

## 1. Ожидаемая структура рынка услуг по быстрому прототипированию в России

Название компании	Регион	Ожидаемая доля на рынке, %
Институт проблем лазерных и информационных технологий (ИПЛИТ) РАН	г. Шатура, Московская область	10...15
ФГУП «НАМИ», Центр быстрого прототипирования и изготовления малых серий	г. Москва	10...15
ОАО «НИИТавтопром»	г. Москва	10...15
«МАТИ» им. К.Э. Циолковского	г. Москва	10...15
ОАО «Уфимское моторостроительное производственное объединение»	г. Уфа	15...20
ESPPO. Группа компаний	г. Москва	10...15
Инженерный центр ОАО «Красный пролетарий» – «Компактные Интеллектуальные Технологии»	г. Москва	10...15
Центр цифровых технологий ОАО «НПЦ «Полос»	г. Томск	5...10

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как свидетельствует сегодняшний опыт, рентабельность предприятий, предлагающих услуги быстрого прототипирования, обеспечивается при загрузке оборудования более чем на 50 % рабочего времени или в случае предоставления полного пакета услуг – от обработки САД-данных до отливки. Поэтому наметилась тенденция выделения производства по RP-технологиям в отдельный бизнес, которым занимаются относительно

малочисленные коллективы (10 – 20 человек). Загрузка европейских RP-центров составляет 15 – 20 ч в сутки.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Зленко М., Забеднов П. Аддитивные технологии в опытно-литейном производстве. Технологии литья металлов и пластмасс с использованием синтез-моделей и синтез-форм [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://rp-salon.ru/likbez/articles.html>. Дата обращения: 20.04.2012.
2. Зленко М. Технологии и машины для послойного синтеза изделий [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://rp-salon.ru/likbez/articles.html>. Дата обращения: 20.04.2012.

УДК 551.501+551.508

Б.Д. Белан, А.В. Фофонов (Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева);  
А.В. Козлов (Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск)  
E-mail: [artem@iao.ru](mailto:artem@iao.ru)

## БОРТОВАЯ СИСТЕМА РЕГИСТРАЦИИ САМОЛЕТА-ЛАБОРАТОРИИ ТУ-134 «ОПТИК»

*Приводится описание бортовой системы регистрации самолета-лаборатории Ту-134 «Оптик». Система предназначена для регистрации во время полета навигационных параметров, метеопараметров, концентрации газовых и аэрозольных составляющих атмосферы, контроля работы измерительных комплексов и визуализации текущих результатов. Для приема сигналов от некоторых приборов впервые применена беспроводная технология передачи данных.*

**Ключевые слова:** самолет-лаборатория, система сбора данных.

B.D. Belan, A.V. Fofonov (V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS);  
A.V. Kozlov (National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk)

## ON-BOARD RECORDING SYSTEM OF TU-134 «OPTIC» AIRCRAFT-LABORATORY

*The description of on-board system of registration of airborne-laboratory Tupolev-134 «Optik» is resulted. The system is intended for registration during flight of navigating parameters, meteoroparameters, concentration gas and aerosol making atmospheres, the control of work of measuring complexes and visualization of the current results. The wireless technology of data transmission for the first time is applied for reception of signals from some devices.*

**Keywords:** aircraft-laboratory, data acquisition system.

Основным преимуществом самолетного метода изучения атмосферы по сравнению с другими является то, что самолет-лаборатория может работать непосредственно в исследуемом объеме, т.е. производить измерения *in situ*. Кроме того, он может сопровождать изучаемое атмосфер-

ное явление на расстоянии в тысячи километров и следить за эволюцией его характеристик. Также к достоинствам самолетного метода можно отнести комплексность летных экспериментов, так как измерения производятся в системе единого времени по взаимно согласованным программам.

