



Федеральное государственное унитарное предприятие
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени профессора Н.Е. Жуковского»

ОТДЕЛЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ
И МЕТРОЛОГИИ



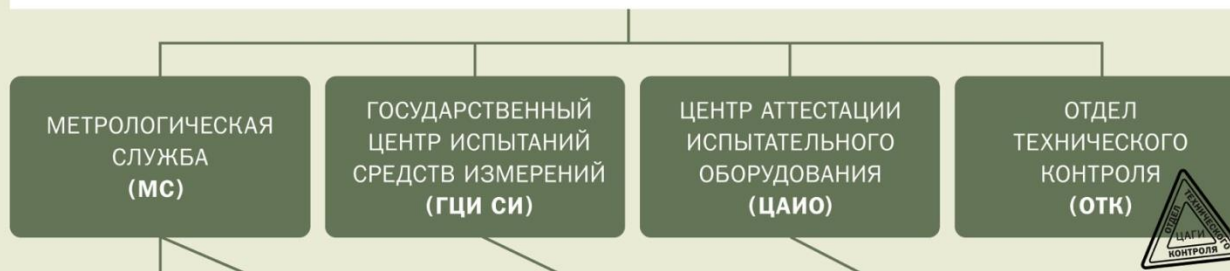
НИО-7

Метрологическое обеспечение единства и достоверности измерений при экспериментальных исследованиях ЛА

Докладчик: Самойленко А.И.

Метрологический комплекс ЦАГИ — основа для создания отраслевого центра коллективного пользования

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ОСНОВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА И ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ



ПРАВОВАЯ ОСНОВА — АТТЕСТАТЫ АККРЕДИТАЦИИ РОССТАНДАРТА



Право поверки
и калибровки 87 типов
средств измерений,
в том числе 14 типов
уникальных СИ

Право аттестации методик
(методов) измерений
и метрологической
экспертизы технической
документации

Право
сертификационных
испытаний средств
измерений
по 5 видам

Право
аттестации
14 видов
испытательного
оборудования

ТЕХНИЧЕСКАЯ ОСНОВА — БАЗА ИСХОДНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ

Метрологическая служба ЦАГИ

Поверка и калибровка 87 типов СИ,
в том числе 14 типов для отраслевых нужд:

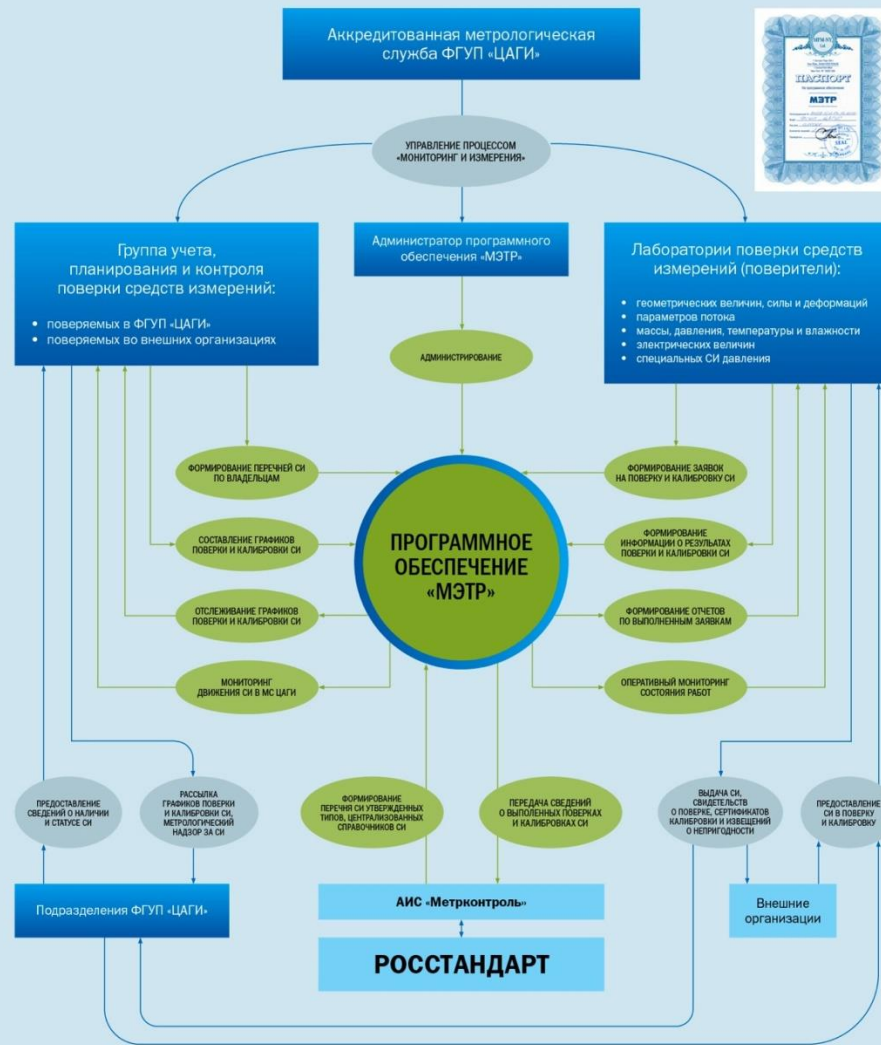
- Датчики силоизмерительные и тензорезисторы.
- Многоточечные преобразователи давления.
- Весы аэродинамические тензометрические и механические.
- Тензометрическая аппаратура и тензокалибраторы
- Специализированные измерительно-вычислительные комплексы и системы.
- Установки аэродинамические измерительные (аэродинамические трубы).



Метрологические характеристики области аккредитации МС ЦАГИ

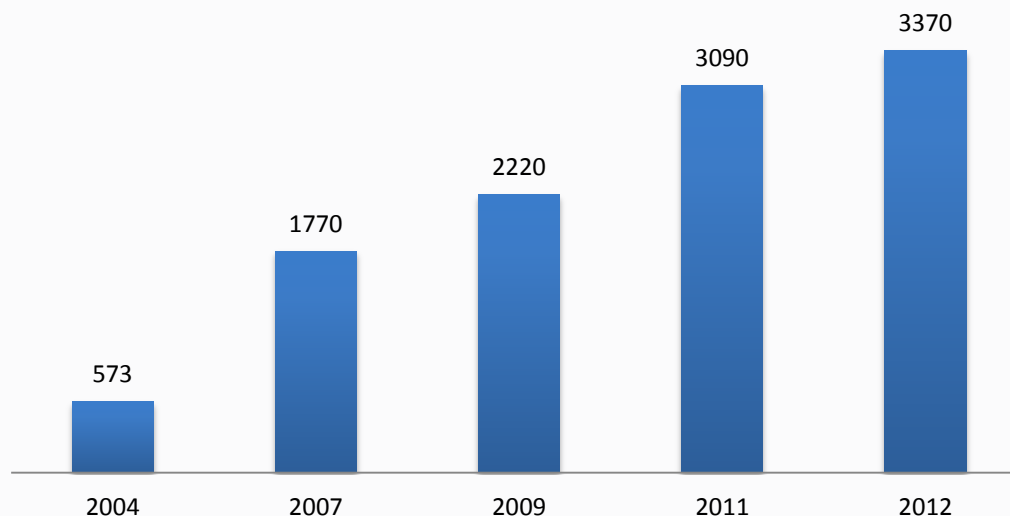
Измеряемая величина	Диапазон	Погрешность
Масса	0,1 мг...200 г	$\Delta = \pm(0,02...2)$ мг
	200...1000 г	$\Delta = \pm(2...5) \cdot 10^{-3}$ г
	1...10 кг	$\Delta = \pm(5...60) \cdot 10^{-6}$ кг
	10...20 кг	$\Delta = \pm(60...300) \cdot 10^{-6}$ кг
	20 кг...60 кг	$\Delta = \pm(0,3...1) \cdot 10^{-3}$ кг
	60 кг...2000 кг	$\Delta = \pm(10...100) \cdot 10^{-3}$ кг
Сила	$1 \cdot 10^2...5 \cdot 10^4$ Н	$\delta = \pm 0,12\%$
	$50 \cdot 10^2...50 \cdot 10^4$ Н	$\delta = \pm 0,05\%$
	$100 \cdot 10^2...100 \cdot 10^4$ Н	$\delta = \pm 0,12\%$
	$500 \cdot 10^2...500 \cdot 10^4$ Н	$\delta = \pm 0,2\%$
Длина	$1 \cdot 10^{-3}...1 \cdot 10^3$ мм	$\Delta = \pm 0,3$ мкм
	0,1...1000 мм	$\Delta = \pm(0,2+2L)$ мкм, где L в м
Давление	изб $(0...60) \cdot 10^5$ Па	$\delta = \pm 0,02\%$
	абс $(2,7...1300) \cdot 10^2$ Па	$\Delta = \pm 1,3$ Па
	разность $4 \cdot 10^3...4 \cdot 10^4$ Па	$\delta = \pm 0,01\%$
Температура	$t=0,01$ °С (тройная точка воды)	$\Delta = \pm 0,0001$ °С
	$t=778, 1181$ °С (затвердевание олова)	$\Delta = \pm 0,1$ °С
	$-180...-30$ °С	$\Delta = \pm (2,7...0,45)$ °С
	$-30...0$ °С	$\Delta = \pm (0,2...0,1)$ °С
	$0...300$ °С	$\Delta = \pm (0,01...0,5)$ °С
	$300...1200$ °С	$\Delta = \pm (1,5...3)$ °С

