и массу до 3 кг (в зависимости от количества подключаемых плат). Питание может осуществляться от сети постоянного тока с напряжением от 10 до 36 В или от сети переменного тока с напряжением 220 В. Встроенные аналого-цифровые преобразователи позволяют производить подключение различных типов первичных преобразователей параметров полёта, как однопроводных, так и двухпроводных источников аналоговых сигналов. Диапазон входных напряжений и токов аналоговых сигналов может изменяться аппаратно или программно. Количество подключаемых первичных преобразователей параметров полёта может изменяться от 1 до 32 для одной платы икратно возрастать при установке дополнительной платы расширения, масса которой составляет 200 граммов. Частота аналого-цифрового преобразования может достигать 100 кГц в зависимости от числа подключаемых первичных преобразо-

вателей. Платы ввода сигналов имеют также встроенный цифро-аналоговый преобразователь, что позволяет комплексу формировать управляющие сигналы. По своим эксплуатационным характеристикам комплекс соответствует техническим условиям авиационного применения: диапазон рабочих температур от –40 до +85°С, эксплуатационная перегрузка до 40g.

В ходе доработок была расширена номенклатура применяемых аппаратных средств в составе системы с целью увеличения гибкости её структуры и, как следствие, расширения области применения.

АППАРАТНАЯ ЧАСТЬ

В настоящий момент аппаратная часть представлена в двух вариантах исполнения на базе промышленных стандартов MicroPC и PC/104. Главным архитектурным отличием первого варианта является его модульность, что увеличивает габаритные размеры системы и повышает её структурную гибкость. Во втором варианте исполнения МСБИ имеет меньшие габаритные размеры (225×150×115 мм) благодаря тому, что на одну плату интегрирован процессорный модуль с системой аналогового и дискретного ввода-вывода и таймерной подсистемой.