Самолет как носитель научного оборудования позволяет доставлять в заданную точку пространства многочисленные приборы, которые в настоящее время объединяются в единую информационную систему на базе бортовой ЭВМ, обеспеченную соответствующими программами измерений. Вспомогательные системы самолета обеспечивают научное оборудование энергоснабжением, метрологическим обслуживанием, поддерживают соответствующие климатические условия в салоне для их работы и обслуживающего персонала. Такие летающие комплексы получили название самолетов-лабораторий (СМЛ).

При явном преимуществе самолетного метода над другими его реализация оказывается очень непростой задачей. Чтобы оборудовать самолет-лабораторию, надо решить целый набор научно-технических задач. Кроме того, самолет оказывает возмущающее действие на окружающую его среду, поэтому при постановке методик измерения на СМЛ требуется корректный учет возможных погрешностей измерений. Большой температурный перепад, вибрации, тряска накладывают высокие требования к надежности аппаратуры.

В настоящее время в любых автоматизированных (в том числе и бортовых) измерительных комплексах для получения и предварительной обработки информации используются специализированные системы сбора данных (DAQ, DAS). Система сбора данных (ССД) – комплекс средств, предназначенный для работы совместно с персональными компьютерами, объединенными в компьютерную сеть, и осуществляющий автоматизированный сбор информации о величине физических параметров в заданных точках объекта исследования посредством аналоговых и/или цифровых источников сигнала, а также первичную обработку, накопление и передачу данных.

Совместно с компьютерной сетью, оснащенной специализированным программным обеспечением, ССД образует информационно-измерительную систему (ИИС). Проще говоря, это многоканальный измерительный прибор с широкими возможностями обработки и анализа данных. На основе ИИС могут быть построены различные автоматизированные системы управления (АСУ), среди которых: информационно-логические комплексы (то, что называют еще АСУ технологическими процессами), информационно-вычислительные комплексы, информационно-диагностические комплексы и информационно-контролирующие системы [1].

Все бортовые системы регистрации можно разделить на несколько типов [2]. По решаемым задачам: на узкоспециализированные и многофункциональные; по организации: на индивидуальные и централизованные и т.д. Не вдаваясь в подробности технологии построения систем регистрации, как не являющейся целью настоящего раздела, рассмотрим лишь конкретные реализации таких систем.

В [3] приводится описание бортовой системы ARIS-III, которая устанавливалась на СМЛ Sabreliner и ДНС-5 Buffalo. Входной интерфейс системы включает в себя 40 входных аналоговых каналов (+5 В), параллельный 72-разрядный входной регистр разовых команд, канал приема последовательных цифровых кодов, 4 входа для приема сигналов с сельсинов. ARIS-III снабжена высокоскоростным интерфейсом связи с навигационной системой и интерфейсом связи с бортовым ИБК ADARS.

Регистрация осуществляется на 7-канальный магнитный накопитель. Для наземной обработки создана система на базе IBM. Кроме того, на этом же самолете установлена универсальная система сбора и регистрации данных ADARS [4]. Она предназначена для обработки данных системой ARIS-III с дополнительными функциями расчета пилотажно-навигационных и метеорологических данных, отображения и подготовки к передаче по телеметрическому каналу, реализуемому компьютером ROLM-1601. Периодичность опроса системы ARIS-III составляет 2 с. При этом на вход ADARS поступает 32 значения измеряемых величин. С помощью терминала оператор может быстро вводить закодированные результаты визуальных наблюдений для их записи на магнитную ленту.

На самолете Electra была установлена система регистрации EDMS [5]. Она построена по магистрально-модульному типу. Основу системы составляют два компьютера с оперативной памятью 16 кбайт слов каждый. Первый компьютер служит для сбора и обработки информации, второй – для подготовки выходных массивов, управления внешними устройствами. Для связи с источниками измерительной информации система EDMS имеет 50-канальный аналого-цифровой преобразователь; 5-канальный преобразователь последовательных кодов в параллельный; 10-канальный преобразователь частоты в код; 8-канальный 2-байтовый параллельный буфер с адресной выборкой. Для связи с инерционной навигационной системой LTN и радиосистемой «Омега» предусмотрены входные и выходные интерфейсы связи.