Автоматизированная информационная система учета, планирования и контроля поверочной деятельности метрологической службы ФГУП «ЦАГИ»



Экономическая эффективность поверочных работ

Количество поверенных СИ



Ориентировочная стоимость поверки единицы СИ в ВЦП

5 тыс. руб.

Оценка «экономии» бюджета ЦАГИ, без учета транспортных, экспедиторских расходов и отсутствия необходимых специальных эталонов в ВЦП Росстандарта

15 млн руб.

Метрологическая служба ЦАГИ

1. Аттестация методик измерений по специализации предприятия (испытание авиационной техники), в том числе применяемых в сфере обороны и безопасности, по следующим видам измерений:
 - геометрических величин;
 - механических величин;
 - теплофизических и температурных величин.
2. Метрологическая экспертиза чертежей и схем, методик испытаний и методик выполнения измерений, разрабатываемых и применяемых по тематике ФГУП ЦАГИ.



Реестр методик измерений института
включает 24 аттестованные и
4 стандартизованные методики измерений

Разработка, экспертиза и аттестация методик измерений

Качественный состав работ по метрологической экспертизе и аттестации методик измерений в 2012 году



Мероприятия по улучшению	Эффект
Подготовка во внешних организациях: 1 специалист	Увеличение количества экспертов, повышение квалификации
Обучение ответственных за МЭ ЭД в подразделениях силами метрологической службы: 22 специалиста	Сокращение сроков и повышение качества разработки документов
Семинар-совещание совместно НИО-1, НИО-2, НИО-7	Улучшение координации и согласование взаимодействия

Реестр методик измерений института

Отделение	НИО-1	НИО-2	НИО-3	НИО-5	НИО-7	НИО-10	НИО-12	НИО-18
Количество аттестованных и стандартизованных методик	1	5	2 + 1с	1	11	3с	2	2

Результаты 2012 года

- Разработано методик измерений — 5
- Аттестовано методик измерений — 4
- Метрологическая экспертиза ТД — 33
- Доклады по методикам на НТК — 6

Всего — 28

Государственный центр испытаний средств измерений ЦАГИ

Аккредитован Госстандартом РФ на право проведения испытаний единичных экземпляров средств измерений с целью утверждения их типа.

Проводятся испытания по семи видам измерений:

- геометрических
- механических
- параметров потока
- давления и вакуума
- температурных и теплотехнических
- виброакустических
- электрических



Область аккредитации ГЦИ СИ охватывает необходимые для ЦАГИ и аэрокосмической отрасли виды и типы средств измерений

Виды измерений	Испытываемые средства измерений	Диапазон измерений	Погрешности
Измерение механических величин	Тензорезисторы	$\varepsilon = 3 \cdot 10^{-3}$	$\pm 1,5 \%$
	Динамометры	1000 Н...500·10 ⁴ Н	$\pm 0,12...0,45 \%$
	Датчики силоизмерительные	1000 Н...500·10 ⁴ Н	$\pm 0,12...0,45 \%$
	Комплексы измерительные аэродинамических сил и моментов (весы аэродинамические)	0...10·10 ⁴ Н $\pm 4 \cdot 10^4$ Н·м	$\pm 0,05 \%$ $\pm 0,05 \%$
	Моментомеры	± 5000 Н·м	$\pm 0,05 \%$
Измерение электрических величин	Приборы измерительные вторичные тензометрические, в том числе на несущей частоте	$f_{\text{нec}}=225...2000$ Гц $F=0...7000$ Гц $\Delta U/U=0,05...2,5$ мВ/В $U_{\text{вых}}=5; 10$ В	Нелинейность $\pm 0,01 \%$ Погрешность $\pm 0,03 \%$
	Калибраторы (имитаторы сигналов) для вторичных измерительных приборов	0,1...2500 ppm	от $\pm 0,0005 \%$
Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ	Комплексы измерительные «Аэродинамические трубы»	0,1...1360 м/с	$\pm 0,02...1,5 \%$
	Приемники давления	0,1...1360 м/с	$\pm 0,02...1,5 \%$
	Анемометры	0,1...1360 м/с	$\pm 0,02...1,5 \%$

Область аккредитации ГЦИ СИ охватывает необходимые для ЦАГИ и аэрокосмической отрасли виды и типы средств измерений

Виды измерений	Испытываемые средства измерений	Диапазон измерений	Погрешности
Измерения давления, вакуумные измерения	Преобразователи давления, в том числе многоточечные и панорамные	1·Па ...25 МПа	±0,5...0,03 %
Измерения температуры и параметров тепловых потоков	Преобразователи температуры измерительные	90...1500 К	±0,5...5 К
Измерение массы, координат центра масс и моментов инерции изделий	Стенды для измерений массы, координат центра масс и моментов инерции относительно трех осей	от 10 до 20000 кг до 5000 кг · м ²	±0,1 % ± 1%
Установки измерительные комплексные	Стенды эталонные для комплексов измерительных аэродинамических сил и моментов	1...15·10 ⁴ Н 0,5...1·10 ⁴ Н·м	±0,02 % ±0,02 %
	Преобразователи давления и деформаций	0...250 МПа $\varepsilon = \pm 3 \cdot 10^3$ млн ⁻¹	±0,05 % ±0,5 %
	Системы оптико-физических измерений, в том числе видеограмметрические	100...3000 мм 0...360°	±0,02 мм ±3,6'
	Системы измерительные информационные многоканальные и их компоненты	0...5 МН 0...250 МПа f=0...10 кГц T=73...1500К $\varepsilon = \pm 3 \cdot 10^3$ млн ⁻¹	±0,2 % ±0,05 % ±0,01% ±0,5...5 К ±0,5 %
		$\Delta U = \pm(0...10$ мВ) $\Delta U = \pm(0...10$ В) R = 100..800 Ом	±0,05 % ±0,01% ±0,05...1%

Центр аттестации испытательного оборудования

Аккредитован на право аттестации
14 видов испытательного оборудования:

- Трубы аэродинамические
- Пилотажные стенды для испытаний систем управления
- Стенды ресурсных испытаний
- Установки виброусталостных испытаний
- Стенды статических и повторно-статических испытаний
- Безэховые камеры
- Стенды по измерению характеристик отражения материалов
- Камеры климатические для статических испытаний
- Стенды-копры
- Установки для определения нестационарных характеристик
- Возбудители электродинамические с усилителями мощности для частотных испытаний конструкций
- Скоростные гидростенды
- Катапульты плавающие
- Стенды для определения массы, координат центра масс и моментов инерции физических тел



Отдел технического контроля (ОТК ЦАГИ)

- Предотвращение выпуска брака на производстве.
- Технический контроль производства.
- Инструментальные замеры на объектах (ЦИЛ).
- Участие в аттестации экспериментального и технологического оборудования.
- Функция входного контроля в СМК института.