В варианте MicroPC (структурная схема представлена на рис. 2) система

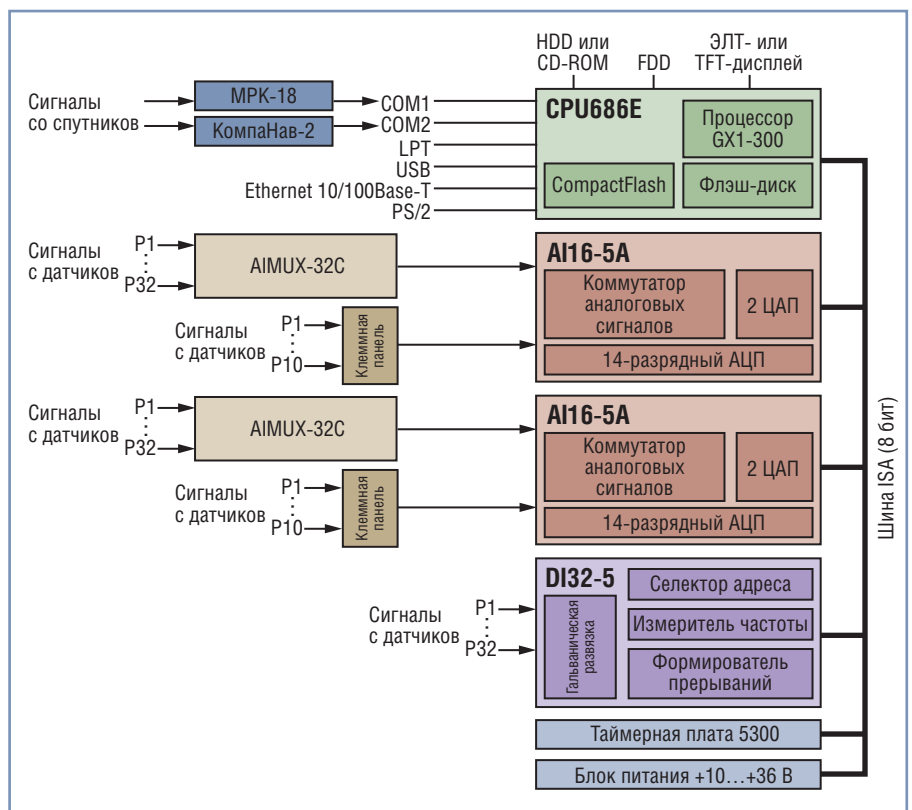


Рис. 2. Структурная схема МСБИ в формате MicroPC

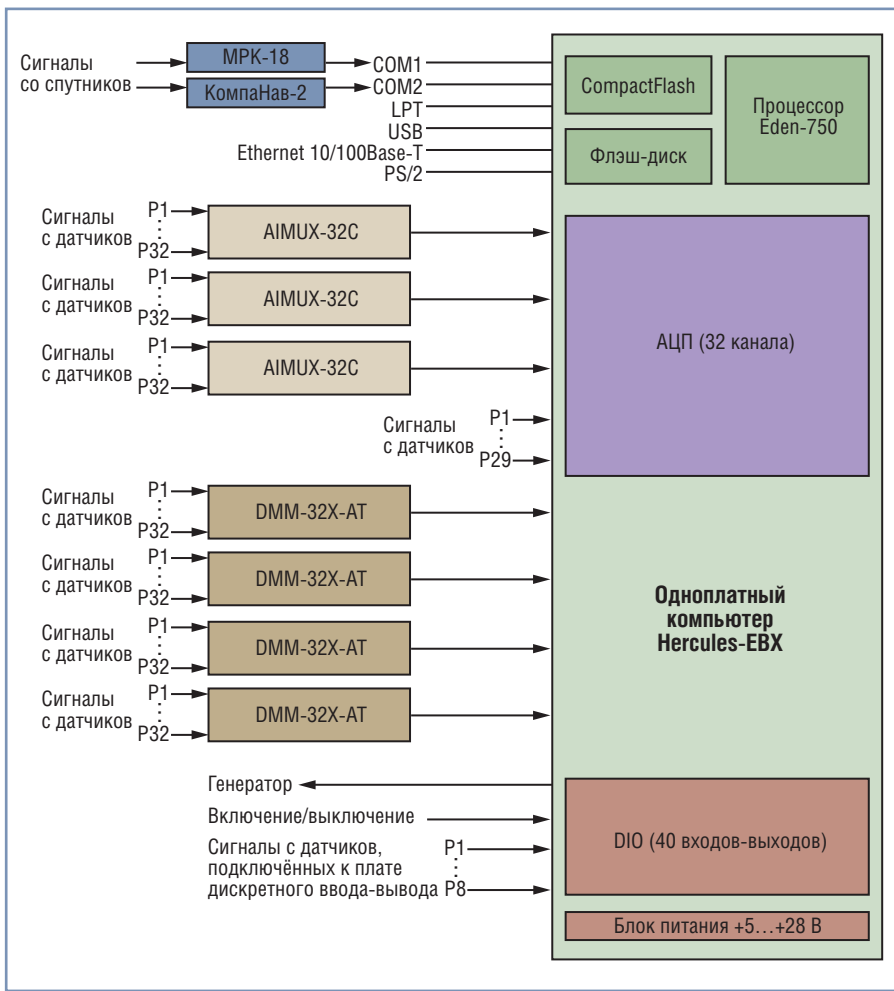


Рис. 3. Структурная схема МСБИ в формате PC/104

комплектуется следующими модулями фирмы FASTWEL с привлечением отдельных изделий компании Octagon Systems:

- модуль центрального процессора CPU686E;
- модуль аналогового ввода-вывода с гальванической развязкой AI16-5A;
- модуль дискретного ввода с гальванической развязкой DI32-5;
- коммутатор аналоговых сигналов AIMUX-32C;
- модуль 7112/24 источника питания постоянного тока +10...+36 В;
- таймерная плата 5300.