Программа MOZAIK (измерения озона и водяного пара на самолетах Airbus, выполняющих регулярные авиaperелеты) была начата в 1993 г европейскими учеными, производителями самолетов и авиакомпаниями [6 – 9]. Ее целью является сбор экспериментальных данных о составе атмосферы и как она изменяется под влиянием деятельности человека, в особенности при воздействии воздушных судов. В программе при помощи измерительных приборов, установленных на борту, проводились регулярные измерения озона ( $O_3$ ), водяного пара ( $H_2O$ ), окиси углерода (CO) и оксидов азота ( $NO_x$ ). Сбор и предварительную обработку поступающих данных осуществляет ССД, которая состоит из персонального компьютера с различными встроенными платами. Одна из плат является мультиплексной платой сбора данных DIAMOND-MM-16 PC-104 модуля. Она обеспечивает оцифровку 16 аналоговых входов с 16-битным разрешением и программируемым коэффициентом усиления, также имеет 4 аналоговых выхода с 12-битным разрешением, 6 линий цифрового ввода-вывода и расширенный диапазон рабочих температур. Другими встраиваемыми платами являются программируемый источник питания, плата управления реле. Фактически эта ССД выполнена в виде крейта – КАМАКа, в состав которого входит набор из плат, выполняющих определенные функции.

Такой подход характерен для большинства современных измерительных систем, в задачи которых входит сбор информации от различных датчиков. Смысл такого

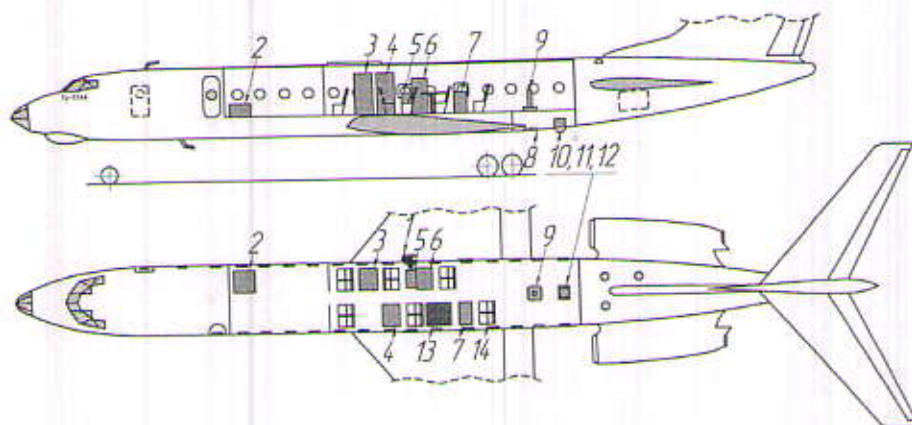


Рис. 1. Размещение научного оборудования в салоне самолета Ту-134:

1 – блок воздухозаборников; 2 – блок питания бортовой аппаратуры; 3 – приборная стойка газоанализаторов:  $O_3$  (TEI Model 49C),  $SO_2$  (T-API 100E),  $NO_x$  (T-API 200E),  $CO$  (T-API 300E) и АДБ (диффузионный счетчик аэрозоля  $3 < d < 200$  нм); 4 – приборная стойка газоанализатора  $CO_2$  (Licor LI-6262) и портала заправки проб воздуха в колбы; 5 – стойка фильтро-аспирационной установки, счетчика аэрозольных частиц (GRIMM Model 1.109) и газоанализатора  $O_3$  (ОПТЭК 3.02П); 6 – приборная стойка азтоломера и ФА-На; 7 – стойка бортового компьютера; 8 – фотолюк; 9 – лидар (Макрель-2М); 10, 11, 12 – спектрофотометр, тепловизор, радиометр (вариант размещения); 13 – предметный столик; 14 – кресла борт-операторов

подхода заключается в том, что на одной платформе при помощи различных встраиваемых плат собирается ССД практически для любой задачи.

