

855

УТВЕРЖДАЮ

Начальник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИ МО РФ



[Handwritten signature]

В.Н. Храменков

« 28 » февраля 2005 г.

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ**

**СИСТЕМА ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ
ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СТЕНДОВ ШТОКА ХВОСТОВОГО РЕДУКТОРА,
ПОВОДКА И ТАРЕЛКИ АВТОМАТА ПЕРЕКОСА
«ДИНАМИКА-1»**

**ПОДСИСТЕМА ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ И МЕХАНИЧЕСКОГО
НАПРЯЖЕНИЯ В ИЗДЕЛИЯХ**

**ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КАНАЛЫ СИЛЫ И МЕХАНИЧЕСКОГО
НАПРЯЖЕНИЯ**

Методика поверки АЭ2-805.01 МП

2005 г.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1 Введение	3
2 Операции поверки	9
3 Средства поверки	10
4 Требования безопасности	11
5 Условия поверки	12
6 Подготовка к поверке	13
7 Проведение поверки	14
8 Обработка результатов измерений	15
9 Оформление результатов поверки	18
Приложение 1. Функциональные схемы поверки ИК	19
Приложение 2. Рекомендуемые значения ступеней нагружения ИК силы при поверке	22
Приложение 3. Форма протокола поверки	24

1 ВВЕДЕНИЕ

Настоящая методика поверки (МП) устанавливает порядок проведения и оформления результатов поверки измерительных каналов (ИК) силы и механического напряжения.

ИК входят в состав подсистемы измерения силы и механического напряжения в изделиях системы измерительных испытательных стендов штока хвостового редуктора, поводка и тарелки автомата перекоса «Динамика-1» (в дальнейшем изложении – системы).

ИК используются для измерения параметров силы нагружения (растяжения-сжатия) и механического напряжения (напряжения изгиба) в процессе испытаний изделий при одновременной или раздельной работе следующих испытательных стендов:

- испытательный стенд штока хвостового редуктора вертолета МИ-26;
- испытательный стенд поводка автомата перекоса вертолета МИ-24;
- испытательный стенд тарелки автомата перекоса вертолета МИ-24.

Пределы допускаемой погрешности измерений силы и механического напряжения при доверительной вероятности $P = 0,95$ указаны в таблице 1.

Таблица 1

<i>Наименование измеряемого параметра</i>	<i>Диапазон измерений</i>	<i>Пределы допускаемой погрешности измерений</i>
1 Сила растяжения штока в сечении II (основной канал)	от 0 до 4580 кгс	$\pm 6,5$ % (приведенная к НЗ* 3952 кгс)
2 Сила растяжения штока в сечении II (дублирующий канал)	от 0 до 4580 кгс	$\pm 6,5$ % (приведенная к НЗ 3952 кгс)
3 Напряжение изгиба штока в плоскости X в сечении I	от минус 3,7 до 3,7 кгс/мм ²	± 10 % (приведенная к НЗ 3,5 кгс/мм ²)
4 Напряжение изгиба штока в плоскости Y в сечении I	от минус 3,7 до 3,7 кгс/мм ²	± 10 % (приведенная к НЗ 3,5 кгс/мм ²)
5 Напряжение изгиба штока в плоскости X в сечении III	от минус 3,7 до 3,7 кгс/мм ²	± 10 % (приведенная к НЗ 3,5 кгс/мм ²)
6 Напряжение изгиба штока в плоскости Y в сечении III	от минус 3,7 до 3,7 кгс/мм ²	± 10 % (приведенная к НЗ 3,5 кгс/мм ²)
7 Сила изгиба поводка (основной канал)	от минус 250 до 450 кгс	$\pm 6,5$ % (приведенная к НЗ 420 кгс)
8 Сила изгиба поводка (дублирующий канал)	от минус 250 до 450 кгс	$\pm 6,5$ % (приведенная к НЗ 420 кгс)
9 Сила сжатия-растяжения тяги поворота лопасти (основной канал)	от минус 1390 до 1850 кгс	$\pm 6,5$ % (приведенная к НЗ 1640 кгс)
10 Сила сжатия-растяжения тяги поворота лопасти (дублирующий канал)	от минус 1390 до 1850 кгс	$\pm 6,5$ % (приведенная к НЗ 1640 кгс)

*НЗ – нормированное значение измеряемого параметра

Перечень метрологических характеристик, подлежащих определению при поверке, приведен в таблице 2.

Таблица 2

<i>Наименование МХ канала</i>	<i>Условное обозначение</i>
1 Индивидуальная функция преобразования (градуировочная характеристика)	$x = a_0 + a_1 \cdot y$
2 Граница суммы неисключенных систематических погрешностей, включающая:	Θ_j
2.1 Оценку систематической составляющей погрешности в j-ой контрольной точке	$\bar{\Delta}_{Cj}$
2.2 Вариации в j-ой контрольной точке	b_j
2.3 Предел погрешности рабочего эталона	Δ_{C1}
2.4 Предел дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры тензорезисторов	Δ_{C2}
2.5 Предел дополнительной погрешности, вызванной часовой ползучестью тензорезисторов	Δ_{C3}
3 Оценка СКО случайной составляющей погрешности в j-ой контрольной точке	$S_j^0(\Delta)$
4 Граница погрешности в j-ой контрольной точке	$\bar{\Delta}_j$
5 Абсолютная погрешность канала	$\bar{\Delta}$
6 Приведенная погрешность канала	γ

Исходными данными для расчета метрологических характеристик ИК являются выходные сигналы ИК, полученные при подаче на вход поверяемого ИК входных величин x_j , контролируемых по рабочему эталону, при прямом и обратном ходах приложения градуировочных величин, представляемые для прямого и обратного ходов, соответственно, в виде массивов чисел $y_{jk\gamma M}$ и $y_{jk\gamma B}$,

где:

j - индекс номера контрольной точки на градуировочной характеристике;

k - индекс номера отсчета в контрольной точке;

γ - индекс номера цикла градуировки;

M - индекс прямого хода градуировки;

B - индекс обратного хода градуировки.