Все платы объединены в едином монтажном каркасе 5278-RM (Octagon Systems), имеющем общую информационную шину ISA. Система в таком исполнении имеет модульную структуру с программируемым распределением частоты опросов, адресным обращением к многоканальным преобразователям информации (АЦП и ЦАП) и общей (магистральной) линией связи ISA. Связь между модулем центрального процессора и другими модулями производится через порты ввода-вывода ISA-шины. Смена распределения

частоты опросов осуществляется программно. Временная синхронизация при работе МСБИ осуществляется с частотой 1...10 Гц (настраивается программно) с помощью таймерной платы 5300.

В варианте PC/104 (структурная схема представлена на рис. 3) система представляет собой одноплатный компьютер Hercules-EBX (Diamond Systems) на базе процессора VIA Eden с интегрированным модулем устройства связи с объектом (УСО), который поддерживает:

- аналоговый ввод (32 канала, 16 бит, 250 кГц максимум, однополярный

- или дифференциальный способы подключения сигналов, диапазоны входного напряжения 0...10; 0...5; 0...2,5; 0...1,25; ±10; ±5; ±2,5; ±1,25 В);
- аналоговый вывод (4 канала, 12 бит);
- дискретный ввод-вывод (40 каналов, 5 В);
- счётчики/таймеры (2 канала).

В зависимости от задач МСБИ комплектуется платами АЦП DMM-32X-AT стандарта PC/104. За счёт разработки разъёмов-переходников (для аналоговых и цифровых сигналов) к Hercules-EBX также появилась возможность подключения плат коммутаторов аналоговых сигналов AIMUX-32C (до 32), что существенно расширило функциональные возможности МСБИ в данном варианте исполнения.

Количество каналов МСБИ зависит от варианта комплектации и соответствует данным табл. 1. Возможно увеличение числа и видов опрашиваемых каналов за счёт введения в бортовой комплекс дополнительных модулей аналогового ввода-вывода (например, AI16-5A, DMM-32X-AT) и коммутаторов аналоговых сигналов (AIMUX-32C).

Для решения задач навигации и организации внешнетракторных измерений в разработанную систему бортовых измерений интегрированы модули угломерной спутниковой навигационной системы МРК-18 и инерциальной навигационной системы КомпаНав-2. Плата спутниковой системы выполнена в формате MicroPC и является функционально законченным модулем, позволяющим использовать его в общей схеме бортового комплекса. Кроме того, при подключении приёмника МРК-18 возможен обмен данными в бинарном формате VIN. Программное обеспечение (ПО) бортового измерительного комплекса выделяет значения необходимых параметров из общего потока данных в формате NMEA 0183 (или VIN) и производит первичную об-

Таблица 1

Количество каналов в зависимости от вариантов комплектации МСБИ

| Варианты комплектации | Виды каналов | | | | |
|-----------------------|--|------------------------------|--|--------------------|-------------------|
| | Входные аналоговые сигналы | | Выходные аналоговые сигналы, однопроводное подключение | Дискретные сигналы | Частотные сигналы |
| | однопроводное подключение | дифференциальное подключение | | | |
| MicroPC | 2 модуля AI16-5A, DI32-5 | 32 | 16 | 4 | 32 |
| | 2 модуля AI16-5A, DI32-5, 3 модуля AIMUX-32C | 125 | 62 | 4 | 32 |
| PC/104 | 1 АЦП, 4 DMM-32X-AT | 160 | 80 | — | 4 |
| | 1 АЦП, 4 DMM-32X-AT, 3 AIMUX-32C | 253 | 126 | — | 4 |

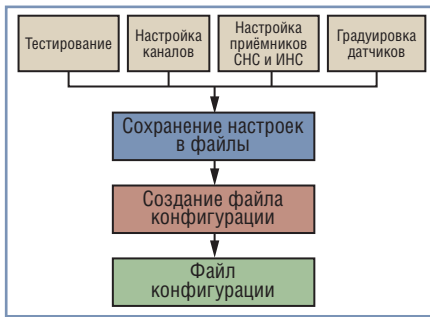


Рис. 4. Структурная схема программы подготовки и настройки МСБИ

работку этих значений и их передачу по каналу связи. Навигационный алгоритм, реализованный в системе Компанав-2, поддерживает определение координат при временных пропаданиях (до 5 минут) сигналов спутников, а высоты и вертикальной скорости — неограниченное время. Перечень необходимых для выдачи параметров задаётся с помощью конфигурационного ПО.