Для получения навигационных данных, таких как скорость, высота, курс и т.д., используется стандарт ARINC 429 – стандарт для применения в авионике. Разработан фирмой ARINC. Стандарт описывает основные функции и необходимые физические и электрические интерфейсы для цифровой информационной системы самолета. ARINC 429 является доминирующей авиационной шиной для большинства хорошо экипированных самолетов.

ARINC 429 является двухпроводной шиной данных. Соединительные проводники – витые пары. Размер слова составляет 32 бита, а большинство сообщений состоит из единственного слова данных. Спецификация определяет электрические характеристики, характеристики обмена данными и протоколы. ARINC 429 использует однонаправленный стандарт шины данных (линии передачи и приема физически разделены). Сообщения передаются на одной из трех скоростей: 12,5, 50 или 100 кбит/с. Передатчик всегда активен, он либо передает 32-битовые слова данных, либо выдает «пустой» уровень. На шине допускается не более 20 приемников и не более одного передатчика.

В настоящей работе приводится описание бортовой системы регистрации, разработанной в Институте оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН для самолета-лаборатории Ту-134 «Оптик» [10]. Некоторые элементы системы были отработаны ранее на самолете-лаборатории Ан-30 «Оптик-Э» [11, 12].

#### ХАРАКТЕРИСТИКА САМОЛЕТА ТУ-134 И НАУЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Вначале дадим краткую характеристику носителю научного оборудования самолету Ту-134 и измерительной части бортового комплекса.

Ту-134 – ближнемагистральный пассажирский самолет с двумя турбореактивными двухконтурными двигателями Д-30. Двигатели установлены в хвостовой части фюзеляжа на пилонах, что значительно снижает шум в салоне. Горизонтальное оперение поднято на вершину киля. Самолет строился в различных модификациях: пассажирские, машины специального назначения, летающие лаборатории. Имеет длину 37,1 м; высоту 9,0 м; размах крыльев 29,0 м. Площадь крыла 127,3 м<sup>2</sup>. Ширина салона составляет 2,9 м. В зависимости от модификации: максимальный взлетный вес изменяется от 43 до 47,6 т; максимальная загрузка от 8,2 до 8,6 т; максимальный запас топлива от 13,2 до 14,4 т; максимальная дальность полета от 2770 до 3440 км; максимальная высота полета от 10,1 до 12,0 км. Для его эксплуатации требуется взлетная полоса длиной 2400 м. Расход топлива составляет 2500 кг/ч. Количество кресел в пассажирском варианте экономкласса может составлять 76 – 80 в зависимости от модификации. Ту-134 был сертифицирован по международным нормам.

Размещение научного оборудования на обшивке и в салоне СМЛ Ту-134 «Оптик» показано на рис. 1.

На СМЛ установлены приборы для газоанализа, измерения дисперсного и химического состава аэрозоля (табл. 1).

Помимо приборов газового и аэрозольного состава на СМЛ установлены датчики метеорологических величин. Привязка данных в пространстве невозможна без навигационных характеристик. Метеосистема предназначена для измерения в реальном масштабе времени профилей метеовеличин и их значений на траектории полета. Часть навигационных параметров принимается от самолетной системы, часть измеряется непосредственно в полете. В табл. 2 приведены метеорологические и навигационные параметры, а также вид информативного сигнала.