Контрольно-измерительная машина LK-G90C



Лопasti DREAM



База исходных эталонов



Масса $0,1 \text{ мг} \dots 2 \cdot 10^3 \text{ кг}$, $\delta=0,01 \%$
 Сила $1000 \text{ Н} \dots 500 \cdot 10^4 \text{ Н}$, $\delta=0,05 \dots 0,2\%$
 Давление $0 \dots 250 \text{ МПа}$, $\delta=0,01 \dots 0,05\%$
 Скорость $0,1 \dots 1560 \text{ м/с}$, $\delta=0,05 \dots 0,2\%$
 Температура $-180 \dots 1200^\circ \text{ С}$, Δ
 $=0,4 \dots 4^\circ \text{ С}$
 Деформация $\pm 3 \cdot 10^3 \text{ млн}^{-1}$, $\delta=0,5 \dots 0,8\%$
 Линейно-угловые величины
 $L = 1 \cdot 10^{-3} \dots 1 \cdot 10^3 \text{ мм}$, $\Delta L=0,001 \dots 0,1 \text{ мм}$;
 $\alpha=0 \dots 360^\circ$; $\Delta\alpha =5 \dots 30''$

Рабочие эталоны	Кол-во	Высшие разряды
Параметры потока	7	Государственный эталон — копия скорости воздушного потока до 100 м/с
Геометрические величины	25	Штрих-мера 1 разряда: $L=1 \text{ м}$; $\Delta=0,3 \text{ мкм}$
Масса	12	Набор гирь и весов до $\Delta=0,0001 \text{ г}$ (AF-R220CE)
Сила	23	Силоизмерительные машины 1 разряда на 50, 500, 1000 и 5000 кН
Давление	18	Манометр абсолютного давления 1 разряда МАД 8; $\delta=0,005\%$
Температура	13	Термостат ТПП-1.1 $\Delta=0,01^\circ \text{ С}$. Термометр 1 разряда ПТС-10М, $\Delta=0,005^\circ \text{ С}$
Влажность	3	Генератор влажности «Родник-2». $\delta=0,5 \%$ ОВ
Электрические величины	17	Калибратор универсальный 1 разряда Н4-12: Тензокалибратор ВН-100, точность 0,0005
Всего единиц	118	

Автоматизированные рабочие места поверителей средств измерений



АРМ преобразователей температуры

Измер. величина — температура, °С
Диапазон измерений — -180...1200 °С
Погрешность — (3...0,01) °С



АРМ преобразователей давления

Измер. величина — давление, Па
Диапазон измерений — 10...6·10⁶
Погрешность — (0,005...0,250)%



АРМ преобразователей влажности

Измер. величина — влажность, %
Диапазон измерений — 5,0... 99,0
Погрешность — (0,1... 0,5) %

Процесс СМК «Мониторинг измерений»



Процесс СМК «Мониторинг измерений»

Критерий результативности процесса

$$Y_{\text{мо}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta K_i \cdot \Delta C_i \cdot \Delta \sigma_i;$$

где $\Delta C = \frac{C_{\text{нов.}}}{C_{\text{баз.}}}$ – относительное изменение стоимости i -ой группы эталонов метрологической службы

$\Delta \sigma = \frac{\sigma_{\text{баз.}}}{\sigma_{\text{нов.}}}$ – относительное изменение средней погрешности i -ой группы эталонов метрологической службы;

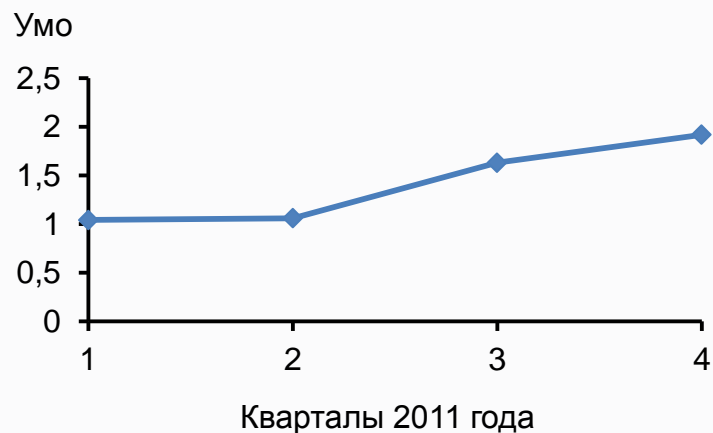
$\Delta K_i = \frac{K_{\text{нов.}}}{K_{\text{баз.}}}$ – относительное изменение количества эталонов в группе;

K – количество эталонов в группе;
 n – количество групп эталонов.

Развитие эталонной базы

Группы эталонов	Базовая стоимость С в 2011 г., тыс. руб.	Затраты на эталоны в 2012 г. тыс. руб.				Итого за 2012 г., тыс. руб.
		I кв.	II кв.	III кв.	IV кв.	
Концевые меры	126	-	1	11	-	12
Динамометры	330	-	-	-	66	66
Электрические величины	1130	-	-	1300	546	1846
Абсолютное давление	23296	-	-	466	-	466
Избыточное давление	3217	728	-	-	-	728
Масса	413	-	-	48	65	113
Температура	1170	-	75	83	50	208
Влажность	143	-	-	175	-	175
Всего	29825	728	75	2083	727	3614

График изменения критерия результативности процесса



База специальных эталонов

- Комплекс стендов для исследований и паспортизации многокомпонентных аэродинамических тензочувствительных датчиков.
- Стенды для исследований и паспортизации многоточечных модулей давления.
- Установки для испытаний и паспортизации тензорезисторов.
- Средства исследований и поверки тензометрической аппаратуры и систем.
- Установки для калибровки люминесцентных преобразователей давления.
- Средства калибровки видеограмметрических систем.
- Средства воспроизведения единицы скорости воздушного потока.
- Контрольные приспособления для аттестации стендов определения массо-инерционных характеристик изделий.

Многокомпонентные тензометрические весы



1. Аэродинамические трубы длительного и периодического действия:

- широкий диапазон измеряемых нагрузок;
- высокая точность;
- нормальная нагрузка 1...5000 кгс.

2. Импульсные и ударные гиперзвуковые аэродинамические трубы:

- высокое быстродействие (T измерения от 0.005 с)

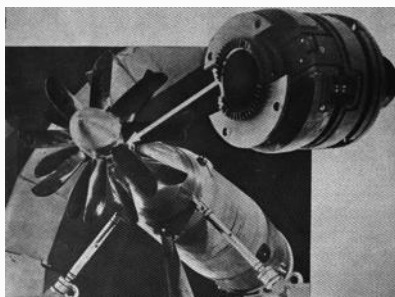
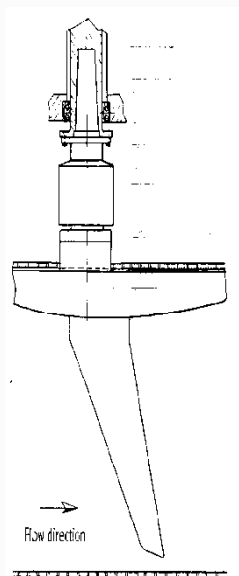
3. Гиперзвуковые аэродинамические трубы:

- защита от высокотемпературного потока (T торможения=100...2000 К)

4. Внешние пятикомпонентные тензовесы для испытания полумоделей ЛА.

5. Шестикомпонентные вращающиеся тензовесы для испытания винтов.

6. Количество весов в ЦАГИ ~300 комплектов.



Стенды для поверки и калибровки многокомпонентных аэродинамических весов



Стенд 6ГС-20

Нагрузки:

$X = -5 \dots +5$ кН; $M_x = -0,1 \dots +0,1$ кН·м

$Y = -6 \dots +20$ кН; $M_y = -0,15 \dots +0,15$ кН·м

$Z = -3 \dots +3$ кН; $M_z = -0,4 \dots +0,4$ кН·м

Погрешность 0,1 %



Стенд 6ГС-2ПС

Нагрузки:

$X = -500 \dots +500$ Н; $M_x = -50 \dots +50$ Н·м

$Y = -1000 \dots +2000$ Н; $M_y = -100 \dots +100$ Н·м;

$Z = -500 \dots +500$ Н; $M_z = -100 \dots +100$ Н·м

Погрешность 0,05 %



Стенд 6ГС-0,5ПС

Нагрузки:

$X = -150 \dots +150$ Н; $M_x = -3 \dots +3$ Н·м

$Y = -500 \dots +500$ Н; $M_y = -6 \dots +6$ Н·м;

