

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ СТЕНДОВЫХ АКУСТИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. Н. Попов, начальник отдела НПП «МЕРА»

И. А. Потапов, генеральный директор НПП «МЕРА»

Н. Н. Севрюгин, канд. техн. наук, доцент РГАТА им. П. А. Соловьева

Новые виды авиационной техники требуют нового испытательного оборудования, позволяющего с необходимой точностью и достоверностью определять значения параметров работы испытываемого изделия.

С целью возможности проведения испытаний авиационных двигателей нового поколения, их систем, узлов и агрегатов в ЦИАМ создан испытательный стенд, по многим своим возможностям и характеристикам превосходящий отечественные и зарубежные аналоги. Основной вид испытаний на новом стенде – акустические испытания, позволяющие получать помимо необходимых экспериментальных данных о работе объекта испытания большой объем информации о шумах и шумовых эффектах, производимых авиационным двигателем, его узлами и агрегатами. Исследования акустики летательных аппаратов и их составных частей направлены на решение проблемы снижения уровня шума.

Важнейшей составной частью нового испытательного стенда является автоматизированная система управления технологическим процессом испытания, состоящая из информационно-измерительной системы (АИИС) и системы управления. На рис. 1 представлена функциональная схема АИИС. Программное и аппаратное обеспечение АИИС разработано специалистами НПП «МЕРА» (г. Королев, Московская обл.). Анализ рынка предлагаемых услуг в области построения АИИС показал, что комплексная автоматизация испытательного стенда под силу немногим компаниям не только российским, но и зарубежным. НПП «МЕРА» входит в число немногих предприятий, способных создавать современные АИИС.

Целью создания АИИС является автоматизация процессов сбора, регистрации, обработки информации и визуального контроля параметров в режиме "реального времени" при акустических испытаниях.

Для достижения поставленной цели в составе АИИС были разработаны подсистемы, выполняющие необходимые функции. В таблице 1 представлен состав АИИС.

НПП «МЕРА» строит АИИС, отвечающие всем современным требованиям [1], по принципу распределенной многоуровневой системы. На нижнем уровне измерений применяются устройства (станции) сбора данных – измерительно-вычислительные комплексы типа МИС, выступающие в роли измерительного сервера. Измерительные комплексы данного типа, выпускаемые на протяжении ряда лет, зарекомендовали себя, как точные, удобные в эксплуатации и надежные аппаратно-программные средства. Аппаратура МИС, благодаря применению современной элементной базы, модульному построению и унифицированным интерфейсам, легко интегрируется с оборудованием других производителей. Специализированное программное обеспечение измерительного комплекса МИС поддержи-

вадет стандартный протокол обмена данными OPC, а также поддерживает концепцию SCADA –систем. Станции сбора данных осуществляют сбор и хранение измерительных данных, поступающих от нормирующих преобразователей и непосредственно от датчиков, и, в случае необходимости, предоставляют данные на верхний уровень – операторскую станцию (автоматизированное рабочее место оператора).

Верхний уровень реализован на базе компьютеров промышленного исполнения, работающих под управлением ОС Windows®2000 и оснащенных специализированным программным обеспечением для приема и распределения потоков данных с нижнего уровня и наглядного отображения процесса испытаний.

Большим достоинством системы, выводящим ее на лидирующие мировые позиции, является подсистема измерения динамических параметров, охватывающая в настоящее время возможность регистрации свыше 140 динамических процессов одновременно. Наличие станции единого времени позволяет регистрировать параметры объекта в единый момент времени всеми подсистемами.

Важнейшими характеристиками подсистемы измерения динамических параметров являются:

- рабочая полоса частот:
 - 0 ... 98 000 Гц для измерений пульсаций давлений, динамических напряжений и радиальных зазоров;
 - 0 ... 28 000 Гц для измерений вибраций корпусов;
- работа в едином времени с остальными подсистемами;
- развитые средства визуализации в темпе регистрации информации и при послеекспериментальной обработке;
- расчет и отображение скачков уплотнения.