При обработке результатов градуировки определяется номинальная функция преобразования и оцениваются погрешности измерительного канала (абсолютная и приведенная).

При оценке погрешности ИК применяется комплектный способ. Поверке подвергается весь канал, включая первичный преобразователь (тензорезисторы, наклеенные на нагружаемый образец и соединенные по схеме полумоста).

Функциональные схемы поверки ИК представлены в Приложении 1.

Так как применяемые в качестве первичных преобразователей тензорезисторы предназначены для разовой наклейки, то при градуировке ИК силы они наклеиваются непосредственно на изделие, подвергаемое в дальнейшем испытаниям. В связи с этим, поверка ИК силы производится каждый раз перед началом испытаний изделия.

При испытаниях штока хвостового редуктора вертолета МИ-26 производится нагружение штока растягивающей силой, которая измеряется двумя отдельными каналами (основным и дублирующим). Нагружение штока изгибающими силами при этом специально не производится. Изгибающие напряжения возникают вследствие перекосов при монтаже штока на стенде и, согласно НТД на испытания штока, не должны превышать некоторого предельного значения.

Для того чтобы избежать нагружения штока изгибающими силами, при градуировке ИК напряжения изгиба к штоку прикладывается эквивалентная сила растяжения.

Как при изгибе материала, так и при его растяжении, в пределах упругой деформации действует закон Гука.

$$\sigma_{изг} = E \cdot \varepsilon_{изг}, \quad (1a)$$

$$\sigma_{раст} = E \cdot \varepsilon_{раст}, \quad (1б)$$

где $\sigma_{изг}, \sigma_{раст}$ - напряжение изгиба и растяжения соответственно;

$\varepsilon_{изг}, \varepsilon_{раст}$ - относительное удлинение материала при изгибе и растяжении соответственно;

E - модуль упругости материала.

Для одного и того же материала изделия с модулем упругости A имеем:

$$\sigma_{изг} = \sigma_{раст} \text{ при } \varepsilon_{изг} = \varepsilon_{раст} \text{ (по модулю)} \quad (2)$$

Если при измерении напряжения изгиба и равного ему напряжения растяжения используются одни и те же активные тензорезисторы, то относительное изменение сопротивления тензорезисторов ($\Delta R/R$) в обоих случаях будет одинаково по модулю:

$$\left| \frac{\Delta R}{R} \right|_{изг} = \left| \frac{\Delta R}{R} \right|_{раст} \text{ при } |\varepsilon|_{изг} = |\varepsilon|_{раст} \quad (3)$$

Прикладываемая к нагружаемому образцу растягивающая сила $F_{\text{дддд}}$ (кгс) и возникающее при этом напряжение $\sigma_{\text{дддд}}$ (кгс/мм²) связаны между собой известным соотношением:

$$F_{раст} = \sigma_{раст} \cdot S, \text{ кгс,} \quad (4)$$

где S – площадь поперечного сечения нагружаемого образца в месте наклейки тензорезисторов, мм².

Схема соединений тензорезисторов (полумост) при измерении напряжения изгиба в процессе испытаний штока показана на рис. 1.

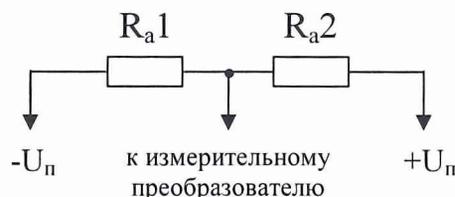


Рис. 1

Изображенные на рис. 1 активные тензорезисторы R_{a1} и R_{a2} наклеены в плоскости изгиба изделия с противоположных сторон и включены в разные плечи полумоста. При изгибе штока оба резистора воспринимают деформацию (один растягивается, а другой сжимается).

В случае использования при измерении силы (напряжения) изгиба двух активных тензорезисторов, подключенных к вторичной измерительной аппаратуре по схеме полумоста (рис.1), напряжение измерительного сигнала (U_c) на входе вторичного преобразователя определяется известным соотношением:

$$U_c \approx \frac{U_n}{2} \cdot \frac{\Delta R}{R}, \quad (5)$$

где U_n - напряжение источника питания полумоста;

$\frac{\Delta R}{R}$ - относительное изменение сопротивления тензорезистора под нагрузкой.

Если при градуировке ИК напряжения изгиба к нагружаемому образцу прикладывается эквивалентное напряжение (сила) растяжения, то схема соединений тензорезисторов измерительного полумоста преобразуется так, как это показано на рис. 2.

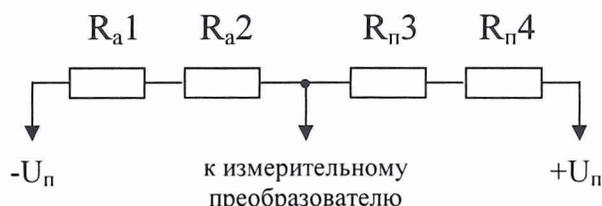


Рис. 2

В отличие от рис. 1, на рис. 2 активные тензорезисторы R_{a1} и R_{a2} , воспринимающие деформацию от силы растяжения, переключены в одно плечо полумоста. В другое плечо полумоста включены вспомогательные пассивные тензорезисторы R_{n3} и R_{n4} , которые берутся из той же партии, что и тензорезисторы R_{a1} и R_{a2} и наклеены перпендикулярно направлению приложения силы растяжения.

В этом случае напряжение измерительного сигнала на входе вторичного преобразователя определяется известным соотношением:

$$U_c \approx \frac{U_n}{4} \cdot \frac{\Delta R}{R} \quad (6)$$

Как видно из формул (5) и (6), при градуировке ИК напряжения изгиба изделия, в случае его нагружения эквивалентной силой растяжения, и при подключении тензорезисторов по схеме на рис. 2, напряжение измерительного сигнала будет в два раза меньше, чем в процессе измерений напряжения изгиба изделия при подключении тензорезисторов по схеме на рис. 1.

