

## ОПИСАНИЕ ТИПА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Система автоматизированная измерения, управления и обработки параметров газотурбинных двигателей «ПАРУС-М9» (АС «ПАРУС-М9»)

### Назначение средства измерений

Система автоматизированная измерения, управления и обработки параметров газотурбинных двигателей «ПАРУС-М9» (АС «ПАРУС-М9») (далее – Система) предназначена для измерений параметров газотурбинных двигателей (ГТД): частоты вращения ротора, температуры, избыточного давления и разности давлений жидкостей и газов, массового расхода топлива, параметров вибрации при проведении испытаний на испытательном стенде № 9.

### Описание средства измерений

Архитектура построения Системы – многоуровневая.

Нижний уровень Системы состоит из первичных измерительных преобразователей (ПИП), а так же станций сбора данных (ССД), предназначенных для измерения и регистрации параметров испытуемого изделия и технологического оборудования, выдачи управляющих сигналов на исполнительные устройства стендовых систем по заранее заданным алгоритмам.

Верхний уровень Системы – это:

- сервера сбора данных, предназначенные для приема и объединения информационных потоков от ССД, обработки и регистрации параметров, передачи и хранения полученных данных, выдачи управляющих команд в ССД для выполнения заданных функций;
- автоматизированные рабочие места (АРМ) персонала, предназначенные для обработки полученных данных, визуализации значений параметров на экране мониторов, записи на диск.

Принцип действия Системы основан на:

- преобразовании измеряемых физических величин (массового расхода топлива, давления газов и жидкостей, вибрации корпусов двигателя) в электрические сигналы при помощи ПИП;
- преобразовании электрических сигналов датчиков в цифровой код и вычисление значений измеряемых физических величин комплексами измерительно-вычислительными типа МИС (Госреестр № 20859-09) исполнения МИС-036R, комплексами измерительными магистрально-модульными типа МИС-М (Госреестр № 46517-11), НПП “Мера”;
- передачи результатов измерений по сети Ethernet от ССД на верхний уровень Системы;
- регистрации результатов измерений параметров на диске с одновременным выводом их на мониторах Системы.

Обмен информацией и командами между ССД, серверами и операторскими станциями АРМ, входящими в состав Системы, осуществляется по вычислительной сети Ethernet.

Программное взаимодействие между ССД и серверами в сети осуществляется посредством стандартного протокола OPC (OLE for Process Control).

Система является изделием с переменным составом измерительных каналов, который определяется исходя из поставленной измерительной задачи. В состав системы входят следующие измерительные каналы:

- частоты вращения роторов;
- массового расхода топлива;
- давлений воздуха (газов) и жидкости;

- температуры воздуха (газов) с применением термоэлектрических преобразователей ТХА и ТХК;
- температуры воздуха, жидкости с применением термопреобразователей сопротивления с номинальными статическими характеристиками Pt100, 100П, 100М;
- виброскорости (виброускорения) корпусов двигателя.

Конструктивно Система представляет собой стойки с аппаратурой, соединённые через кроссовые шкафы с датчиками физических величин, расположенными на испытуемом изделии и стендовом оборудовании.

Система работает следующим образом.

Принцип измерения частоты вращения роторов основан на законе электромагнитной индукции. Вращение ротора ГТД через редуктор передается к индуктору, “зубья” которого, при прохождении в непосредственной близости от торца постоянного магнита датчика типа ДЧВ-2500 (ДЧВ-18М), установленного непосредственно на испытуемом изделии, изменяют магнитный поток его сердечника и наводят ЭДС индукции в обмотках. На выходе датчика генерируется напряжение с частотой, пропорциональной частоте вращения ротора ГТД. Электрический сигнал датчика частоты вращения поступает на вход Системы, которая нормирует импульсы сигнала по амплитуде и форме, преобразует частоту импульсных сигналов в цифровой код и вычисляет ее значение, а затем по формуле вычисления физической величины – значение частоты вращения ротора.