В подсистеме измерения динамических параметров впервые применен набор модулей кондиционеров на базе крейта MIC-036 RXI [2]. В этот крейт может быть установлено до 16 модулей усилителей преобразователей сигналов тензодатчиков ME-320, обладающих следующими характеристиками:

- полная полоса пропускания 0 ... 100 кГц,
- программируемый коэффициент усиления 1 ... 1000,
- неравномерность АЧХ в полной полосе $\pm 0,5$ дБ,
- максимальный уровень синфазной помехи ± 300 В,
- поддержка 8-проводного подключения тензодатчиков,
- наличие функции автобалансировки и др.

Для измерения вибрации лопаток дискретно-фазовым способом используются модули ME-052 – восьмиканальные модули для преобразования сигналов от индуктивных датчиков, ME-405 – для нормализации сигналов емкостных датчиков. Наличие модулей ME-052 и ME-405 в подсистеме измерения динамических параметров позволяет ей быть цифровым аналогом (реализованным на современном уровне) используемого ранее прибора ЭЛУРА разработки ЦИАМ [3].

При измерении вибрации корпусов с помощью пьезоакселерометры MB-43 производства фирмы «Виброприбор» используются усилители-преобразователи пьезоэлектрических датчиков ME-908-1. Наличие искробезопасной входной цепи уровня [Exia]II Сх расширяет сферу применения усилителей ME-908-1.

Эргономические и эстетические требования не оказались вне зоны внимания разработчиков АИИС. Дизайн модулей системы, стоек, приборных шкафов, пультов управления, экранных форм разработан так, чтобы пользователю было не просто удобно, но и приятно работать с системой.

Подсистема измерения акустических параметров является ведущей, рассмотрим ее подробнее.

Наиболее важные факторы, влияющие на распространение шума в общем случае:

- тип источника (точечный или линейный);
- расстояние от источника;
- атмосферное поглощение;
- ветер (при расстоянии менее 50 м до источника влияние незначительно);
- температура и температурные отклонения;
- препятствия в виде барьеров (например, стендовых конструкций);
- поглощение стенами, полом и потолком;
- отражение;
- влажность;
- атмосферные осадки [4].

Для достижения правильного результата, полученного в процессе измерений или расчетов, следует принимать во внимание все указанные факторы, и в созданной подсистеме измерения акустических параметров это учтено.

Определяющим параметром при исследовании шума является уровень звукового давления. Типичные уровни звукового давления логарифмической шкалы показаны в таблице 2. Это интегральные значения, полученные усреднением по всему слышимому диапазону частот.

При проведении измерений предполагается, что шум является случайным процессом и описывается стохастическими уравнениями.

Существенное влияние на субъективное восприятие шума имеет тип шума. Различают следующие типы шумов:

- непрерывный шум;
- неустойчивый шум;
- импульсный шум;
- тоны в шуме (разбалансировка или циркулярное биение приводят к вибрации, которая, передаваясь через поверхность изделия в воздух, различима в виде тонов);
- низкочастотный шум (обладает существенной акустической энергией в частотном диапазоне от 8 до 100 Гц и раздражает человека гораздо больше, чем можно было ожидать по уровню звукового давления).

Послеэкспериментальная обработка данных акустических испытаний позволяет определять тип шума в разное время при различных режимах работы изделия.

Таблица 2 – Типичные уровни звукового давления

| Уровень, дБ | Уровень СКЗ, Па | Примечание (источник звука) |
|-------------|-----------------|-----------------------------|
|-------------|-----------------|-----------------------------|

| | | |
|--------|------------------------|---|
| 0 | $2 \cdot 10^{-5}$ | порог чувствительности человеческого слуха |
| 25 | $3,56 \cdot 10^{-4}$ | студия радиовещания |
| 35 | $1,125 \cdot 10^{-3}$ | территория жилого района ночью |
| 43 | $2,825 \cdot 10^{-3}$ | городская квартира |
| 50 | $6,325 \cdot 10^{-3}$ | офис |
| 63 | $2,825 \cdot 10^{-2}$ | бухгалтерия |
| 78 | $1,589 \cdot 10^{-1}$ | машинописное бюро |
| 85 | $3,557 \cdot 10^{-1}$ | в автомобиле при движении в потоке транспорта |
| 95 | 1,12468 | в вагоне метро |
| 105 | 3,557 | прядильно-ткацкий цех |
| 115 | $1,125 \cdot 10^1$ | машинное отделение на судне |
| 124 | $3,169 \cdot 10^1$ | уровень от пистонфона ¹ В&К |
| 125 | $3,557 \cdot 10^1$ | штамповочный цех |
| 150 | $6,32 \cdot 10^2$ | выше болевого порога |
| 154 | $1 \cdot 10^3$ | реактивный самолет |
| 193,97 | $1 \cdot 10^5$ (1 бар) | достижимо только при повышенных атмосферных давлениях |