1. Приборы для измерения газового и аэрозольного состава воздуха

№	Соединение/прибор	Метод	Пределы обнаружения	Погрешность	Тип выходного сигнала	Частота измерений
1	O <sub>3</sub> (ОПГЭК 3.02П)	Хемиллюминесценция	1...500 мкг/м <sup>3</sup>	±15 %	Токовый RS232	1 с 60 с
2	O <sub>3</sub> (TEI Model 49C)	УФ-поглощение	1 млрд <sup>-1</sup>	±1 млрд <sup>-1</sup>	Напряжение	1 с
3	CO <sub>2</sub> (Licor LI-6262)	ИК-поглощение	0,1 млн <sup>-1</sup>	±1 млн <sup>-1</sup>	Напряжение	1 с
4	CO (T-API Model 300E)	ИК-поглощение	40 млрд <sup>-1</sup>	±0,5 %	Напряжение, RS232	1 с 1 с
5	NO <sub>x</sub> (T-API Model 200E)	Хемиллюминесценция	0,4 млрд <sup>-1</sup>	±0,5 %	Напряжение, RS232	1 с 1 с
6	SO <sub>2</sub> (T-API Model 100E)	Флуоресценция	0,4 млрд <sup>-1</sup>	±0,5 %	Напряжение, RS232	1 с 1 с
7	Счетное распределение аэрозоля по размерам (GRIMM Model 1.109)	Лазерный спектрометр аэрозоля	0,25...20 мкм (31 диапазон)	±5 %	RS232	6 с
8	Счетное распределение аэрозоля по размерам (АДБ)	Диффузионная батарея	0,003...0,2 мкм (20 диапазонов)	±10 %	RS232	80 с

2. Метеорологические и навигационные параметры

№	Величина (прибор/датчик)	Ед. изм.	Тип выходного сигнала	Погрешность
9	Высота полета, по статическому давлению (Высотомер электромеханический ВЭМ-72)	м	Резистивный	10 м
10	Температура воздуха (HUCAL Sensing Products Honeywell Inc., Model: IH-3602C)	°C	Напряжение	0,5 °C с шагом 0,1 °C (-70...+70)
11	Температура полного торможения воздуха (датчик резистивного типа)	°C	Резистивный	0,5 °C
12	Влажность воздуха относительная (HUCAL Sensing Products Honeywell Inc., Model: IH-3602C)	%	Напряжение	7 % с шагом 1 % (0...100)
13	Давление атмосферное (Motorolla MPX4115AP)	мм рт. ст.	Резистивный	1,5 % (100...860 мм рт. ст.)
14	Давление в кабине самолета (Motorolla MPX4115AP)	мм рт. ст.	Резистивный	1,5 % (100...860 мм рт. ст.)
15	Суммарная солнечная радиация (Пиранометр M115-м)	Вт/м <sup>2</sup>	Напряжение	< 10 % (0,33...2,5 мкМ)
16	Отраженная солнечная радиация (Пиранометр M115-м)	Вт/м <sup>2</sup>	Напряжение	< 10 % (0,33...2,5 мкМ)
17	Гамма-фон (ИРФ)	мкР/ч	Напряжение	1 мкР/ч
18	Скорость самолета путевая (ДИСС-3А «Стрела»)	км/ч	Резистивный	1 км/ч
19	Скорость самолета воздушная	км/ч	Резистивный	1 км/ч
20	Курс самолета (КС-6К)	град	Напряжение	1 град
21	Угол крена самолета (ЦГВ-4)	град	Резистивный	0,1 град
22	Угол сноса самолета (ДИСС-3А «Стрела»)	град	Резистивный	0,1 град
23	Угол тангажа самолета (ЦГВ-4)	град	Резистивный	0,1 град
24	Скорость ветра	м/с	Напряжение	1 м/с
25	Направление ветра	град	Напряжение	10 град
26	Время по GPS GMT (Garmin GPS-12)	ч/мин/с	Bluetooth	1 с
	Высота полета по (Garmin GPS-12)	м		140 м
	Широта по (Garmin GPS-12)	град		100 м
	Долгота по (Garmin GPS-12)	град		100 м
	Скорость самолета по (Garmin GPS-12)	км/ч		0,1 узла
	Курс самолета по (Garmin GPS-12)	град		1 град

\* Вычисляемая величина.