$Z = -250 \dots +250$ Н; $M_z = -6 \dots +6$ Н·м

Погрешность 0,05 %

Калибровочные стенды для тензовесов

Диапазоны нагрузок ГС40

X = ±500 кгс MX = ±150 кгс*м

Y = 4000...-2600 кгс MY = ±200 кгс*м

Z = ±600 кгс MZ = ±800 кгс*м

Погрешность стенда по компонентам 0,1%

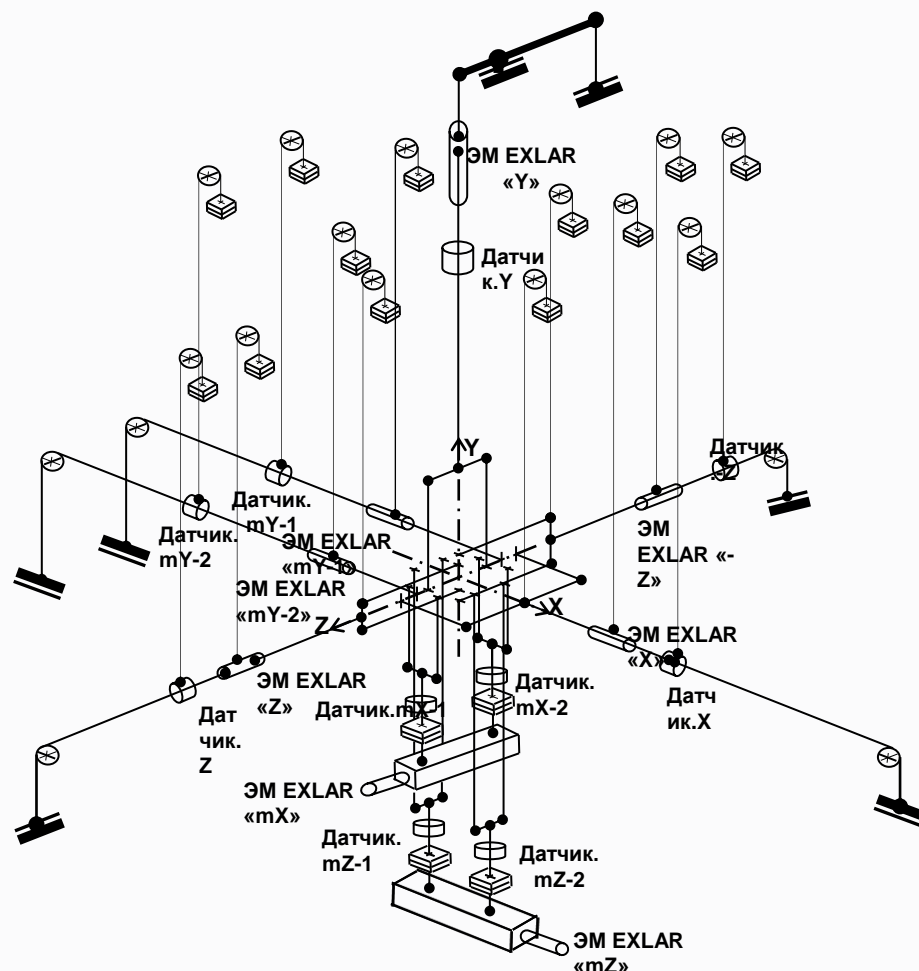
Диапазоны нагрузок ГС120

X = ±2000 кгс MX = ±400 кгс*м

Y = 12000...-6000 кгс MY = ±600 кгс*м

Z = ±1500 кгс MZ = ±1500 кгс*м

Погрешность стенда по компонентам 0,1%



Кинематическая схема стенда ГС-40М

Многоканальные модули давления нового поколения ММД-32, ММД-48

Преимущества

Повышение точности измерений, уменьшение габаритных размеров, цифровой выход, расширение экспериментальных возможностей и экономичности испытаний моделей.



ММД-24/М
(1 поколение)



ММД-32



ММД-4

Характеристики

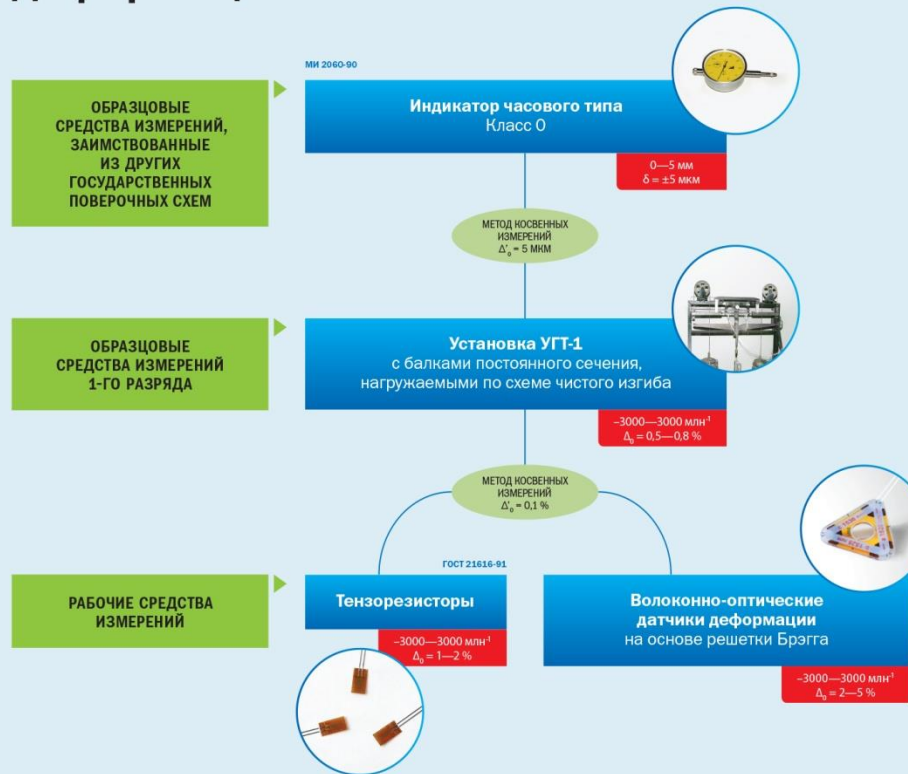
	ММД-24	ММД-32	ММД-48
Количество каналов	24	32	48
Диапазон измерений	100 кПа	100 кПа	100кПа
Погрешность измерения, %	0,15-0,2	≤ 0,1	0,1
Объем на канал (без штуцеров), см ³ /к	2,2	0,18	2,3
Габаритные размеры (без штуцеров), мм	70 ×32×30	59×12×9	102×75×20
Выходной сигнал	аналоговый	аналоговый	цифровой RS485

Стенд для поверки и калибровки многоточечных модулей давления СГД-4



Диапазон задаваемого давления, Па	$(0,05 - 5) \cdot 10^5$
Абсолютная погрешность задаваемого давления, Па	± 10
Время задания уровней давления, с	≤ 20
Основная приведенная погрешность измерения задаваемого давления: (ДДЧП-2-5), %	0,005
Основная приведенная погрешность измерения сигналов ММД, %:	
– канал интегрирующего АЦП ADC6, %	0,005
– канал быстрого АЦП (10 000 измерений в секунду) (ADC16), %	0,02
– максимальное количество параллельно исследуемых ММД	3 (196 каналов)

Поверочная схема средств измерений деформации



Технические характеристики и схема установки УГТ-1

Воспроизводимая деформация — 3000 млн⁻¹
 Дискретность задания деформации — 2 млн⁻¹
 Количество наклеиваемых тензорезисторов — 16
 Номинальное сопротивление тензорезисторов — 100—1000 Ом
 Приведенная погрешность воспроизведения деформации — 0,5 %
 Предельная допустимая погрешность измерения сигналов тензорезисторов, приведенная к диапазону измерения:

- аддитивная составляющая (погрешность нуля) — 0,003 %
- мультипликативная составляющая (погрешность коэффициента передачи) — 0,02 %

ТУ в соответствии с ГОСТ 21616-01



Стенд (специальный эталон) СТА-1 для метрологических исследований и паспортизации тензометрической аппаратуры

Постоянное напряжение в диапазоне $-100 \text{ мВ} — (0,003+0,002U)\%$

Переменное напряжение в диапазоне $0—100 \text{ мВ}$ в полосе частот $(0,1 \text{ Гц} — 100 \text{ кГц}) — (0,1+0,01U)\%$

Сигналов имитатора тензомоста — $0,02\%$

Измерение статических сигналов на выходе ТА — $0,08\%$.