Таким образом, для того, чтобы привести в соответствие сигналы, получаемые по схеме на рис. 2 в процессе градуировки ИК напряжения изгиба, с сигналами, получаемыми по схеме на рис. 1 при последующих измерениях напряжения изгиба, необходимо напряжение сигналов, получаемых при градуировке ИК, сначала умножить на два, а затем произвести расчет коэффициентов индивидуальной функции преобразования ИК (см. раздел 8).

Примечания

1 Для исключения влияния разброса номинальных значений сопротивлений тензорезисторов R_{a1} , R_{a2} и R_{n3} , R_{n4} при их подключении в измерительную цепь по схемам на рис. 1 и 2 перед началом измерений производится предварительная балансировка измерительного полумоста с помощью устройства, входящего в комплект вторичных преобразователей.

2 Для получения двух ветвей градуировочной характеристики ИК (для обеспечения измерений напряжения при изгибе в противоположные стороны) градуировка ИК с приложением эквивалентных усилий растяжения выполняется дважды. При этом для

получения второй ветви градуировочной характеристики пары активных (R_{a1} , R_{a2}) и пассивных (R_{n3} , R_{n4}) тензорезисторов в плечах полумоста в схеме на рис. 2 меняются местами путем переключения двух внешних проводов питания полумоста.

3 Формулы (5) и (6) имеют приближенный вид. Вносимая этим погрешность имеет порядок одной десятой процента, и ею можно пренебречь.

При градуировке ИК напряжения изгиба штока прилагаемая к изделию эталонная сила растяжения $F_{i\text{раст}}$, создающая напряжение растяжения, равное напряжению изгиба ($\sigma_{i\text{раст}} = \sigma_{i\text{изг}}$), рассчитывается по формуле (4). При расчете берется среднее значение площади поперечного сечения штока S_{cp} .

В связи с тем, что площадь поперечного сечения штока может изменяться в пределах допустимых отклонений его наружного и внутреннего диаметров (по чертежу), возникает дополнительная погрешность измерения напряжения изгиба (δ_s), которая не относится непосредственно к основной погрешности измерительного канала и должна учитываться отдельно. Предел указанной погрешности рассчитывается по формуле:

$$\delta_s = \frac{\Delta S}{S_{cp}} \cdot 100, \% \quad (7)$$

где S_{cp} - среднее значение площади поперечного сечения штока, мм²;

ΔS - отклонение площади поперечного сечения штока от среднего значения, мм².

$$S_{cp} = \frac{S_{\max} + S_{\min}}{2}, \text{ мм}^2, \quad (8)$$

$$\Delta S = \frac{S_{\max} - S_{\min}}{2}, \text{ мм}^2 \quad (9)$$

где S_{\max} , S_{\min} - максимально возможное и минимально возможное значения площади поперечного сечения штока соответственно.

$$S_{\max} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{нар.\max}^2 - d_{внутр.\min}^2), \text{ мм}^2 \quad (10)$$

$$S_{\min} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_{нар.\min}^2 - d_{внутр.\max}^2), \text{ мм}^2 \quad (11)$$

где $d_{нар.\max}$, $d_{нар.\min}$, $d_{внутр.\max}$, $d_{внутр.\min}$ - максимальное и минимальное значения наружного и внутреннего диаметров штока соответственно (по чертежу).

2 ОПЕРАЦИИ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в таблице 3.

Таблица 3

Наименование операции	№ пункта методики поверки	Проведение операции	
		первичная поверка	периодическая поверка
1 Внешний осмотр	7.1	да	да
2 Опробование	7.2	да	да
3 Определение индивидуальной функции преобразования (градуировочной характеристики) и погрешности измерительного канала	7.3, 8.1...8.10	да	да

3 СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

3.1 При проведении поверки используются средства измерений и технические средства, приведенные в таблице 4.

Таблица 4

№№ пунктов методики поверки	Средства измерений и технические средства			Примечания
	Наименование	Погрешность измерения или класс точности	Диапазон измерений	
Рабочие эталоны				
7.2...7.4	Динамометры образцовые растяжения механические			
	ДОРМ-3-50У	0,5 % ИВ* (в диапазоне от 10 до 20% от ВП);	от 0 до 50 кН	Для ИК силы растяжения штока
	ДОРМ-3-10У	0,3 % ИВ (в диапазоне свыше 20 до 100% от ВП**)	от 0 до 10 кН	Для ИК напряжения изгиба штока и силы сжатия- растяжения тяги
	ДОРМ-3-5У		от 0 до 5 кН	Для ИК силы изгиба поводка
Вспомогательные средства измерений и оборудование				
6	Уровень рамный ГОСТ 9392-89	ц. д. 0,2 мм/м		Для ИК силы сжатия-растяжения тяги
7.2...7.4	Рычаг двуплечий вспомогательный 0081-163-080.00-01	± 0,1 мм	1036/460 мм	
	Устройство нагружения Т6368-0820		от минус 2000 до 2000 кгс	
	Устройство нагружения Т6368-0815		от минус 500 до 500 кгс	Для ИК силы изгиба поводка
	Устройство нагружения Т6365-0791		от 0 до 5000 кгс	Для ИК силы растяжения и напряжения изгиба штока
5.1	Термометр ГОСТ 28498-90	ц. д. 1 °С	от минус 30 до 60 °С	
	Барометр БАММ-1	± 1,5 мм рт.ст.	от 600 до 800 мм рт.ст	
	Психрометр аспирацион-ный типа МВ-4М	± 2,0 %	от 10 до 100 %	

ИВ* - измеряемая величина; ВП** - верхний предел

3.2 При проведении поверки допускается применять другие средства измерений, удовлетворяющие по точности и диапазону измерения требованиям настоящей методики.

3.3 При поверке должны использоваться средства измерений утвержденных типов.

3.4 Используемые при поверке рабочие эталоны должны быть поверены и иметь действующее свидетельство о поверке (поверочное клеймо).

3.5 Вспомогательные средства поверки должны быть поверены (откалиброваны) и иметь действующее свидетельство о поверке (поверочное клеймо) или сертификат о калибровке.