Измерение массового расхода топлива осуществляется с помощью расходомеров массовых типа ProMass-83F (Госреестр № 37000-08). Принцип измерения массового расхода топлива основан на управляемом возбуждении сил Кориолиса. Эти силы всегда возникают в системе, в которой одновременно присутствуют поступательное и вращательное движения. Величина силы Кориолиса зависит от движущейся массы, скорости ее перемещения и, следовательно, массового расхода. Вместо постоянной угловой скорости в расходомере Promass реализуется колебательное движение. В расходомерах массовых типа ProMass-83F две параллельные измерительные трубки с перемещающейся средой колеблются в противофазе. Возникающие в измерительных трубках силы Кориолиса приводят к фазовому сдвигу в колебаниях трубки: при нулевом расходе (среда неподвижна), трубки колеблются синфазно; перемещение среды приводит к замедлению колебания трубки на входе и ускорению на выходе. Разность фаз увеличивается по мере увеличения массового расхода. Электродинамические датчики регистрируют колебания трубок на входе и выходе. Равновесие системы обеспечивается за счет колебания двух измерительных трубок в противофазе. В качестве выходных сигналов используются импульсные сигналы с частотой, пропорциональной массовому расходу топлива. Система нормирует импульсы сигнала по амплитуде и форме, преобразует частоту импульсных сигналов в цифровой код и вычисляет ее значение, а затем по формуле вычисления физической величины – значение массового расхода топлива.

В измерительных каналах давления воздуха (газов) и жидкостей преобразование измеряемых физических величин в унифицированный сигнал постоянного тока осуществляется с помощью датчиков давления типа РПГ-08 (Госреестр № 32045-06), преобразователей давления измерительных типа APC-2000PD, APR-2000PD (Госреестр № 48825-12). Принцип действия указанных измерительных каналов основан на зависимости выходного сигнала постоянного тока датчиков давления от воздействия измеряемого давления на чувствительный элемент датчика. Выходной сигнал датчика поступает на вход комплекса типа МПС. Система преобразует силу постоянного тока в цифровой код, вычисляется значение силы, а затем по индивидуальной функции преобразования измерительного канала – значение измеряемого давления.

Для измерения давления воздуха (газов) применяется также интеллектуальный сканер давления модели 9116 системы NetScanner (далее – NS 9116), фирмы Pressure Systems Incorporated, который представляет собой полностью автономное многоканальное устройство измерения дифференциального давления. С выхода NS 9116 информация с результатами измерения давлений передается по протоколу Ethernet через блок коммутационный МБР на ССД, где обрабатывается с помощью программного обеспечения Recorder.

Принцип действия измерительных каналов температуры воздуха (газов) и жидкостей заключается в преобразовании электрических аналоговых сигналов, поступающих от термоэлектрических преобразователей (ТП) и термопреобразователей сопротивления (ТС), в цифровой код и дальнейшей их обработке с помощью программного обеспечения Recorder.

Преобразование выходного сигнала ТП основано на зависимости термоэлектродвижущей силы (ТЭДС) термопары от разности температур между «горячими» и «холодными» спаями. Измерение ТЭДС, температуры «холодного» спая ТП осуществляется с помощью комплексов типа МИС-М исполнения МИС-140.

Преобразование выходного сигнала ТС основано на зависимости изменения сопротивления ТС от температуры среды. Сигнал, пропорциональный изменению сопротивления, поступает на вход Системы, в котором преобразуется в цифровой код и вычисляется значение сопротивления, а затем по номинальной статической характеристике преобразования ТС типов Pt100, 100П, 100М – значение температуры.

Принцип действия измерительного канала виброскорости (виброускорения) основан на использовании вибропреобразователей типа МВ-43 (Госреестр № 16985-08), преобразующих механические колебания корпусов ГТД в электрический заряд, пропорциональный виброускорению. Электрические заряды переменной частоты от вибропреобразователя поступают на вход комплекса типа МИС-М исполнения МИС-236 и преобразуются с помощью усилителя заряда в напряжение. Выходное напряжение усилителя заряда, пропорциональное виброускорению корпуса ГТД, импульсные сигналы от датчиков частоты вращения с частотой, пропорциональные частоте вращения роторов ГТД, поступают на вход комплекса типа МИС-М исполнения МИС-553 РХ1 и преобразуются в цифровой код. Система с помощью программного обеспечения MR-300 вычисляет значения амплитуды измеряемых напряжений, а затем с учетом индивидуальных характеристик измерительных каналов:

- амплитудное значение виброускорения корпуса двигателя;
- частота оборотов роторов двигателя в секунду;
- амплитудное значение виброскорости корпуса двигателя в привязке к частотам вращения его роторов.

### **Программное обеспечение**

Программное обеспечение Системы включает общее программное обеспечение и специальное программное обеспечение.

В состав общего программного обеспечения входит операционная система MS Windows XP/Vista.