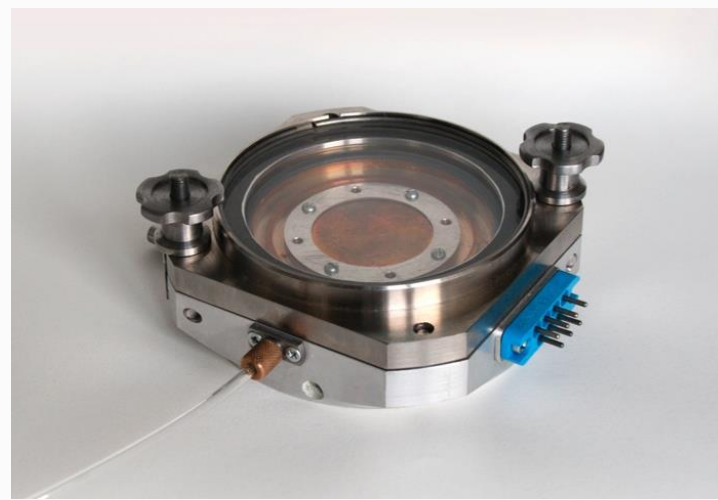


Калибровочный стенд люминесцентных преобразователей давления и температуры

Система автоматического управления стендом калибровки люминесцентного преобразования давления и температуры обеспечивает управление температурой и давлением и выход системы в требуемую точку характеристики с требуемой скоростью и точностью.

Технические характеристики

Диапазон задания давления, бар	от 0 до 3
Диапазон задания температуры, ° С	от 0 до 80
Точность регулирования давления, бар	0,2
Точность регулирования температуры, ° С	0,2
Точность измерения температуры, ° С	0,5
Точность измерения давления, мбар	0,12
Номинальный ток модуль Пельтье, А	5,8
Номинальное напряжение модуля Пельтье, В	14,8
Интерфейс связи	RS-485



Готовится нормативно-техническая документация для сертификации эталона

Калибровочные приспособления для видеограмметрических систем

Видеограмметрические системы для бесконтактных измерений распределенных геометрических параметров формы, движения и деформации включают специальные средства калибровки:

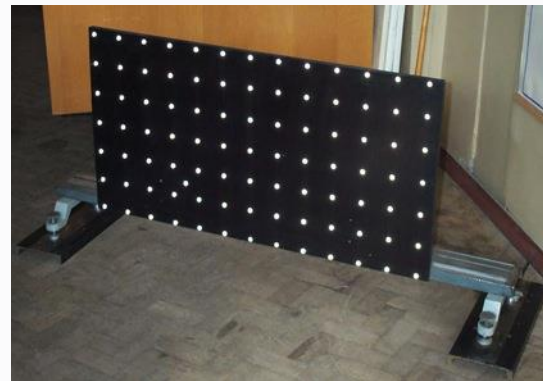
- специальный эталон с набором маркерных точек
- средства привязки положения эталона к системе координат аэродинамической трубы
- средства регулировки положения эталона

**Специальный эталон для калибровки
измерительных систем с секущей световой**



Поверхность пилообразного профиля.
Погрешность координат узловых точек — 0,02 мм.

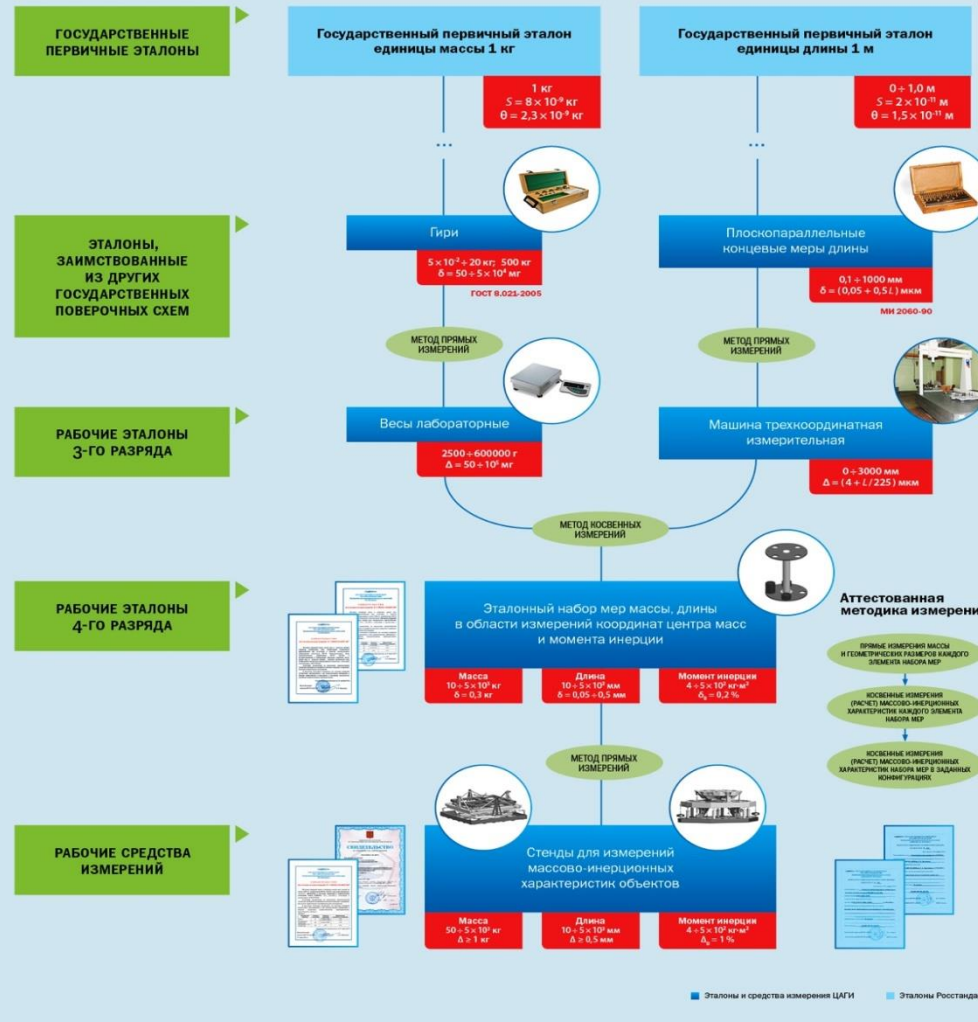
**Специальный эталон для калибровки
измерительных систем с маркерными
точками**



Размер маркерной точки — $\varnothing 5$ мм.
Сетка маркерных точек — 7×13 точек.
Погрешность координат маркеров — 0,2 мм.

Готовится нормативно-техническая документация для аттестации эталона

Метрологическое обеспечение стендов для измерений массово-инерционных характеристик объектов