Подсистема измерения акустических параметров обладает следующими характеристиками:

- возможность регистрации параметров с частотой дискретизации до 216 кГц/канал по 24 каналам одновременно;
- автоматическое управление параметрами усилителей V&K Nexus;
- просмотр в темпе регистрации информации в виде осциллограмм, узкополосных и 1/3-октавных спектров. На рис. 2 представлена экранная форма, содержащая графический вид 1/3-октавного спектра;
- учет системной и микрофонной поправок;
- наличие фильтров с характеристиками А, В;
- автоматический учет метеорологических параметров.

На рис. 3 представлена схема прохождения информационных сигналов при работе подсистемы измерения акустических параметров.

Таким образом, подсистема измерения акустических параметров позволяет решать задачи:

- проведение стендовых измерений;
- оценка шума от определенных источников;
- расчет уровней шума;
- составление карты уровней шума;
- архивация данных;
- подготовка отчетов для экспертов.

В соответствии с международным стандартом [5] в отчет необходимо включать информацию:

- результаты измерений;
- методы измерений;
- типы измерительных приборов;

¹ Пистонфон - малогабаритный прибор, являющийся высокоточным опорным источником звука

- атмосферные условия;
- изменчивость источника шума;
- данные калибровки;
- дата, проведения измерений;
- использованное оборудование (с указанием серийных номеров);
- карта с обозначением местоположения источников шума, соответствующих объектов и наблюдательных точек и другие сведения.

Программное обеспечение подсистемы измерения акустических параметров разработано с учетом требования также и последнего пункта вышеприведенного списка необходимой информации, включаемой в отчет. На рис. 4 показано поле, содержащее 128 узлов для размещения микрофонов. Позиции этих узлов выбраны в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми Заказчиком к испытаниям. Дополнительный – 129-й узел имеется в пистонфоне. Еще 24 узла, расположенные вне рабочей зоны, служат для хранения неиспользуемых микрофонов. Кроме того, эта экранная форма имеет два окна, позволяющие охарактеризовать текущую конфигурацию микрофонов. Например, при расположении микрофонов на одной дуге конфигурация будет охарактеризована как "Arc" с определенным расстоянием от источника звука в сантиметрах.

Для анализа данных, полученных в результате испытаний, исследователь может выбрать один из вариантов:

1. Узкополосный анализ 0...20 кГц.
2. Узкополосный анализ 0...50 кГц.
3. Третьоктавный спектр 50 Гц...80 кГц.

В заключение следует отметить, что единое программное обеспечение и унифицированные форматы данных облегчают освоение системы конечными пользователями. Открытая модульная структура комплекса позволяет практически неограниченно наращивать мощность системы, а многоуровневая архитектура построения программных и аппаратных средств повышает надежность системы в целом, облегчает поиск возможных неисправностей в процессе эксплуатации.

Литература

1. А. Попов. Создание комплексной системы для испытания авиационных двигателей // Двигатель, № 5 (41), – 2005, – С. 4.
2. <http://nppmera.ru> .
3. Заболоцкий И. Е., Коростелев Ю. А., Шипов Р. А. Бесконтактные измерения колебаний лопаток турбомашин. М.: Машиностроение. – 1977. – 160с.
4. Шум окружающей среды. М.: РИА «Стандарты и качество». – 2002. – 82с.
5. ISO 9614-1:1993(E). Acoustics – Determination of sound power levels of noise using sound intensity – Part 1: Measurement at discrete points. – 1993. – 22p.