В состав специального программного обеспечения входят:

- “Recorder” – программа для проведения измерений медленноменяющихся сигналов;
- “MR-300” – программа для проведения измерений динамических сигналов;
- “rcPanel” – программа пульта управления испытаниями;
- “Парус-WIN” – пакет программ подготовки и проведения испытания (ПО клиентской части Системы).

Метрологически значимой частью специального ПО является метрологический модуль, имеющий следующие характеристики.

Идентификационные данные (признаки)	Значение
Идентификационное наименование ПО	Recorder (scales.dll)
Номер версии (идентификационный номер ПО)	1.0.0.8
Цифровой идентификатор ПО	24СВС163
Другие идентификационные данные	–

Уровень защиты программного обеспечения от преднамеренных изменений соответствует уровню «высокий» согласно Р 50.2.077-2014.

### Метрологические и технические характеристики

Диапазоны измерений и значения пределов погрешностей измерительных каналов Системы приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Метрологические характеристики

Наименование измеряемого параметра	Количество измерительных каналов	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности измерений
Частота вращения ротора, об/мин	1	от 3400 до 17000	$\pm 0,1 \%$ (относительная)
Массовый расход топлива, кг/ч	1	от 0 до 5100	$\pm 0,3 \%$ (приведенная к $0,5 \cdot Y_{\max}$ ) в диапазоне измерений от 0 до $0,5 \cdot Y_{\max}$ $\pm 0,3 \%$ (относительная) в диапазоне измерений от $0,5 \cdot Y_{\max}$ до $Y_{\max}$
Температура воздуха (газов) по тракту ГТД, °С	до 96	от минус 40 до плюс 1300	$\pm 1,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (абсолютная)
	до 14	от минус 40 до плюс 50	$\pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ (абсолютная)
Температура рабочих жидкостей (топлива, масла), °С	до 16	от минус 50 до плюс 250	$\pm 0,3 \text{ }^\circ\text{C}$ (абсолютная)
Избыточное давление-разряжение воздуха (газов) по тракту ГТД, кгс/см <sup>2</sup>	до 200	от минус 0,25 до плюс 45	$\pm 0,2 \%$ (приведенная к $0,5 \cdot Y_{\max}$ ) в диапазоне измерений от 0 до $0,5 \cdot Y_{\max}$ $\pm 0,2 \%$ (относительная) в диапазоне измерений от $0,5 \cdot Y_{\max}$ до $Y_{\max}$

Наименование измеряемого параметра	Количество измерительных каналов	Диапазон измерений	Пределы допускаемой погрешности измерений
Разность давлений воздуха, мм вод. ст.	до 150	от минус 1700 до 0	$\pm 2$ мм вод. ст. (абсолютная)
Избыточное давление жидкостей (масла, топлива), кгс/см <sup>2</sup>	до 32	от 0 до 100	$\pm 1,0$ % (приведенная к диапазону измерений)
Виброскорость корпусов и деталей ГТД (при вибрациях с частотами роторов), мм/с	4	от 0 до 100	по амплитуде $\pm (10,0 - 12,0)$ % (приведенная к диапазону измерений)
Примечание - $Y_{max}$ – значение величины диапазона измерений.			

Технические характеристики приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Технические характеристики

Наименование характеристики	Значение характеристики
Напряжение питания от сети переменного тока частотой $(50 \pm 1)$ Гц, В	от 187 до 242
Потребляемая мощность, ВА, не более	6000
Условия эксплуатации в кабине наблюдения и управления: - температура окружающего воздуха, °С - относительная влажность воздуха при температуре 25 °С, % - атмосферное давление, мм рт. ст.	от 15 до 30 до 80 от 700 до 800
Условия эксплуатации в закрытом испытательном боксе: - температура окружающего воздуха, °С - относительная влажность воздуха при температуре 25 °С - атмосферное давление, мм рт. ст.	от минус 40 до 50 до 100 % от 700 до 800

### Знак утверждения типа

Знак утверждения типа наносится на эксплуатационную документацию типографским способом.