ПРОГРАММНАЯ ЧАСТЬ

С целью сокращения сроков подготовки МСБИ на воздушных судах и обработки полётной информации разработано программное обеспечение, позволяющее провести весь комплекс работ от момента внутреннего тестирования и построения градуировочных зависимостей до получения окончательного результата обработки.

По своей структуре это программное обеспечение представляет собой три программы:

- 1) программа подготовки и настройки бортовой МСБИ;
- 2) программа сбора и первичной обработки информации;
- 3) программа вторичной обработки информации.

Программа подготовки и настройки бортовой МСБИ (рис. 4) разработана в среде C++ Builder 6.0 для операционной системы Windows 98, имеет интуитивно понятный оконный интерфейс и построена на основе диалогового взаимодействия с пользователем.

Программа подготовки и настройки МСБИ позволяет:

- производить системное тестирование всех внутренних модулей;
- настраивать каналы с указанием частоты опроса, коэффициентов усиления и типа сигнала;
- производить градуировку первичных преобразователей параметров и строить градуировочные зависимости;

- настраивать приёмник СНС и ИНС;
- задавать несколько режимов работы программы сбора и первичной обработки информации;
- задавать список имён параметров и их идентификационные номера;
- производить визуальную оценку работы первичных преобразователей и регистрирующей аппаратуры;
- настраивать параметры для передачи данных, полученных от первичных преобразователей полёта, в виртуальную доску приборов (ВДП).

Настройки сохраняются в файле конфигурации, который в дальнейшем передаётся программе сбора и первичной обработки информации.

Программа сбора и первичной обработки информации (рис. 5) разработана для операционной системы MS-DOS с целью обеспечения надёжности, сбережения ресурсов и ускорения процесса сбора и обработки информации. Программа также совместима с операционной системой Windows 98, что позволяет осуществлять проверку работоспособности файла конфигурации сразу после его создания. После получения файла конфигурации программа работает автономно.

Программа сбора и первичной обработки информации позволяет:

- осуществлять мониторинг сбора и первичной обработки информации;
- изменять режимы работы (задаются программой настройки);
- осуществлять сбор данных на накопителе;
- автоматически вносить регулярные поправки.

Программа вторичной обработки информации (рис. 6) разработана для операционной системы Windows 98/NT. В программе возможна эмуляция реального времени, что делает возможным просмотр динамики процессов выделенных участков.

Программа вторичной обработки информации позволяет:

- осуществлять доступ к данным по списку имён параметров или их идентификационным номерам (задаются в программе подготовки и настройки бортовой МСБИ);
- осуществлять вывод результатов обработки в текстовом или графическом виде;
- строить графики в режиме эмуляции реального времени;
- обеспечивать поиск заданных участков обработки;
- строить графики физических значений параметров по градуировочной зависимости;
- проводить частотный анализ данных;
- обеспечивать редактирование и документирование данных;
- формировать банк данных.

Для выдачи лётчику полётных данных разработана виртуальная доска приборов. Она предназначена для отображения в реальном масштабе времени на экране ноутбука или планшетного компьютера внешнетракторных параметров и информации об эксплуатационной нагруженности. На доске размещаются шесть видов индивидуально настраиваемых приборов и векторная навигационная карта формата PFM (рис. 7).