Рабочий эталон единицы скорости воздушного потока ЭМС-0,1/60

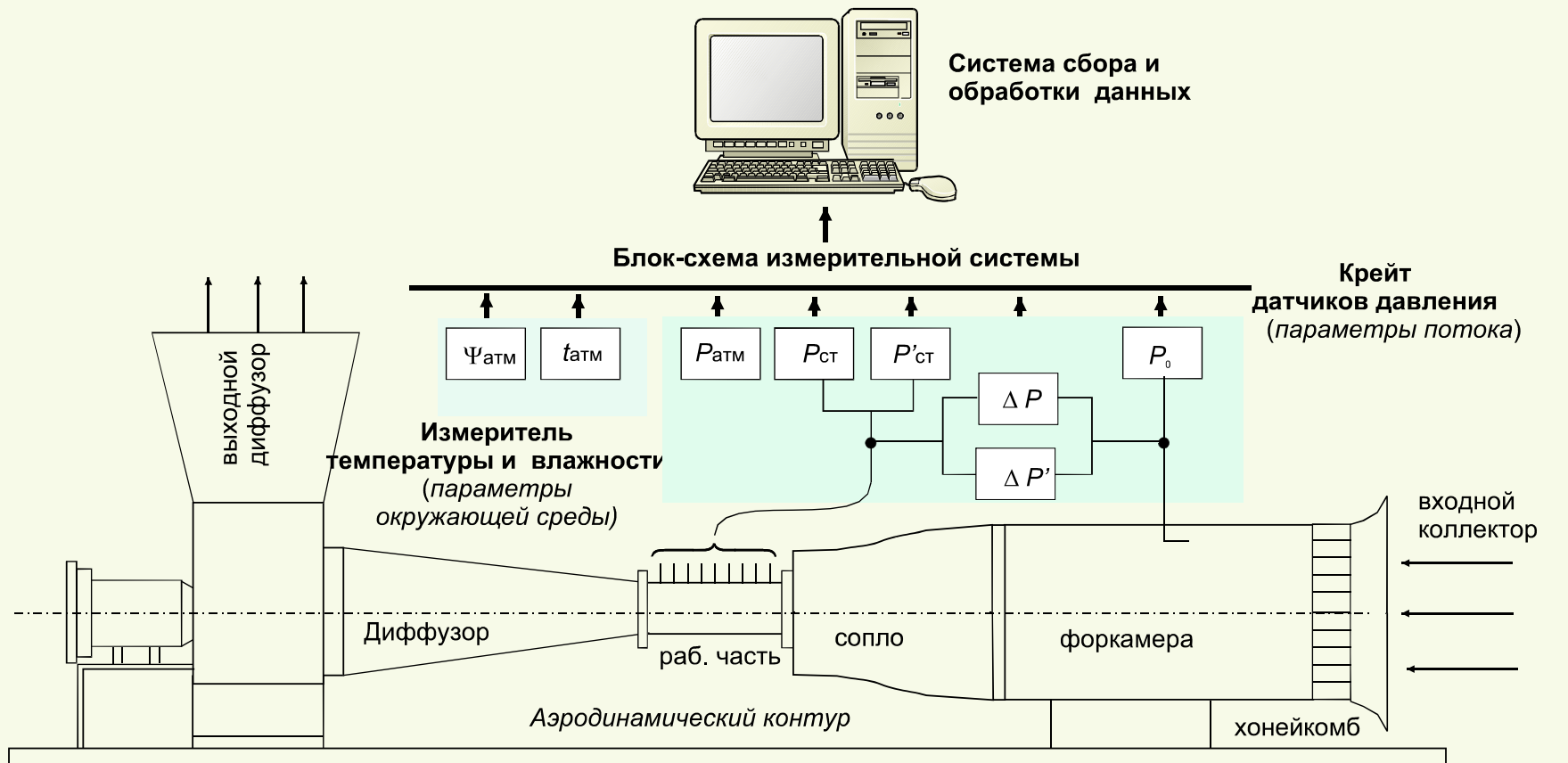


Сечение рабочей части — $0,2 \times 0,2$ м
Сечение форкамеры — $0,6 \times 0,6$ м
Рабочий диапазон скоростей — $0,1\text{--}60$ м/с
Нестабильность скорости потока за 10 мин — $0,2\%$
Неравномерность поля скоростей — $< \pm 0,25\%$
Градиент статического давления
на $0,6$ м длины рабочей части — $5,3\%$



Предельная абсолютная погрешность — $\pm(0,006 + 0,0005 v)$ м/с
Межповерочный интервал — 3 года
Габаритные размеры — $4,25 \times 1,1 \times 1,2$ м
Электропитание трёхфазное — 380В
Потребляемая мощность — $5,5$ кВт
Масса — 250 кг

Структурная схема эталона единицы скорости воздушного потока ЭМС-0,1/60



Пневмометрический метод измерения

$$P - P_0 - \Delta P = 0 \quad (1)$$

$$\mu_{qi} = \xi \frac{\Delta P_{ПП}}{\Delta T_{ТП}} \quad (7)$$

$$\overline{\Delta P} = \frac{2\Delta P + P - P_0}{3} \quad (2)$$

$$\mu_v = \sqrt{\mu_q} \quad (8)$$

$$\Delta = \frac{P - P_0 - \Delta P}{3} \quad (3)$$

где

$$q = \Delta P \cdot \mu_q \quad (4)$$

P — статическое давление в потоке, Па;

B_c — нормальное атмосферное давление,

$B_c = 101325$ Па;

T — статическая температура потока, К;

T_c — нормальная атмосферная температура,

$T_c = 288,15$ К;

ρ_c — нормальная плотность атмосферного воздуха, $\rho_c = 1,225$ кг/м³;

$P_{нп}$ — давление насыщенного пара при температуре T , Па;