### Комплектность средства измерений

Комплектность средства измерений приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Комплектность Системы

№ п/п	Наименование	Кол-во, шт.	Примечания
1	Сервер сбора данных	1	
2	Станция сбора данных	4	
3	Расходомерный комплект ProMass-83F, Endress+Hauser GmbH+Co. Instruments Internationalt, Германия	1	
4	Сканер давления модели 9116 системы NetScanner™, фирмы Pressure Systems Incorporated	до 18	Серийные номера: 6246, 6262, 6269, 6300, 6303, 6304, 6305, 6310, 6312, 6703, 7229, 7231, 7237, 7240, 7255, 7263, 7265, 7266
5	Датчики давления типа APC-2000PD, «APLISENS» S.A., Польша	до 85	
6	Датчики разности давлений типа APR-2000PD, «APLISENS» S.A., Польша	до 85	
7	Датчик избыточного давления типа РПГ-08-И, ООО "Сенсор", г. Москва	до 32	
8	Измерительно-вычислительный комплекс типа МІС-036R, НПП "Мера", г. Мытищи	до 4	
9	Комплекс измерения температур магистрально-модульный типа МІС-140, НПП "Мера", г. Мытищи	до 9	
10	Комплекс измерительный магистрально-модульный типа МІС-553 РХІ, НПП "Мера", г. Мытищи	1	
11	Комплекс измерительный магистрально-модульный типа МІС-236, НПП "Мера", г. Мытищи	1	
12	Сетевой сервер LANTIME, фирмы "Meinberg"(Германия)	1	
13	Блок синхронизации ME-020B, НПП "Мера", г. Мытищи	2	
14	Блок питания постоянного тока БП96/24-1/600 DIN, НПО "Элемер", г. Москва, г. Зеленоград	до 35	
15	Распределительный блок МБР, НПП "Мера", г. Мытищи	2	
16	Переключатель 8 портовый KVM ADDERView 8 PRO DVI, фирмы ADDER, Китай	1	
17	Источник бесперебойного питания 220 В	9	
18	Коммутатор Ethernet	6	
19	Системный шкаф DK 7820 710, фирмы Rittal, Германия	7	
20	Кроссовый шкаф TS 8, фирмы Rittal, Германия	2	
21	Программа для проведения измерений медленноменяющихся сигналов "Recorder", НПП "Мера", г. Мытищи	1	
22	Программа для проведения измерений динамических сигналов "MR-300", НПП "Мера", г. Мытищи	1	

23	Пакет программ подготовки и проведения испытаний, «ПАРУС-WIN», ОАО «Авиадвигатель», г. Пермь	1	
24	Комплект эксплуатационной документации	1	
25	Методика поверки	1	

### Поверка

Поверка Системы проводится в соответствии с документом МП 60276-15 «Система автоматизированная информационно-измерительная управления и обработки параметров газотурбинных двигателей «ПАРУС-М9» (АС «ПАРУС-М9»). Методика поверки», утвержденной ФБУ «Пермский ЦСМ» 10.10.2014 и входящей в комплект поставки.

Средства поверки приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Средства поверки Системы

Наименование и тип	Диапазон измерений	Класс точности, пределы допускаемой погрешности
Микроманометр МКВ–250	от минус 250 до 250 мм вод. ст.	КТ 0,02
Задатчик избыточного давления «Воздух–2,5»	от 0,01 до 2,5 кгс/см <sup>2</sup>	КТ 0,02
Манометр избыточного давления грузопоршневой МП-6	от 0,1 до 6 кгс/см <sup>2</sup>	КТ 0,05
Манометр избыточного давления грузопоршневой МП-60	от 1 до 60 кгс/см <sup>2</sup>	КТ 0,05
Манометр избыточного давления грузопоршневой МП-600	от 10 до 600 кгс/см <sup>2</sup>	КТ 0,05
Калибратор давления пневматический «Метран 504 Воздух-II»	от 0,4 до 10 кгс/см <sup>2</sup>	КТ 0,02
Калибратор давления пневматический «Метран 504 Воздух-I»	от 3 до 400 кПа	КТ 0,02
Калибратор давления пневматический «Метран 505 Воздух»	от 0,02 до 40 кПа	КТ 0,02
Калибратор давления пневматический «Fluke RUSKA 7250I»	от 0 до 100 кгс/см <sup>2</sup>	КТ 0,015
Магазин сопротивлений P4831	от 0,01 до 111111,11 Ом	КТ 0,02
Портативный калибратор давления «Метран-517»	от 0 до 22 мА	ПГ ± (0,0075 % ИВ + 0,0005 мА)
Калибратор многофункциональный TRX-III	от 0 до 20 мА	ПГ ± 0,05 %
Калибратор-измеритель унифицированных сигналов эталонный ИКСУ-2000	от минус 10 до 100 мВ	ПГ ± (7·10 <sup>-5</sup> · U  + 3) мкВ
Генератор сигналов низкочастотный прецизионный ГЗ-122	от 0,001 до 1999999,999 Гц	ПГ ± 5·10 <sup>-7</sup>