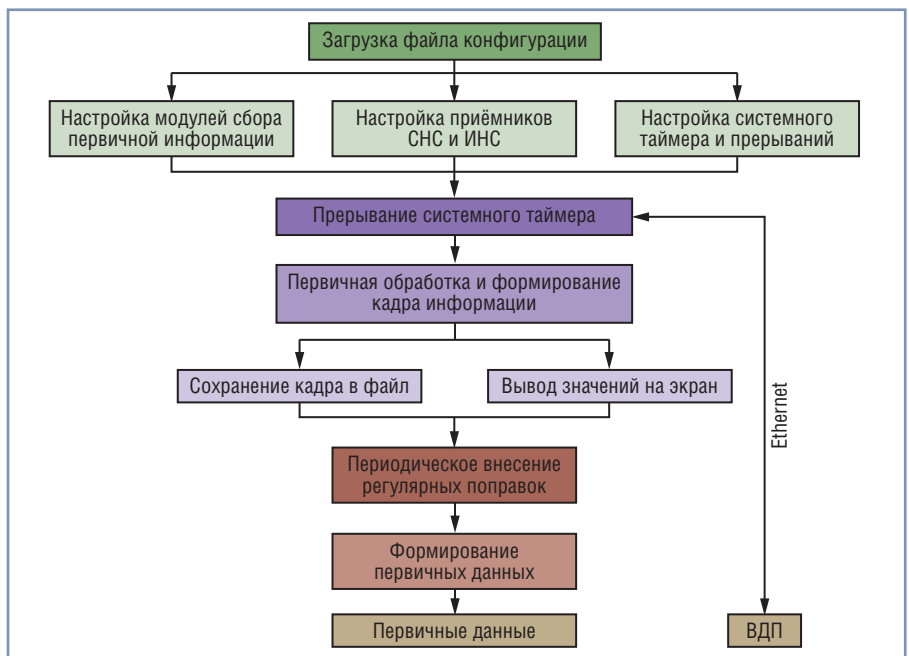


Рис. 5. Структурная схема программы сбора и первичной обработки информации

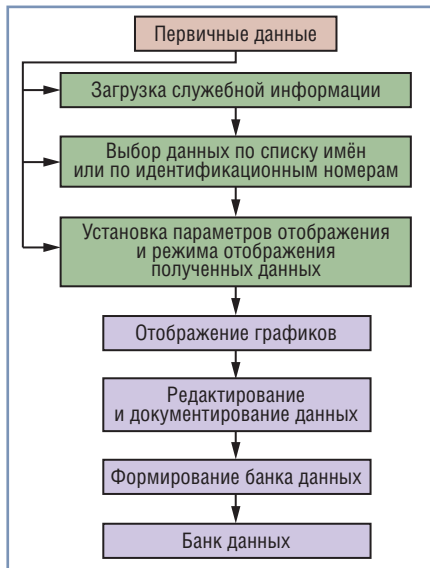


Рис. 6. Структурная схема программы вторичной обработки информации

Источником данных для ВДП служит программа сбора и первичной обработки информации, получающая информацию от первичных преобразователей параметров полёта и навигационных систем. Эта программа производит первичную обработку и преобразование информации в служебные пакеты данных, которые одновременно записываются на дисковый накопи-

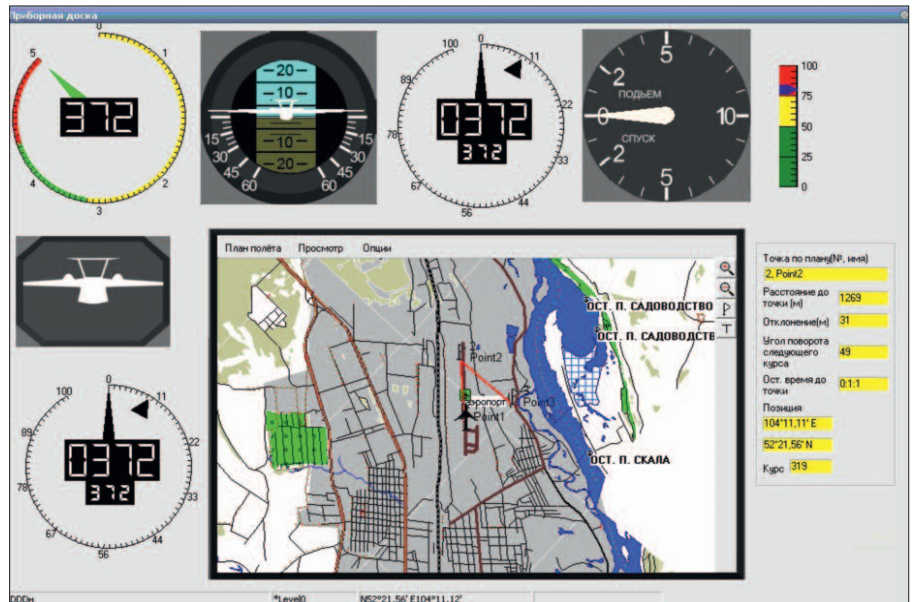


Рис. 7. Внешний вид виртуальной доски приборов

тель и по сети Ethernet передаются ВДП. Схема взаимодействия программы и ВДП представлена на рис. 8.