4 ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

4.1 При проведении поверки необходимо соблюдать требования техники безопасности, предусмотренные «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей» и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей» (изд.3), ГОСТ 12.2.007.0-75, ГОСТ 12.1.019-79, ГОСТ 12.2.091-94 и требования безопасности, указанные в технической документации на применяемые эталоны и вспомогательное оборудование.

4.2 Поверка ИК системы должна осуществляться лицами не моложе 18 лет, изучившими её эксплуатационную документацию.

4.3 Лица, участвующие в поверке системы, должны проходить обучение и аттестацию по технике безопасности и производственной санитарии при работе в условиях её размещения.

5 УСЛОВИЯ ПОВЕРКИ

При проведении поверки должны соблюдаться следующие условия:

5.1 Условия окружающей среды:

- | | |
|---|-------------------------------------|
| 5.1.1 Температура окружающего воздуха, °С (К) | от 10 до 30
(от 283 до 303) |
| 5.1.2 Относительная влажность воздуха, % | не более 80 |
| 5.1.3 Атмосферное давление, мм рт. ст. (кПа) | от 730 до 785
(от 97,3 до 104,6) |

5.2 Напряжение питания однофазной сети переменного тока при частоте (50 ± 1) Гц, В..... от 198 до 242.

Примечание: При проведении поверочных работ условия окружающей среды средств поверки (рабочих эталонов) должны соответствовать регламентируемым в их инструкциях по эксплуатации требованиям.

6 ПОДГОТОВКА К ПОВЕРКЕ

При подготовке к поверке ИК:

- проверить наличие поверочных пломб, клейм, а также свидетельств о поверке на рабочие эталоны;

- произвести наклейку тензорезисторов на нагружаемый образец (изделие) в соответствии с НТД на испытание изделия;

- изделие с наклеенными тензорезисторами установить на соответствующее устройство нагружения (см. табл. 4);

- перед поверкой ИК силы сжатия-растяжения тяги поворота лопасти проверяется горизонтальность вспомогательного рычага между образцовым динамометром и нагружаемым изделием. Проверку произвести при приложенном к изделию усилии сжатия, равном половине верхнего предела измерений ИК. Отклонение от горизонтали - не более 1,5 град. Отклонение контролировать уровнем рамным, ГОСТ 9392-89;

- произвести подключение тензорезисторов ко вторичной аппаратуре с помощью измерительного кабеля;

- проверить целостность электрических цепей измерительного канала;

- обеспечить оперативную связь оператора у монитора с оператором, задающим контрольные значения силы;

- включить вентиляцию и освещение;

- включить питание измерительных преобразователей и аппаратуры системы;

- запустить программу управления поверкой измерительных каналов в соответствии с руководством пользователя программы;

- перед началом поверки измерить и занести в протокол поверки условия окружающей среды (температура и влажность воздуха, атмосферное давление).

7 ПРОВЕДЕНИЕ ПОВЕРКИ

7.1 Внешний осмотр

При внешнем осмотре необходимо убедиться, что все входящие в измерительный канал компоненты не имеют внешних повреждений, которые могут влиять на его работу.

7.2 Опробование

При опробовании ИК необходимо выполнить следующее:

7.2.1 При отсутствии силы нагружения произвести балансировку измерительного тензомоста (установить нулевое показание измеряемой силы на экране монитора в соответствии с руководством пользователя системы).

7.2.2 Установить с помощью устройства нагружения и образцового динамометра силу, равную нижнему и верхнему пределам измерений данного измерительного канала и, наблюдая изменение показаний выходного сигнала на экране монитора, убедиться в работоспособности канала.

7.3 Определение индивидуальной функции преобразования (градуировочной характеристики) и погрешности измерительного канала.

7.3.1 Приложить на входе ИК с помощью устройства нагружения и образцового динамометра последовательно n ступеней эталонной силы x_j от x_1 до x_n (прямой ход) и 10 ступеней - от x_n до x_1 (обратный ход),

где j - номер ступени ($j = 1 \dots n$);

$x_1 = 0$, x_n - верхний предел диапазона измерений поверяемого ИК.

Примечания

1 В случае, если диапазон измерений поверяемого ИК силы (напряжения) состоит из положительной и отрицательной частей, градуировка ИК производится в два приема: сначала - для положительной части диапазона (положительная ветвь характеристики), а затем - для отрицательной (отрицательная ветвь характеристики). При этом нулевая точка условно относится к положительной ветви характеристики.

2 Рекомендуемые значения ступеней нагружения при поверке ИК силы и напряжения приведены в Приложении 2 к настоящей методике.

3 Эталонные значения силы x_j должны быть равномерно распределены внутри диапазона измерений ИК.

4 Нагружения и разгружения должны быть плавными, без ударов и толчков.

5 Подход к измеряемому значению должен осуществляться медленно с одной стороны, соответствующей ходу градуировочной характеристики, при этом перемена знака приращения силы не допускается.

7.3.2 На каждой ступени при прямом и обратном ходе произвести m измерений силы (напряжения), соответствующих устанавливаемым эталонным значениям. Указанный цикл измерений (прямой и обратный ходы) повторить l раз. В результате в памяти компьютера запоминаются массивы измеренных значений силы (напряжения) в условных единицах $y_{jk\gamma}$, $y_{jk\gamma}^*$ ($\gamma = 1, 2, \dots, l$; $k = 1, 2, \dots, m$). При первичной поверке $l = 10$, при периодической поверке $l = 7$; $m = 10$.

8 ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

8.1 Массивы измеренных значений силы (напряжения) в условных единицах $y_{jk\gamma M}$, $y_{jk\gamma B}$ предварительно обрабатываются на предмет устранения грубых промахов. Производится исключение аномальных результатов наблюдений по формулам, приведенным в ГОСТ 11.002-73 для случая, когда неизвестно генеральное среднее квадратическое отклонение и генеральное среднее.