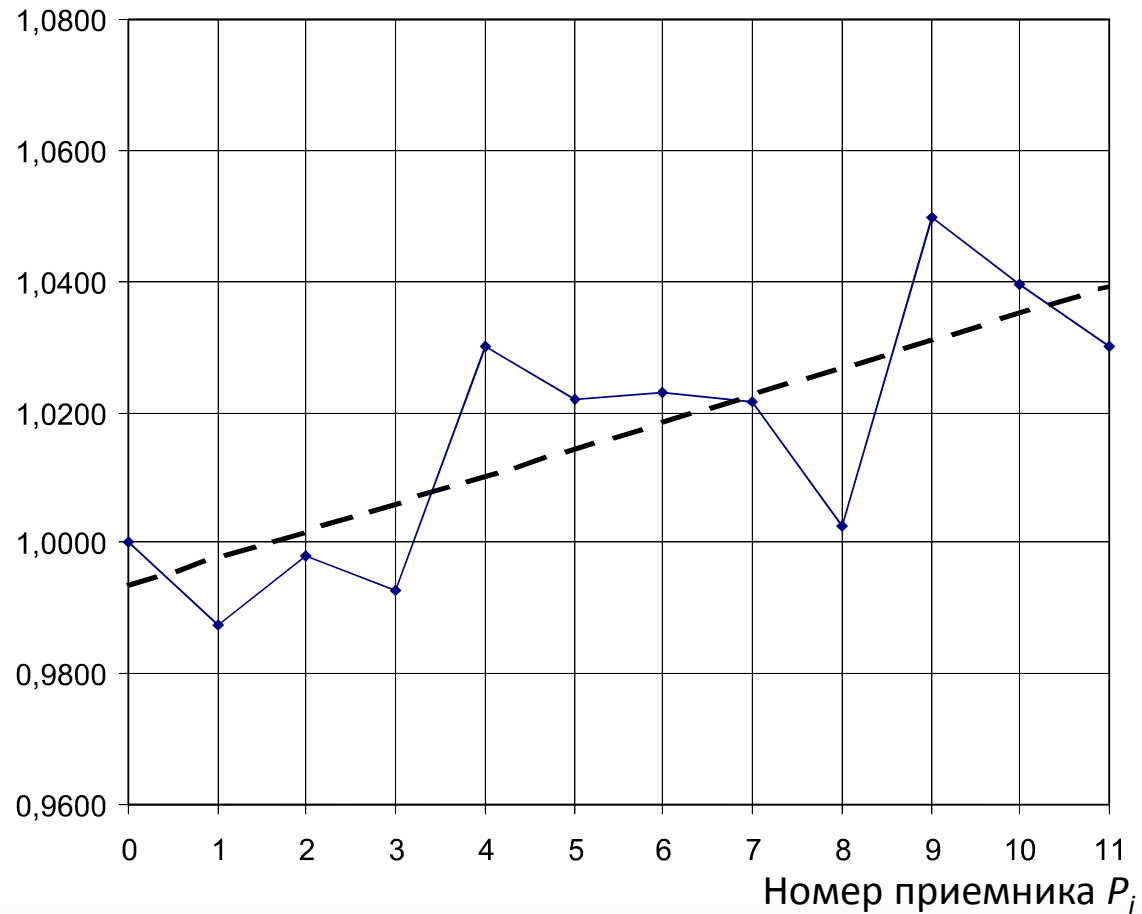
$X_{вл}$ — относительная влажность

$$v = \sqrt{\frac{2q}{\rho}} \quad (5)$$

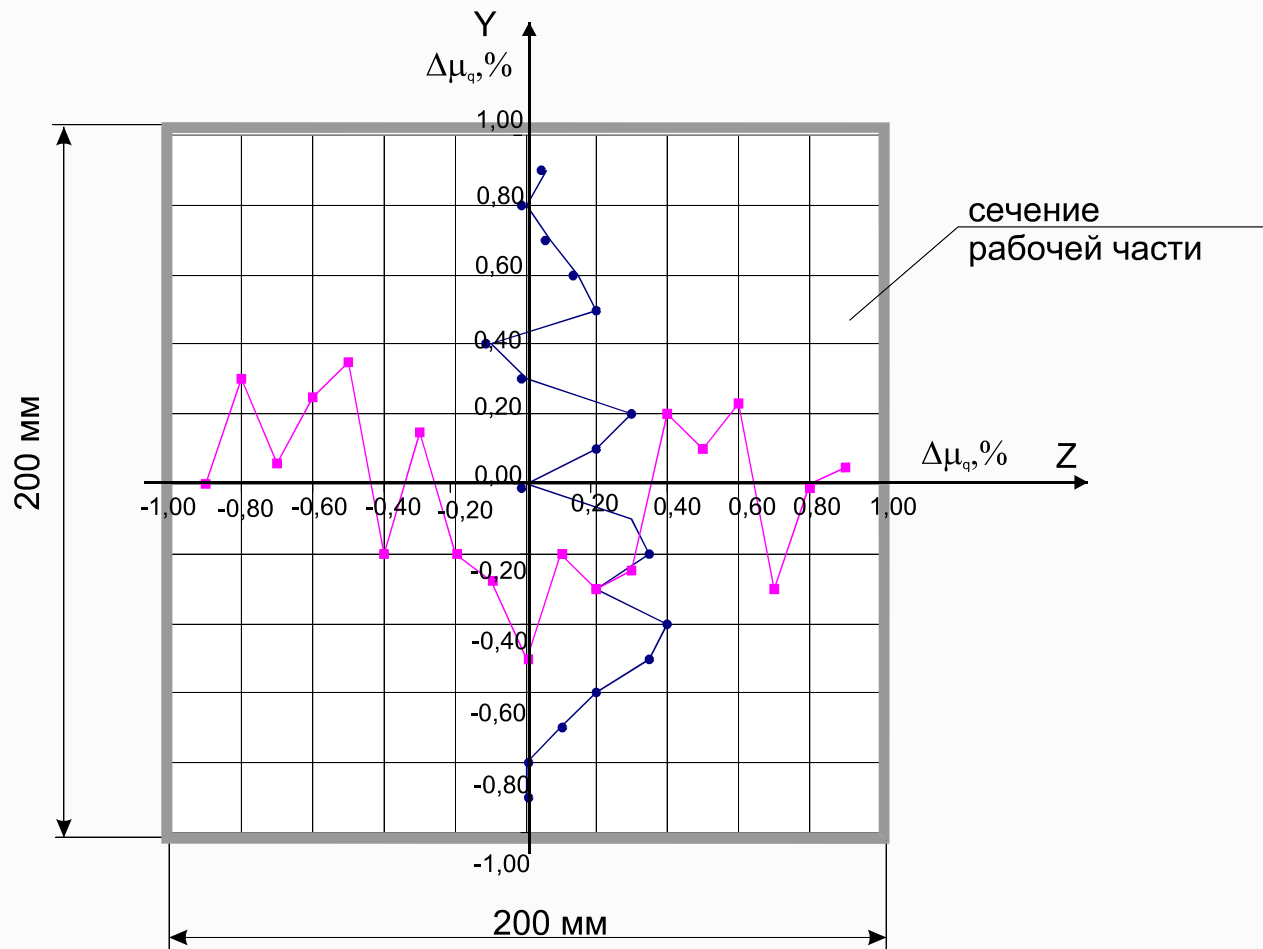
$$\rho = \rho_c \frac{P \cdot T_c}{B_c \cdot T} \left(1 - 0,378 \frac{P_{нп}}{P} \cdot X_{вл}\right) \quad (6)$$

Градиент статического давления вдоль рабочей части эталона (5,3% на 0,6 м р.ч.)