Взаимодействие производится по транспортному протоколу UDP при помощи программы-сервера (далее сервер). Сервер представляет собой отдельную программу, которая осуществляет передачу информационных пакетов и взаимодействует с модулем-клиентом,

встроенным в ВДП. Вследствие этого функционально разгружается программа сбора и первичной обработки, что позволяет избежать временных задержек и уменьшения частоты регистрации.

Взаимодействие ВДП и программы сбора и первичной обработки осуществляется по следующему алгоритму:

- из автозагрузки производится запуск сервера на персональном компьюте-

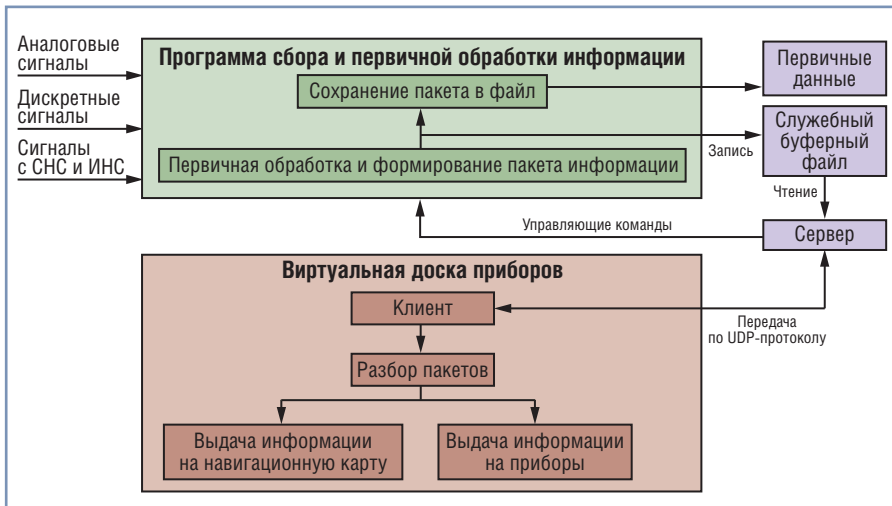


Рис. 8. Схема взаимодействия ВДП и программы сбора и первичной обработки информации

ре и ВДП на ноутбуке (или планшетном компьютере);

- сервер запускает программу сбора и первичной обработки;
- по известному IP-адресу ВДП сервер отправляет запрос на старт передачи и переходит в режим ожидания;
- после получения стартовой команды сервер передаёт клиенту ВДП пакет настроек;
- после передачи всего настроечного пакета сервер переводит ВДП в режим приёма информационных пакетов;
- программа сбора и первичной обработки создаёт служебный файл в режиме совместного доступа и с установленной частотой записывает в него пакеты для передачи в ВДП;
- сервер обращается к файлу и в случае наличия в нём информационного пакета передаёт его клиенту ВДП;
- принятый пакет разбирается на массив значений, которые по индексам распределяются на приборы и навигационную карту (НК).

Протокол UDP не гарантирует доставку пакета, поэтому после каждой передачи сервер ожидает от клиента ВДП уведомление о приёме и целостности пакета.

Панель приборов располагается в левой и верхней частях ВДП (рис. 7), на которых можно разместить шесть различных видов индивидуально настраиваемых приборов (не более трёх одного вида). Расположение приборов меняется при помощи мыши или в меню настроек программы.