8.2 Вычисляется среднее значение результатов наблюдений силы (напряжения) в условных единицах на каждой j -ой ступени:

$$y_j = \frac{y_{jM} + y_{jB}}{2} \quad (12)$$

для ИК силы:

$$y_{jM} = \frac{\sum_{\gamma} \sum_k y_{jk\gamma M}}{l \cdot m} \quad (13a), \quad y_{jB} = \frac{\sum_{\gamma} \sum_k y_{jk\gamma B}}{l \cdot m} \quad (13b)$$

для ИК напряжения изгиба штока:

$$y_{jM}^* = \frac{\sum_{\gamma} \sum_k y_{jk\gamma M}^*}{l \cdot m} \quad (14a), \quad y_{jB}^* = \frac{\sum_{\gamma} \sum_k y_{jk\gamma B}^*}{l \cdot m} \quad (14b),$$

где $y_{jk\gamma M}^* = 2 \cdot y_{jk\gamma M}$, $y_{jk\gamma B}^* = 2 \cdot y_{jk\gamma B}$

Примечание – При градуировке ИК напряжения изгиба штока полученные в результате измерений значения $y_{jk\gamma M}$ и $y_{jk\gamma B}$ сначала умножаются на два, а затем вычисляется среднее значение удвоенных результатов измерений (обоснование см. в разделе 1).

8.3 По средним значениям силы (напряжения) в условных единицах на каждой ступени вычисляется методом наименьших квадратов индивидуальная функция преобразования (градуировочная характеристика) в виде аппроксимирующего полинома первой степени:

$$x = a_0 + a_1 \cdot y \quad (15)$$

8.4 Вычисляется систематическая составляющая абсолютной погрешности $\bar{\Delta}_{cj}$ измерения силы (напряжения) на каждой j -ой ступени:

$$\bar{\Delta}_{cj} = |a_0 + a_1 \cdot y_j - x_j|, \text{ кгс (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (16)$$

где x_j – задаваемое эталонное значение силы (напряжения) на j -ой ступени.

8.5 Вычисляется вариация b_j на каждой j -ой ступени:

$$b_j = |x_{jM} - x_{jB}|, \text{ кгс (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (17)$$

$$x_{jM} = a_0 + a_1 \cdot y_{jM} \quad (18a) \quad x_{jB} = a_0 + a_1 \cdot y_{jB} \quad (18b)$$

8.6 Вычисляется оценка среднего квадратического отклонения силы (напряжения) на каждой j -ой ступени:

$$S_j(\Delta^\circ) = \sqrt{\frac{\sum_{\gamma} \sum_k (x_{jk\gamma M} - x_{jM})^2 + (x_{jk\gamma B} - x_{jB})^2}{2 \cdot l \cdot m - 1}}, \text{ кгс (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (19)$$

для ИК силы:

$$x_{jk\gamma M} = a_0 + a_1 \cdot y_{jk\gamma M} \quad (20a) \quad x_{jk\gamma B} = a_0 + a_1 \cdot y_{jk\gamma B} \quad (20б)$$

для ИК напряжения изгиба штока:

$$x_{jk\gamma M} = a_0 + a_1 \cdot y_{jk\gamma M}^* \quad (21a), \quad x_{jk\gamma B} = a_0 + a_1 \cdot y_{jk\gamma B}^* \quad (21б),$$

где $y_{jk\gamma M}^* = 2 \cdot y_{jk\gamma M}$, $y_{jk\gamma B}^* = 2 \cdot y_{jk\gamma B}$

8.7 Для каждой j -ой ступени силы вычисляется граница суммы неисключенных систематических погрешностей Θ_j :

$$\Theta_j = 1.1 \sqrt{\Delta_{C_j}^2 + \left(\frac{b_j}{2}\right)^2 + \Delta_{C1}^2 + \Delta_{C2}^2 + \Delta_{C3}^2}, \text{ кгс (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (22)$$

где Δ_{C1} – предел допускаемой абсолютной погрешности рабочего эталона (динамометра);

Δ_{C2} - предел допускаемой дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры тензорезисторов измерительного полумоста;

Δ_{C3} - предел допускаемой дополнительной погрешности, вызванной часовой ползучестью тензорезисторов измерительного полумоста.

8.7.1 Предел допускаемой абсолютной погрешности образцового динамометра (Δ_{C1}) в единицах измерения силы (кгс) или напряжения (кгс/мм²) принимается постоянным и рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{C1} = \frac{\delta_\circ \cdot x_n}{100}, \quad (23)$$

где x_n - верхний предел измерений поверяемого ИК, кгс (кгс/мм²);

δ_\circ - погрешность динамометра, %.

8.7.2 Предел дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры тензорезисторов измерительного полумоста (Δ_{C2}), определяется из следующих соображений.

В случае включения тензорезисторов одного типа в противоположные плечи полумоста, и при полном совпадении их температурных характеристик, происходит полная компенсация влияния изменения окружающей температуры на измерительный сигнал.

Реальные температурные характеристики тензорезисторов одного типа отличаются друг от друга. Это отличие характеризуется величиной среднего

квадратического отклонения значения функции влияния температуры на чувствительность тензорезисторов.

Предел дополнительной погрешности, вызванной изменением температуры тензорезисторов измерительного полумоста принимается постоянным и, исходя из вышеизложенного, рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{C2} = \Delta\bar{\Phi} \cdot S_{\phi} \cdot x_n, \text{ кгс (кгс/мм}^2\text{)}, \quad (24)$$

где x_n - верхний предел измерений поверяемого ИК силы (кгс) или напряжения (кгс/мм²);

$\Delta\bar{\Phi}$ - максимальное изменение (в относительных единицах) среднего значения функции влияния температуры на чувствительность тензорезистора при изменении температуры от нормального значения до максимального или минимального значения;

S_{ϕ} - среднеквадратическое отклонение (в относительных единицах) значения функции влияния температуры на чувствительность тензорезистора.

Примечание – В случае использования тензорезисторов типа КФ5, согласно ТУ 25-06.2002-80 имеем: $\Delta\bar{\Phi} = 0,1$; $S_{\phi} = 0,1$.