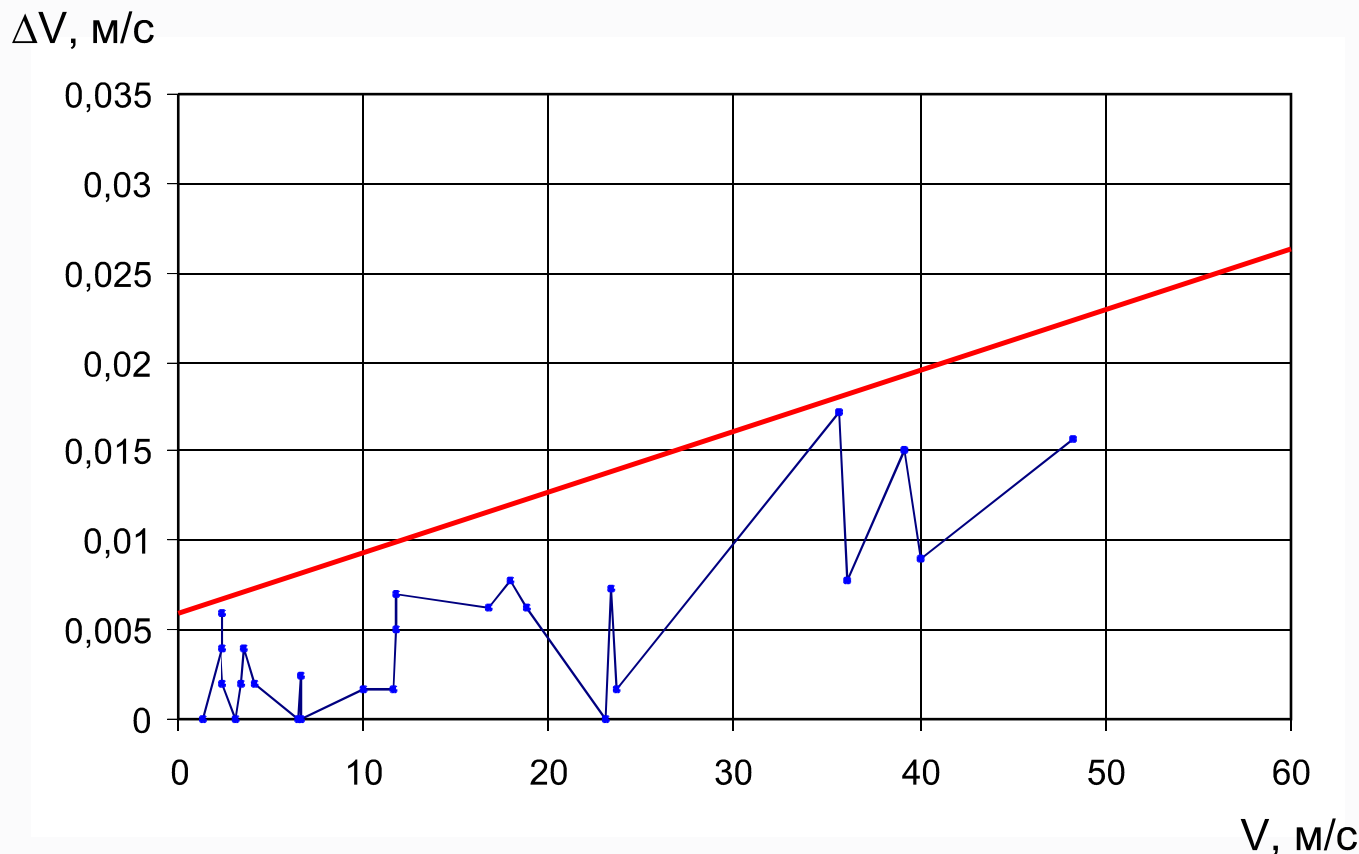
$\Delta P_i / \Delta P_0$



Неравномерность поля скоростей в сечении рабочей части эталона



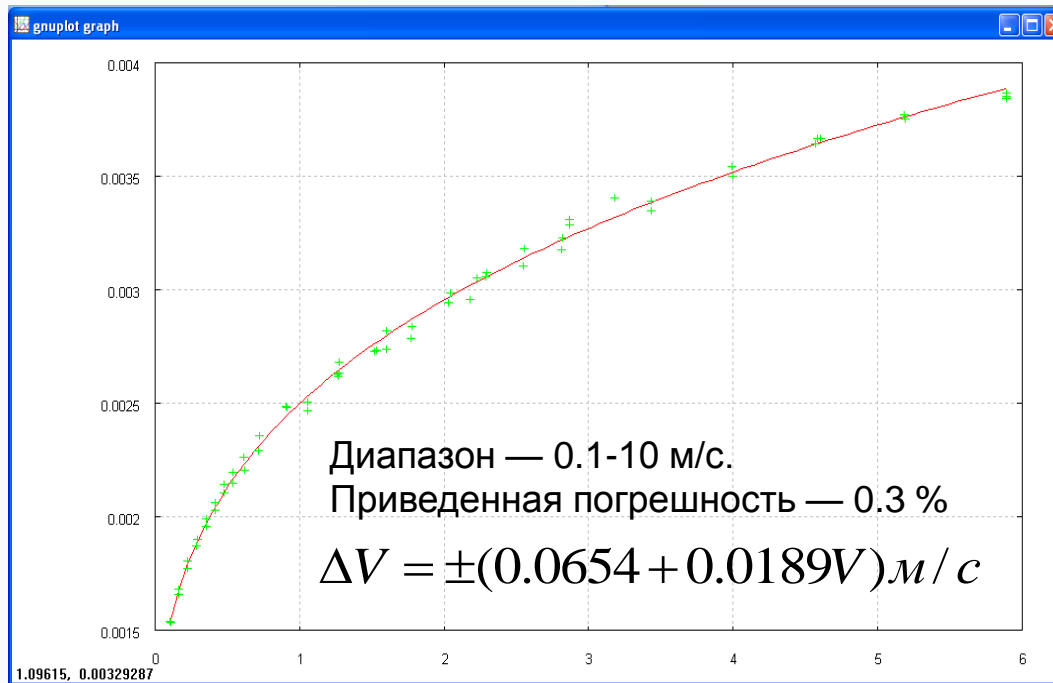
Экспериментальная оценка предельной погрешности измерения $\Delta = \pm (0,006 + 0,0005 v) \text{ м/с}$



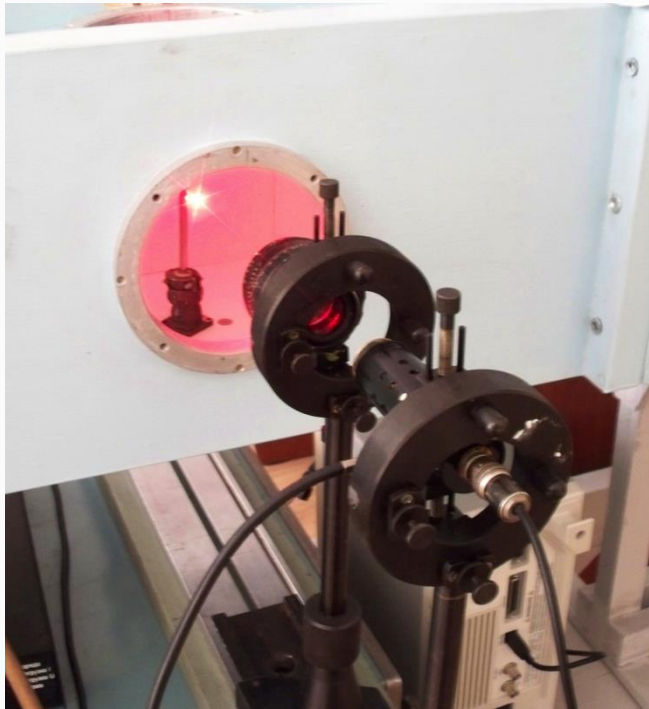
Теплоэлектрический датчик малых скоростей ИТА-1

$$Nu = a + b Re^n$$

$$v = \left(\frac{\alpha - T^{0.82} a}{b T^{0.82 - 1.683n} (P - P_{cm})^n (1 - 0,378 \frac{P_{н.н.}}{P} \psi)^n} \right)^{1/n}$$



Лазерный доплеровский измеритель скорости (ЛДИС)



Эффективность метода максимальна при малых скоростях — до 1 м/с.
Диапазон измерения — от 0,05 м/с. Погрешность измерения — 0,2...1,0%.
Мощность гелий-неонового лазера — 10 мВт.
Использование частиц естественной запыленности.

Прецизионные системы измерений параметров потока АДТ

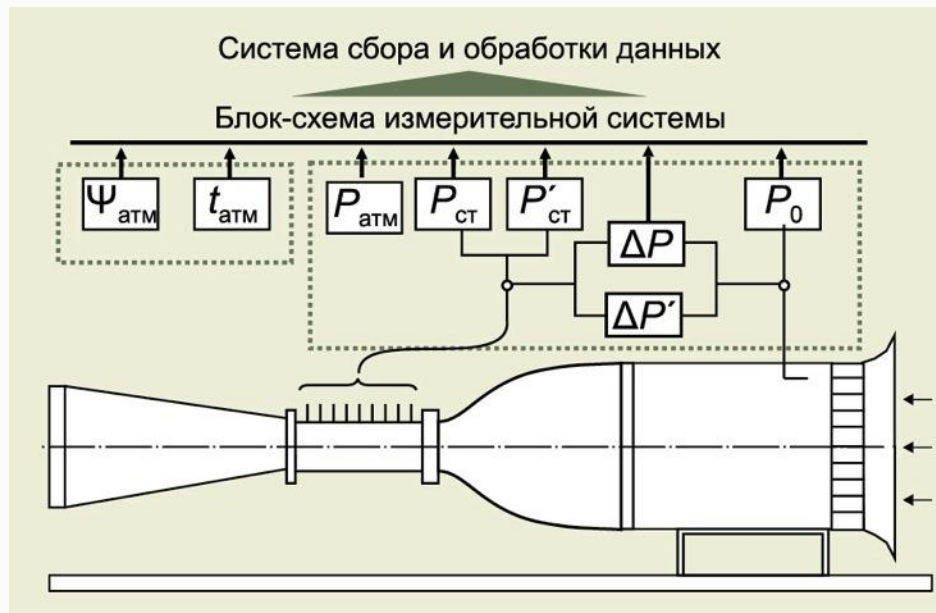
Эталонный микроманометр МКМ-100



Диапазон измерения
давления — 0...100 Па
Класс точности — 0,01
Патент на полезную модель
№107587 от 20.08.2011

Разработаны и внедряются СИПП для АДТ:

- Т-101, Т-103, Т-106



Диапазон скоростей — от 1 м/с
Диапазон измеряемых значений скоростного напора — от 0,6 Па
Значение средних квадратичных погрешностей — 0,03...0,1 Па
Погрешность определения скорости — 0,003...0,01 м/с

Аттестация государственного первичного специального эталона единицы скорости воздушного потока ГЭТ-150

Аттестация проведена во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева комиссией Росстандарта РФ с участием ЦАГИ в ноябре 2012 года



На базе разработки СИПП планируется оснащение АДТ ЦАГИ и отрасли современными штатными системами измерения параметров потока. В 2012 г созданы СИПП для Т-101 и АУ-2 (МКБ «Радуга»); готовятся к внедрению в Т-106, Т-124, Т-103, У-107 (ЦИАМ), Т-203 (СибНИА).

Перспективы

- Участие в разработке, совместно с ВНИИМ, ГОСТа «Государственная поверочная схема для средств измерения скорости воздушного потока.»
- Создание в ЦАГИ эталона-копии государственного эталона в диапазоне (0,05–100) м/с и рабочего эталона в диапазоне (100–670) м/с ($M=4$).

Основные характеристики ГЭТ-150:

Диапазон воспроизведения скорости — 0,05...100 м/с
Суммарный бюджет неопределенности — 0,14...0,3%

В состав усовершенствованного эталона вошли эталонные средства измерений ЦАГИ: приемники давления ПД-53 (№60 и №62) и **прецизионная система измерения параметров потока СИПП «ЭМС-0,1/60»**

Основные характеристики СИПП:

Диапазон измерения скорости — 1...100 м/с
Диапазон измерения скоростного напора — 0,6...6300 Па
Средне квадратичная погрешность — 0,03...0,1 Па
Погрешность определения скорости — 0,003...0,01 м/с

Особенностью СИПП является возможность оперативного метрологического контроля — получение фактической погрешности измерения в реальном масштабе времени.



Метрологический комплекс ЦАГИ — основа для создания отраслевого центра коллективного пользования

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ОСНОВА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА И ДОСТОВЕРНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ



ПРАВОВАЯ ОСНОВА — АТТЕСТАТЫ АККРЕДИТАЦИИ РОССТАНДАРТА



Право поверки
и калибровки 87 типов
средств измерений,
в том числе 14 типов
уникальных СИ

Право аттестации методик
(методов) измерений
и метрологической
экспертизы технической
документации

Право
сертификационных
испытаний средств
измерений
по 5 видам

Право
аттестации
14 видов
испытательного
оборудования

ТЕХНИЧЕСКАЯ ОСНОВА — БАЗА ИСХОДНЫХ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ



НИО-7

Спасибо за внимание!