Все приборы привязаны к своим параметрам через указатель-литеру. Литера – это индивидуальное символическое обозначение, которое однозначно связывает набор данных, передаваемых программой сбора и первичной обра-

ботки, с приборами на ВДП. Литера настраивается в окне настроек ВДП (рис. 9). Также для каждого прибора настраивается его расположение относительно левой и верхней границы окна. Настроечная информация сохраняется в соответствующих профилях.

При переходе ВДП в режим приёма информационных пакетов происходит автоматическая прорисовка НК с учётом принятой навигационной информации. При этом принята следующая цветовая схема прорисовки участков маршрута:

- зелёный – участок не пройден;
- синий – отображение циклического участка маршрута в случае прохождения его хотя бы один раз;
- красный – участок пройден.

Участок считается пройденным в случае прохождения точек, составляющих этот участок. Прохождение точки

регистрируется, если летательный аппарат (ЛА) попал в область регистрации. Область регистрации – это круг, центром которого является точка маршрута. Радиус круга задаётся в пункте меню «Опции–Настройки–Наст2».

Навигационная информация, поступающая от приёмников СНС и ИНС, отображается в разделе навигационной информации справа от НК (рис. 10). В этом разделе отображаются следующие параметры:

- «Точка по плану» – имя и номер следующей точки маршрута;
- «Расстояние до след. точки (М)» – расстояние в метрах до следующей точки маршрута;
- «Отклонение (М)» – отклонение ЛА от заданного маршрута в метрах;
- «Угол смены курса» – угол смены курса в градусах после прохождения следующей точки маршрута (отображается в случае, если маршрут состоит из трёх и более точек);
- «Ост. время до след. точки» – оставшееся время (часы, минуты и секунды) до прохождения ближайшей точки, учитывая текущую скорость полёта ЛА;
- «Позиция» – текущие координаты ЛА (широта и долгота);
- «Курс» – текущий курс ЛА.

Частота приёма навигационной информации задаётся в пункте меню «Опции–Настройки–Наст1–Интервал времени приёма координат» и выбирается с учётом требуемой скорости прорисовки карты.

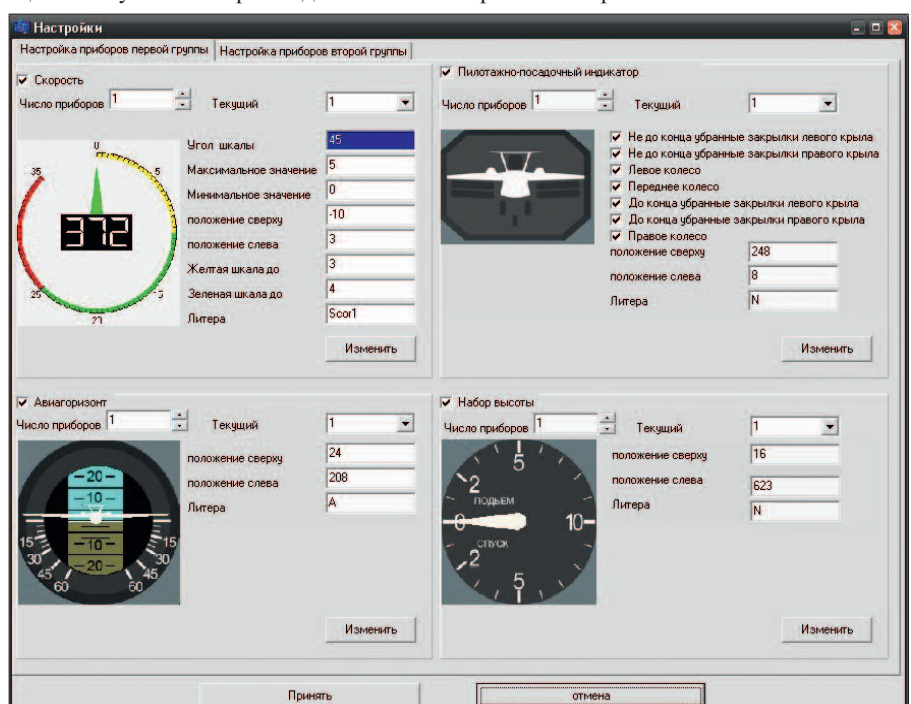


Рис. 9. Внешний вид экрана настроек программы ВДП

| | |
|-------------------------------|-------|
| Точка по плану(№, имя) | |
| 2, Point2 | |
| Расстояние до след. точки (м) | 1269 |
| Отклонение(м) | 31 |
| Угол смены курса | 49 |
| Ост. время до след. точки | 0:1:1 |
| Позиция | |
| 104°11,11' E | |
| 52°21,56' N | |
| Курс | 319 |