8.7.3 Предел дополнительной погрешности, вызванной часовой ползучестью тензорезисторов измерительного полумоста (Δ_{C3}), принимается постоянным и рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{C3} = \frac{\delta_{полз} \cdot x_n}{100}, \text{ кгс (кгс/мм}^2\text{)} \quad (25)$$

где $\delta_{полз}$ - среднее значение часовой ползучести применяемых тензорезисторов, %.

8.8 Оцениваются границы суммарной абсолютной погрешности $\bar{\Delta}_j$ на каждой j-ой ступени следующим образом:

- Определяем $K = \frac{\Theta_j}{S_j(\Delta^\circ)}$ (26)

- Если $K > 8$, то $\bar{\Delta}_j = \Theta_j$ (27)

- Если $K < 0,8$, то $\bar{\Delta}_j = t \cdot S_j(\Delta^\circ)$ (28)

- Если $0,8 \leq K \leq 8,0$, то $\bar{\Delta}_j = \sqrt{\frac{\Theta_j^2}{3} + S_j^2(\Delta^\circ)} \cdot \left(\frac{t \cdot S_j(\Delta^\circ) + \Theta_j}{S_j(\Delta^\circ) + \sqrt{\frac{\Theta_j^2}{3}}} \right)$ (29)

где t - коэффициент Стьюдента, который определяется при доверительной вероятности $P = 0,95$ для $\nu = 2 \cdot l \cdot m - 1$ в соответствии с ГОСТ 8.207-76, Приложение 2.

8.9 Абсолютная погрешность измерительного канала принимается равной максимальному значению погрешности $\bar{\Delta}_j$ на всех ступенях силы (напряжения):

$$\bar{\Delta} = \bar{\Delta}_{j_{\max}}, \text{ кгс (кгс/мм}^2\text{)} \quad (30)$$

8.10 Вычисляется приведенная погрешность измерительного канала:

$$\gamma = \frac{\bar{\Delta} \cdot 100}{F_{H3}}, \text{ \% (31a)}, \quad \gamma = \frac{\bar{\Delta} \cdot 100}{\sigma_{H3}}, \text{ \% (31б)},$$

где F_{H3} – нормированное максимальное значение (H3) силы (кгс);

σ_{H3} – нормированное максимальное значение напряжения (кгс/мм²) в соответствии с НТД на испытания изделия.

9 ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОВЕРКИ

Результаты поверки заносятся в Протокол поверки (Приложение 3).

При положительных результатах поверки оформляется свидетельство о поверке по форме, приведенной в приложении 1 ПР50.2.006-94.

При отрицательных результатах поверки оформляется извещение о непригодности к применению по форме, приведенной в приложении 2 ПР50.2.006-94.

Начальник лаборатории ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИИ МО РФ