### Бортовая система сбора данных

Учитывая, что весь информационно-измерительный комплекс устанавливается на самолете перед каждым зондировочным полетом и снимается после его выполнения, система должна обладать компактностью, простотой установки и запуска в работу и при этом иметь достаточную надежность и устойчивость к вибрационным нагрузкам. Также бортовая ИИС должна обладать универсальностью: производить измерения физических параметров различного типа (напряжение, сопротивление, частота и т.д.), легко настраиваться и реконфигурироваться. При добавлении нового прибора в бортовой комплекс не должно возникать потребности в доукомплектовании системы новыми измерительными узлами.

Для решения задачи сбора данных на борту СМЛ Ту-134 «Оптик» была выбрана промышленная ССД фирмы National Instruments. Данная ССД представляет собой мобильную портативную платформу с удобным пользовательским интерфейсом и мощным промышленным контроллером, объединяющую в себе контрольно-измерительные модули самого разного назначения. Область применения платформы можно легко изменить простой реконфигурацией набора стандартных модулей, монтируемых в специальном шасси.

В состав бортовой ИИС СМЛ Ту-134 «Оптик» входят следующие модули *National Instruments*: промышленный контроллер PXI 8101, плата сбора данных PXI 6224, цифровой мультиметр PXI 4070 и мультиплексор-коммутатор PXI 2503. Характеристики встраиваемых модулей приведены на сайте производителя [13]. Блок-схема подключения датчиков и приборов представлена на рис. 2. Номера блоков на рис. 2 приведены согласно табл. 1 и 2.

Модульные приборы (плата сбора данных и мультиметр) соединены с промышленным контроллером общей шиной. PXI – это открытый стандарт, в котором описана надежная промышленная модульная платформа, основанная на базе персонального компьютера.

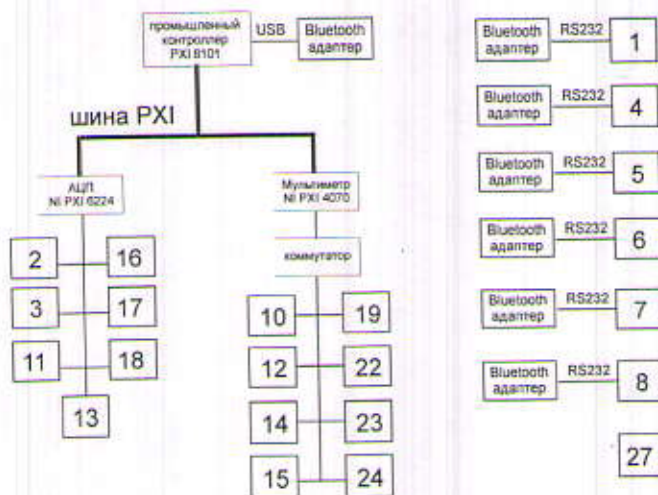


Рис. 2. Блок-схема подключения датчиков и приборов

Платформа оптимизирована для приложений автоматизированного тестирования, измерения и управления. Архитектура PXI включает в себя шасси, в которое устанавливаются модульные приборы, контроллеры или интерфейсы для удаленного управления платформой.

Модули NI PXI 6224 осуществляют сбор данных от научных приборов с выходными сигналами, представленными уровнем напряжения от -10 до +10 В (32 канала, 16 бит). Цифровой мультиметр NI PXI 4070 позволяет измерять выходные сигналы приборов другого типа: сопротивление, частота, емкость и индуктивность. Так как цифровой мультиметр имеет один вход, то для подачи нескольких сигналов используется мультиплексор-коммутатор NI PXI 2503.

Характеристики использованных в системе плат приведены в табл. 3 по данным [13].