Рис. 10. Внешний вид раздела навигационной информации



Рис. 11. Применение МСБИ при испытаниях самолёта-реплики МиГ-3

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Система МСБИ в различных вариантах исполнения применялась при проведении лётных испытаний единичных экземпляров воздушных судов малой размерности: автожиры А-002, А-002М и «Охотник», вертолёт «Орлёнок», самолёт-реплика МиГ-3 (рис. 11). При этом общий налёт составил 120 часов.

В результате проведения лётных исследований и испытаний выявлены основные особенности МСБИ.

1. Структурная гибкость. МСБИ состоит из отдельных конструктивно законченных устройств – блоков, из которых могут комплектоваться разные по назначению и техническим характеристикам комплексы. Изменение комплектации может осуществляться в процессе эксплуатации.
2. Информационная гибкость. Сжатие данных при измерении и записи на флэш-диск (жёсткий диск или твердотельный накопитель) обеспечивается выбором и установкой распределений частот опросов на основании априорных данных о спектральном составе измеряемых сигналов.
3. Централизованное управление и контроль. Управление работой всего бортового комплекса, установка программы распределения частот опроса и скорости записи, а также установка данных идентификации осуществляются программно. Сигнальные лампы контроля расположены на лицевой панели бортового комплекса.
4. Гибкость информационного кадра системы. Информационный кадр

системы состоит из кадров сигналов каждого канала. Сигналы каналов равномерно распределены в кадре файла записи. Распределение слов в кадре системы изменяется программой опроса. Длина кадра, то есть количество позиций в кадре системы, переменна.

5. Инвариантность адреса. При изменении программы распределения частот опросов адрес информации каждого канала остаётся неизменным и определяется его идентификационным номером.
6. Возможность развития бортового комплекса. Для изменения функциональных возможностей, технических характеристик, а также цели функционирования в бортовую систему могут включаться вновь разрабатываемые модули и заменяться старые.
7. Применение ВДП в процессе лётных исследований позволяет акцентировать внимание лётчика на ходе и правильности выполнения испытательного режима, выдавать информацию о приближении к критическим режимам полёта и, как следствие, повышает безопасность испытательных полётов.

Полученные с использованием МСБИ данные испытаний позволили специалистам лётной базы СибНИА выявить недостатки конструкций указанных летательных аппаратов и выработать рекомендации по их доработке.

В результате подтверждена возможность применения малогабаритной системы бортовых измерений в качестве

основного средства измерения при проведении лётных и лётно-прочностных испытаний авиационной техники малой размерности.

К сожалению, авторам не удалось найти информацию по аналогичным системам сбора данных, ориентированным на применение в лётных испытаниях судов малой размерности. Современные системы бортовых измерений, применяемые в России, имеют блочную конструкцию с распределённой архитектурой сбора данных («ГАММА-2110», «СВБК-2», «КАМ-500») и предназначены для испытаний воздушных судов средних и больших размерностей, в которых достаточно места для размещения многих блоков и монтажных кабелей и требуется большое количество каналов регистрации.

В настоящий момент специалистами СибНИА рассматривается возможность проведения модернизации МСБИ путём замены применяемых плат на более скоростные с целью увеличения количества одновременно опрашиваемых каналов и повышения частоты регистрации данных, а также расширения спектра применения МСБИ. В рамках модернизации для расширения функциональных возможностей системы и повышения удобства её применения планируется разработка нового программно-математического обеспечения на основе открытой ОС с использованием технологий параллельной обработки различных видов входных сигналов. ●

E-mail: abragin.nsk@gmail.com