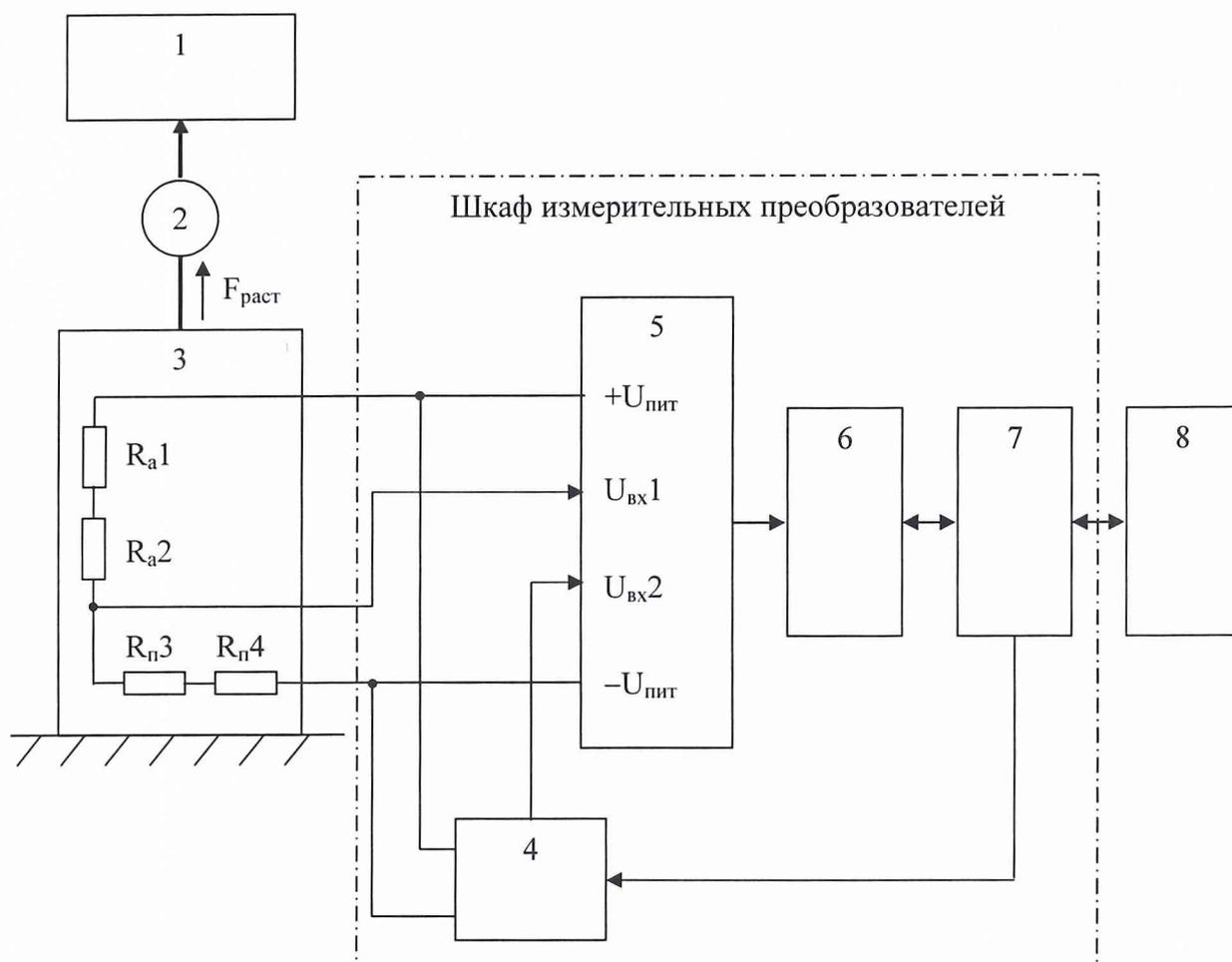


Р.А. Родин

Старший научный сотрудник ГЦИ СИ «Воентест»
32 ГНИИИ МО РФ

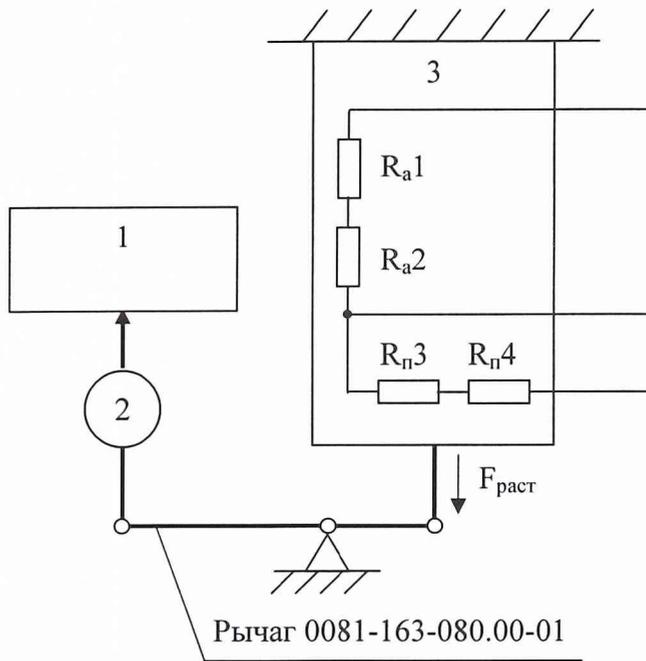


А.А. Горбачев



- 1 – устройство нагружения Т6365-0791;
 2 – динамометр образцовый ДОРМ-3-50У, ДОРМ-3-10У;
 3 – нагружаемый образец (шток хвостового редуктора);
 R_{a1} , R_{a2} – активные тензорезисторы измерительного полумоста (типа КФ5);
 $R_{п3}$, $R_{п4}$ – пассивные тензорезисторы измерительного полумоста (типа КФ5);
 4 – ЦАП устройства балансировки полумоста;
 5 – преобразователь измерительный 5В38;
 6 – АЦП на плате PXI-6040E;
 7 – компьютер нижнего уровня;
 8 – персональный компьютер верхнего уровня (с монитором).

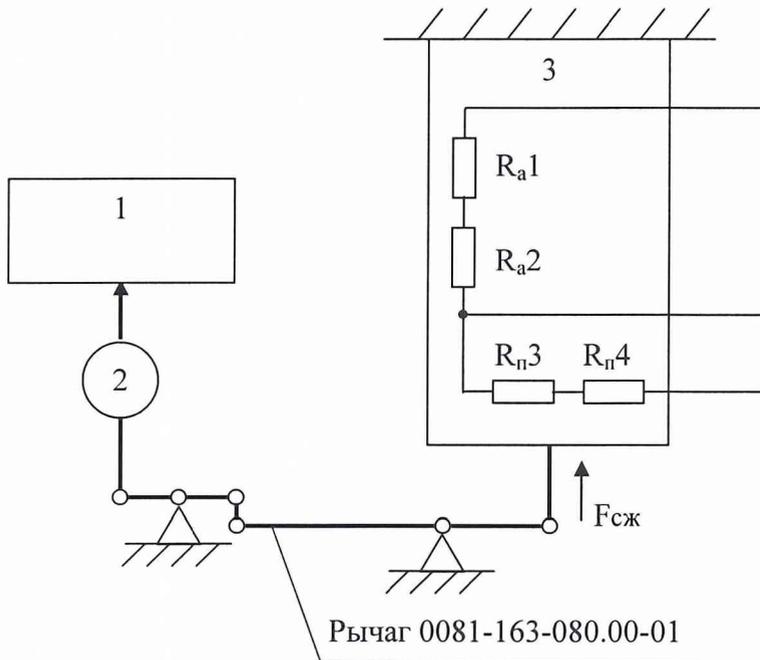
Рис. 1. Функциональная схема поверки ИК силы растяжения и напряжения изгиба штока хвостового редуктора.



На шкаф измерительных преобразователей (рис.1)

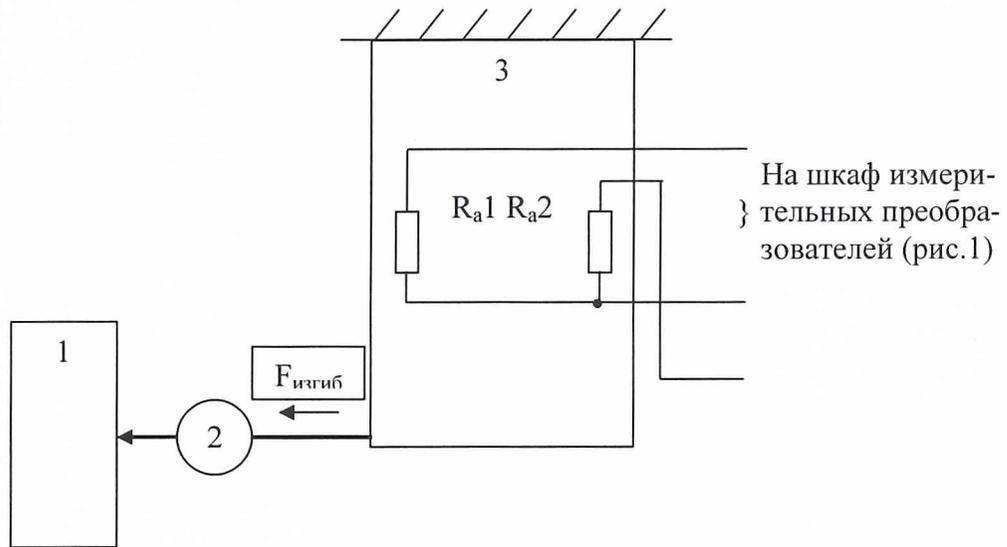
- 1 – устройство нагружения Т6368-0820;
- 2 – динамометр образцовый ДОРМ-3-10У;
- 3 – нагружаемый образец (тяга поворота лопасти).