Для получения данных от приборов, которые имеют интерфейс RS232, используется беспроводная связь Bluetooth. К промышленному контроллеру NI PXI 8101

### 3. Характеристики измерительных плат

Особенности	NI 6259	NI 6255	NI 6254	NI 6251	NI 6250
Шина	USB, PCI, PXI, PCI Express, PXI Express	PCI, PXI	PCI, PXI	USB, PCI, PXI, PCI Express, PXI Express	PCI, PXI
Аналоговые входы	32 SE/16 DI	80 SE/40 DI	32 SE/16 DI	16 SE/8 DI	16 SE/8 DI
Частота оцифровки сигналов	1,25 МГц/1 МГц**	1,25 МГц/750 кГц**	1,25 МГц/1 МГц**	1,25 МГц/1 МГц**	1,25 МГц**
Разрешение АЦП (бит)	16	16	16	16	16
Встроенное согласование сигналов	-	-	-	-	-
Максимальное входное напряжение (В)	±10	±10	±10	±10	±10
Число входных диапазонов	7	7	7	7	7
Аналоговый запуск	да	да	да	да	да
Аналоговые выходы	4	2	0	2	0
Разрешение ЦАП (бит)	16	16	-	16	-
Максимальная частота работы ЦАП	2,8 МГц	2,8 МГц	-	2,8 МГц	-
Цифровые каналы	48	24	48	24	24
Цифровые каналы с аппаратным тактированием, частота ввода-вывода	32, до 10 МГц	8, до 10 МГц	32, до 10 МГц	8, до 10 МГц	8, до 10 МГц
Количество счетчиков, разрешение (бит), частота (МГц)	2, 32, 80	2, 32, 80	2, 32, 80	2, 32, 80	2, 32, 80

через шину USB подключается *Bluetooth*-адаптер с радиусом действия до 100 м, а к интерфейсам приборов подключается модуль *BT-240-V2*. Этот малогабаритный последовательный *Bluetooth*-адаптер может быть подключен к любому прибору, имеющему стандартный *RS232* разъем последовательного *COM*-порта, что обеспечивает беспроводное соединение с промышленным контроллером и позволяет избежать кабельных соединений, избытком которых страдает бортовая ИИС. Используемый в составе СМЛ *GPS*-навигатор изначально имеет встроенный передатчик *Bluetooth* и не нуждается в дополнительных преобразователях сигнала.

Следует подчеркнуть, что использование технологии *Bluetooth* позволило убрать часть соединительных проводов и, соответственно, разъемов, которые являются «слабым местом» при самолетных измерениях. Значительно сократилось и время, требуемое для монтажа и демонтажа оборудования.

Для измерительного комплекса разработано специальное программное обеспечение. Программное обеспечение совместно с измерительной аппаратной частью позволяет без особых затруднений подключать дополнительные датчики и приборы независимо от того, каким является выходной информативный сигнал (напряжение, сопротивление, частота, токовый выход или цифровой). На рис. 3 представлены некоторые виртуальные панели управления и измерения программного комплекса.

В заключение раздела приведем общую схему измерительного комплекса самолета-лаборатории Ту-134 «Оптик» (рис. 4).



а)



б)

Рис. 3. Виртуальные панели управления и измерения программного комплекса: а – состояние аналоговых входов АЦП; б – панель метеопараметров