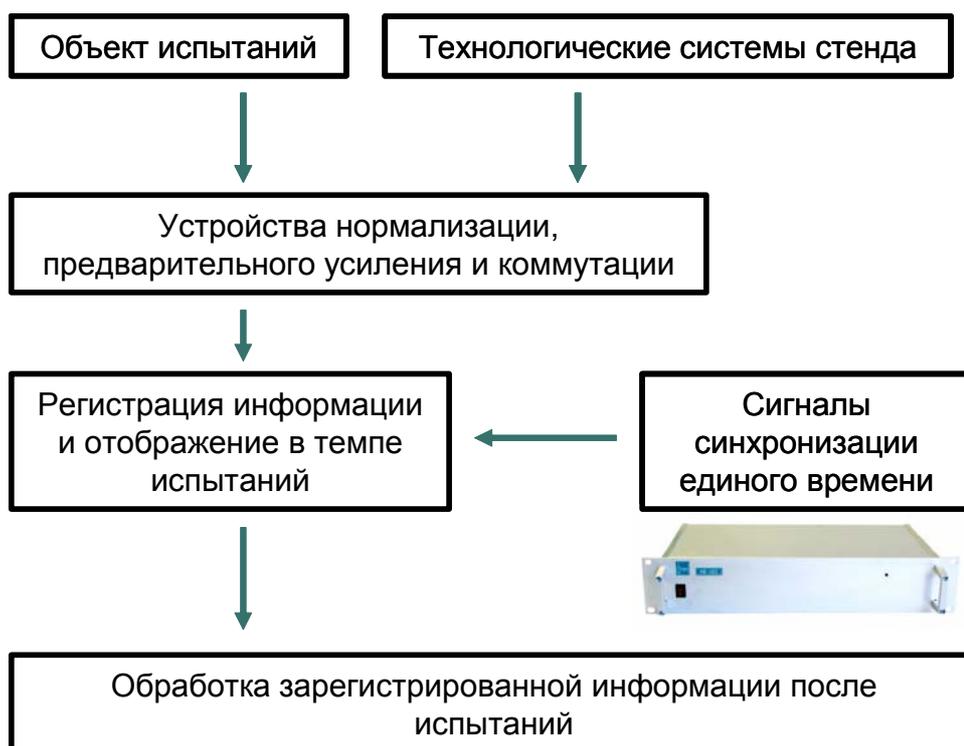


Рис. 1 – Функциональная схема АСУТП

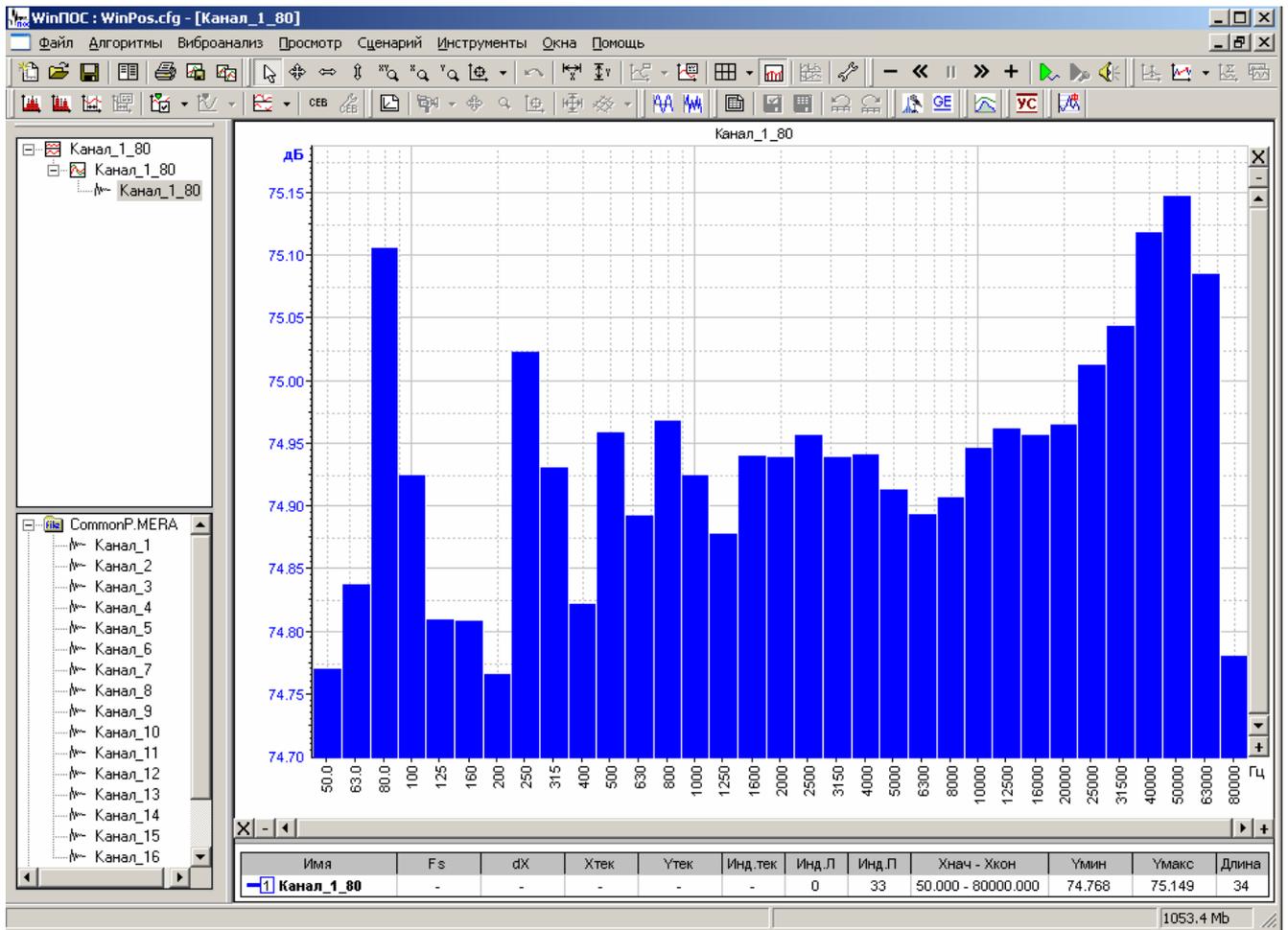


Рис. 2 – Графическое представление 1/3-октавного спектра



Рис. 3 – Схема прохождения информационных сигналов при акустических испытаниях

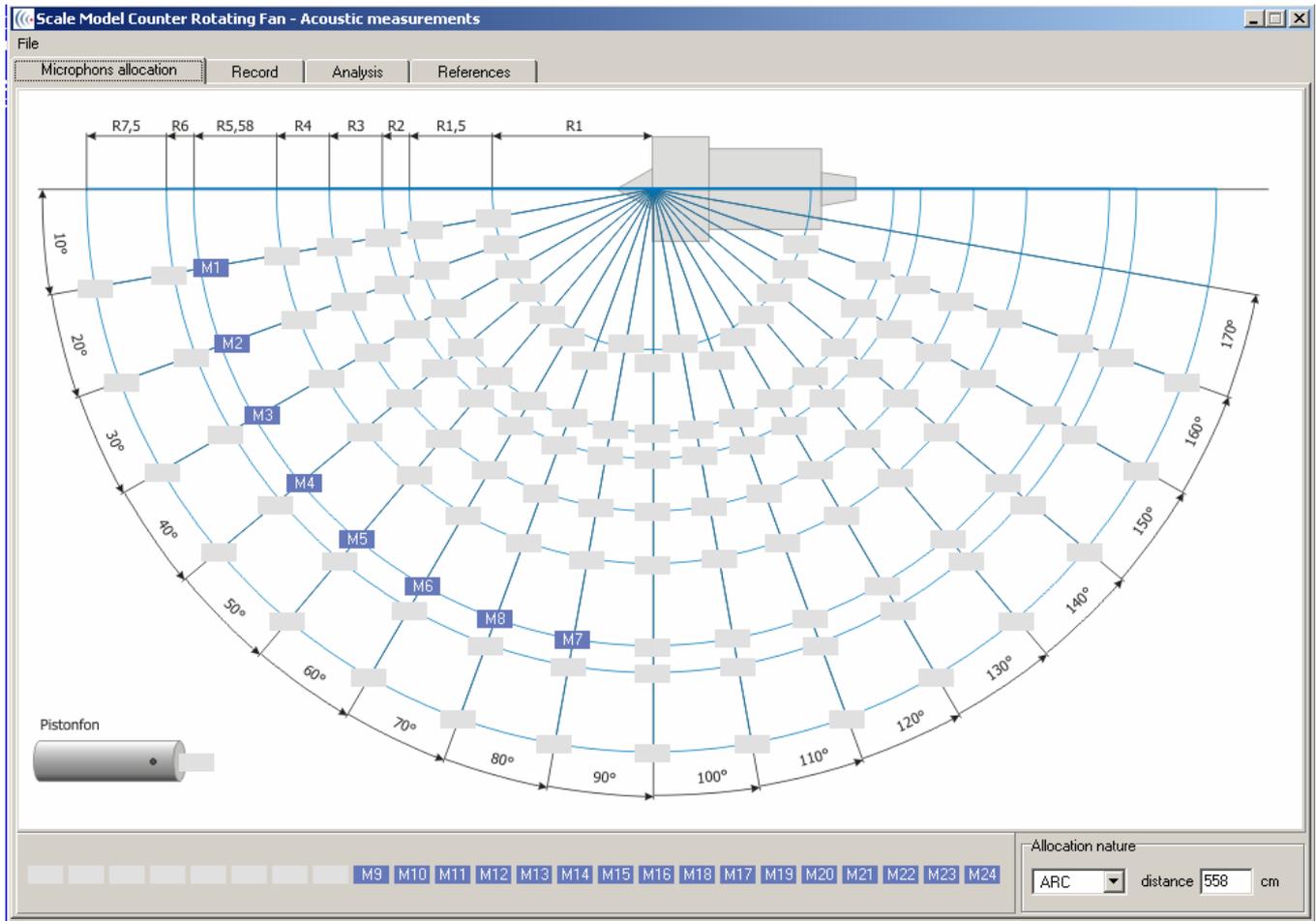


Рис.4 – Вид закладки окна ShellAcoustics с размещением микрофонов

Таблица 1 – Состав АИИС

| | № | Название подсистемы | Кол-во каналов | Датчики | Согласующие устройства | Регистрирующая система | Рабочая полоса частот, Гц | Погрешность канала, % |
|----|---|---|----------------|--|---|------------------------|---------------------------|-----------------------|
| 1. | 1 | Подсистема измерений пульсаций давлений | 72 | Kulite XSE-062 | Усилитель-преобразователь тензосигнала ME-320 | MIC-300M-200 | 0...98000 | ±1* |