<p>Универсальный калибратор-вольтметр В1-28.</p>	<p>Диапазоны воспроизведения напряжения переменного тока: 0,1; 1,0; 10,0 В. Диапазоны воспроизведения напряжения постоянного тока: 10,0; 100,0; 1000,0 В.</p>	<p>Пределы допускаемой основной погрешности генерации напряжения переменного тока <math>\pm</math> (% от U + % от Uк) : 0,06 + 0,02 (диапазон 0,1 В); 0,06 + 0,01 (диапазон 1,0 В); 0,06 + 0,005 (диапазон 10,0 В), где U – воспроизводимое значение напряжения, Uк – верхний предел установленного диапазона. Пределы допускаемой основной погрешности выдачи напряжения постоянного тока <math>\pm</math> (% от U + % от Uк): 0,003 + 0,003 (диапазон 10 В); 0,004 + 0,003 (диапазон 100 В); 0,0044 + 0,001 (диапазон 1000 В), где U – воспроизводимое значение напряжения, Uк – верхний предел установленного диапазона.</p>
<p>Вибратор калибровочный портативный 9100D</p>	<p>Амплитудный диапазон виброускорений (на 100 Гц) от 0 до 196 м/с<sup>2</sup>, диапазон частот от 7 до 10000 Гц</p>	<p>Расширенная неопределенность (k=2, p=0,95) измерения виброускорения в диапазонах частот: (30 – 2000) Гц, ПГ <math>\pm</math> 3,0 %, (7 – 10000) Гц, ПГ <math>\pm</math> 15 %</p>
<p>Мера электрической емкости Р597/7</p>	<p>1000 пФ</p>	<p>КТ 0,05</p>



Термометр ртутный стеклянный	от 0 до 55 °С	Цена деления не более 1 °С, метрологические характеристики согласно ГОСТ 28498-90
Гигрометр психрометрический ВИТ-2	(16 – 40) °С (10 – 100) %	ПГ ± 0, ПГ ± 6 %
Измеритель давления специальный ИДС-1-1	(700 – 800) мм рт. ст.	ПГ ± 0,35 мм рт. ст.

#### **Сведения о методиках (методах) измерений**

Методика (метод) измерений содержится в руководстве по эксплуатации на Комплексы измерительно-вычислительные типа «МИС», Комплексы измерительные магистрально-модульные типа «МИС-М».

#### **Нормативные документы устанавливающие требования к системе автоматизированной измерения, управления и обработки параметров газотурбинных двигателей «ПАРУС-М9» (АС «ПАРУС-М9»)**

- 1 ГОСТ 8.596-2002 «ГСИ. Метрологическое обеспечение измерительных систем. Основные положения».
- 2 ОСТ 1 01021-93. «Отраслевой стандарт. Стенды испытательные авиационных газотурбинных двигателей. Общие требования».
- 3 Комплекс измерительно-вычислительный типа «МИС». Руководство по эксплуатации.
- 4 Комплекс измерительный магистрально-модульный типа «МИС-М». Руководство по эксплуатации.

#### **Рекомендации по областям применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений**

при выполнении работ по оценке соответствия продукции и иных объектов обязательным требованиям в соответствии с законодательством Российской Федерации о техническом регулировании.

#### **Изготовитель**

Открытое акционерное общество «Авиадвигатель» (ОАО «Авиадвигатель»)  
Адрес: проспект Комсомольский, 93, город Пермь, Российская Федерация, 614990.  
Телефон (342) 240-97-91, факс (342) 240-97-13, E-mail: [office@avid.ru](mailto:office@avid.ru).

#### **Заявитель**

Закрытое акционерное общество «ЭЛЛИПС» (ЗАО «ЭЛЛИПС»)  
Адрес: ул. Куйбышева, 2, город Пермь, Российская Федерация, 614000.  
Телефон (342) 271-77-81, факс (342) 211-40-79, E-mail: [web@ellips.ru](mailto:web@ellips.ru).

**Испытательный центр**

ГЦИ СИ Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в Пермском крае» (ГЦИ СИ ФБУ «Пермский ЦСМ»).

614068, город Пермь, улица Борчанинова, 85, телефон (342) 236-31-00, факс 236-23-46,  
E-mail: pcsm@permcsm.ru

Аттестат аккредитации ГЦИ СИ ФБУ «Пермский ЦСМ» по проведению испытаний средств измерений в целях утверждения типа № 30128-11 от 01.09.2011 г.

Заместитель Руководителя Федерального агентства  
по техническому регулированию и метрологии

С.С. Голубев

М.п.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2015 г.