Рис. 4. Общая схема измерительного комплекса

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненной работы была разработана бортовая ИИС, основанная на современном стандарте PXI. Все приборы, имеющие интерфейс RS232, подключены к ССД беспроводной связью Bluetooth. В ходе полетов система показала высокую надежность, помехо- и виброустойчивость.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН № 4, программы ОНЗ РАН № 5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН № 35, № 70 и № 131, грантов РФФИ № 11-05-00470, 11-05-00516, 11-05-93116 и 11-05-93118, госконтрактов Минобрнауки № 02.740.11.0674, 14.740.11.0204 и 11.519.11.5009.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Система сбора данных // Сайт Википедия. Свободная энциклопедия. URL: <http://ru.wikipedia.org/wiki/> (дата обращения: 20.03.2012 г.).
2. Белан Б.Д. Самолеты-лаборатории для оптико-метеорологического и экологического зондирования атмосферы // Оптика атмосферы и океана. 1993. Т. 6. № 1. С. 5 – 32.
3. Glaser W. The ARIS-III Data System // Atmos. Technol. 1973. V. 3. № 3. P. 61 – 65.
4. Cramp J.B. The ADARS System // Atmos. Technol. 1973. V. 3. № 3. P. 67 – 69.
5. Kelley N.D. Electra data Management System // Atmos. Technol. 1973. V. 1. № 3. P. 21 – 24.
6. Marengo A., Thouret V., Nedelec P. Measurements of ozone and water vapor by Airbus in-service aircraft: The MOZAIC airborne program, an overview // J. Geophys. Res. 1998. V. 103. № D12. P. 25631 – 25642.
7. Patz H.-W., Volz-Thomas A., Hegglin M.I. In situ comparison of the NO<sub>y</sub> instruments flown in MOZAIC and SPURT // Atmos. Chem. Phys. 2006. V. 6. № 9. P. 2401 – 2410.
8. Cammas J.-P., Volz-Thomas A. The MOZAIC Program (1994 – 2007) // IGACTivities Newsletter. 2007. № 37. P. 10 – 17.
9. Volz-Thomas A. In-service Aircraft for Global Observations – the future // IGACTivities Newsletter. 2007. № 37. P. 18 – 22.
10. Анохин Г.Г., Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Барсук В.Е., Белан Б.Д. и др. Самолет-лаборатория Ту-134 «Оптика» // Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. № 09. С. 805 – 816.
11. Зуев В.Е., Белан Б.Д., Кабанов Д.М., Ковалевский В.К., Лукьянов О.Ю. и др. Самолет-лаборатория Ан-30 «Оптика-Э» для экологических исследований // Оптика атмосферы и океана. 1992. Т. 5. № 10. С. 1012 – 1021.
12. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В. и др. Самолет-лаборатория Ан-30 «Оптика-Э»: 20 лет исследования окружающей среды // Оптика атмосферы и океана. 2009. Т. 22. № 10. С. 950 – 957.
13. Продукты и решения // Сайт National Instruments. URL: <http://russia.ni.com> (дата обращения: 25.03.2012 г.).

УДК 539.4:537.5

Т.В. Фурса (Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск);  
Б.А. Люкшин, Г.Е. Уцын (Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники)  
E-mail: fursa@tpu.ru

## СВЯЗЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТКЛИКА С ХАРАКТЕРИСТИКАМИ УПРУГИХ ВОЛН ПРИ УДАРНОМ ВОЗБУЖДЕНИИ ГЕТЕРОГЕННЫХ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния дефектности на характеристики электрического отклика из цементно-песчаных образцов при ударном возбуждении. Предложена физико-математическая модель электрического отклика на упругое ударное возбуждение пьезоэлектрических гетерогенных материалов. С использованием аппарата механики сплошных сред теоретически рассчитаны параметры электрического сигнала при импульсном воздействии на диэлектрический образец и получена хорошая сходимость с экспериментальными результатами.

**Ключевые слова:** гетерогенные материалы, пьезоэлектрические включения, механоэлектрические преобразования, электрический сигнал, дефектность, математическое моделирование.

T.V. Fursa (National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk);  
B.A. Lukshin, G.E. Utsyn (Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics)

## EXPERIMENTAL AND THEORETICAL STUDY OF THE CHARACTERISTICS OF THE ELECTRICAL SIGNAL WHEN ELASTIC SHOCK EXCITATION OF PIEZOELECTRIC HETEROGENEOUS MATERIALS

Conducted pilot studies on the impact of a defect of the electric response characteristics of plaster-sand samples with a shock excitation are presented in this research. Physico-mathematical model of the electrical signal upon the elastic impact excitation of piezoelectric heterogeneous material is proposed. Using apparatus mechanics theoretically calculated parameters of electric signals with pulse effect on dielectric model and receive a convergence with experimental results.

**Keywords:** heterogeneous materials, piezoelectric, mechanoelectric conversions, electrical signal, defects, mathematical modeling.

Гетерогенные диэлектрические материалы часто используются в конструкциях, где к ним предъявляются высокие требования по надежности, поэтому задача контроля

их структурных и механических характеристик имеет важное практическое значение. Существующие механические и акустические методы контроля обладают невысокой