| | 2 | Подсистема измерений радиальных зазоров | 8 | Индуктивные датчики | Усилитель-формирователь сигналов ME-404 | MIC-300M-200 | 0...98000 | ±5* (0,05 мм) |
| | 3 | Подсистема измерений динамических напряжений лопаток | 16 | Одиночные пленочные тензометры, токо-съемник Aerodyn Engineering Inc | Усилитель-преобразователь тензосигнала ME-320 | MIC-300M-200 | 0...98000 | ±1* |
| | 4 | Подсистема измерений динамических напряжений лопаток с радиотелеметрической системы | 16 | Одиночные пленочные тензометры | Радиотелеметрическая система Data Tell | MIC-300M-200 | 0...98000 | ±1* |
| | 5 | Подсистема измерений вибрации корпусов | 14 | Пьезоакселерометры MB-43 «Виброприбор» | Усилитель-преобразователь пьезоэлектрических датчиков ME-908-1 | MIC-300M-200 | 0...28000 | ±2* |
| | 6 | Подсистема измерений вибрации лопаток дискретно-фазовым способом | 16 | Периферийные емкостные датчики | Модули нормализации сигналов ME-405 и ME-052 | MIC-300M-ДФМ | 0...28000 | ±2* |
| 2. | 1 | Подсистема измерений давлений | 460 | Сканеры давления ESP-32HD | Преобразователи DTCNet | Станция сбора данных | 0...50 | ±0,12 |
| | 2 | Подсистема измерений температур | 260 | Термопары хромель-капель | Комплекс MIC-036 | Станция сбора данных | 0...10 | ±0,13** |
| | 3 | Подсистема измерений частоты вращения | 8 | Отметчики оборотов | Усилитель-формирователь сигналов ME-402 | Станция сбора данных | 0...98000 | ±0,001 |
| 3. | | Подсистема измерения акустических параметров | 24 | Микрофон В&К 4939 | Предварительный усилитель В&К 2670, Микрофонный кондиционирующий усилитель NEXUS 2690 A 0S2 | MIC-300M-200 | 0...98000 | ±0,2*** |

* - без учета датчика; ** - с учетом компенсации холодного спая, без учета термопары; *** - без учета микрофона и усилителей