Рис. 2а. Функциональная схема проверки ИК силы сжатия-растяжения тяги поворота лопасти при нагружении силой растяжения}.



На шкаф измерительных преобразователей (рис.1)

Рис. 2б. Функциональная схема проверки ИК силы сжатия-растяжения тяги поворота лопасти при нагружении силой сжатия.



- 1 – устройство нагружения Т6368-0815;
2 – динамометр образцовый ДОРМ-3-5У;
3 – нагружаемый образец (поводок автомата перекоса).

Рис. 3. Функциональная схема поверки ИК силы изгиба поводка автомата перекоса.

Приложение 2

Рекомендуемые значения ступеней нагружения ИК силы при поверке

1 ИК силы растяжения штока хвостового редуктора вертолета МИ-26

1.1 Усилие растяжения штока в сечении II (основной канал)

1.2 Усилие растяжения штока в сечении II (дублирующий канал)

№ ступени	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_j , кгс	0	510	1020	1530	2039	2549	3059	3569	4079	4589
$F_{дин}$, кН	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45

Примечание – Прикладываемая к изделию при градуировке ИК эталонная сила F_j (кгс) и показания образцового динамометра $F_{дин}$ (кН) связаны соотношением:

$$F_j = F_{дин} \cdot 1000/9,80665$$

2 ИК напряжения изгиба штока хвостового редуктора вертолета МИ-26

2.1 Напряжение изгиба штока в плоскости X в сечении I

2.2 Напряжение изгиба штока в плоскости Y в сечении I

2.3 Напряжение изгиба штока в плоскости X в сечении III

2.4 Напряжение изгиба штока в плоскости Y в сечении III

а) положительная ветвь характеристики

№ ступени	1	2	3	4	5	6	7	8	9
σ_j , кгс/мм ²	0	0,465	0,930	1,395	1,860	2,325	2,790	3,255	3,720
F_j , кгс	0	102	204	306	408	510	612	714	818
$F_{дин}$, кН	0	1	2	3	4	5	6	7	8

б) отрицательная ветвь характеристики

№ ступени	1	2	3	4	5	6	7	8
σ_j , кгс/мм ²	-0,465	-0,930	-1,395	-1,860	-2,325	-2,790	-3,255	-3,720
F_j , кгс	-102	-204	-306	-408	-510	-612	-714	-818
$F_{дин}$, кН	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-8

Примечания

1 Вместо эталонного напряжения изгиба в штоке создается равное ему напряжение растяжения σ_j , которое связано с прикладываемой к штоку эталонной силой растяжения F_j соотношением:

$$F_j = \sigma_j \cdot S_{шт.ср.},$$

где $S_{шт.ср.} = 219,34 \text{ мм}^2$ – среднее значение площади поперечного сечения штока.

2 Положительная и отрицательная ветви характеристики приняты условно и используются для измерений напряжения изгиба штока в одной плоскости в противоположных направлениях.

3 Ступень с нулевой нагрузкой условно отнесена к положительной ветви характеристики.

3 ИК силы изгиба поводка автомата перекоса вертолета МИ-24

3.1 Сила изгиба поводка (основной канал)

3.2 Сила изгиба поводка (дублирующий канал)

а) положительная ветвь характеристики

№ ступени	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
F_j , кгс	0	51	102	153	204	255	306	357	408	459
$F_{дин}$, кН	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5

б) отрицательная ветвь характеристики

№ ступени	1	2	3	4	5
F_j , кгс	-51	-102	-153	-204	-255
$F_{дин}$, кН	-0,5	-1,0	-1,5	-2,0	-2,5

Примечание – Положительная ветвь характеристики соответствует направлению приложения статической составляющей силы изгиба поводка.

4 ИК силы сжатия-растяжения тяги поворота лопасти автомата перекоса вертолета МИ-24

4.1 Сила сжатия-растяжения тяги поворота лопасти (основной канал)

4.2 Сила сжатия-растяжения тяги поворота лопасти (дублирующий канал)

а) положительная ветвь характеристики

№ ступени	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_j , кгс	0	232	464	695	927	1159	1391	1623	1854
$F_{дин}$, кН	0	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0

б) отрицательная ветвь характеристики

№ ступени	1	2	3	4	5	6
F_j , кгс	-232	-464	-695	-927	-1159	-1391
$F_{дин}$, кН	-1,0	-2,0	-3,0	-4,0	-5,0	-6,0

Примечания

1 Положительная ветвь характеристики соответствует силе сжатия, а отрицательная – силе растяжения тяги.

2 Прикладываемая к тяге при градуировке ИК эталонная сила F_j (кгс) и соответствующая ему сила на динамометре $F_{дин}$ (кН) связаны соотношением:

$$F_j = K_p \cdot F_{дин} \cdot 1000/9,80655,$$

где $K_p = 2,3731$ – коэффициент, учитывающий соотношение плеч двулучевого рычага между динамометром и нагружаемой тягой (значение коэффициента может уточняться после повторных измерений плеч рычага).

б) отрицательная ветвь характеристики

№ ступени										
Сила, кгс										

Результаты метрологических исследований и рабочие материалы, содержащие данные по составляющим погрешности ИК, приведены в приложении к настоящему протоколу. Расчет аппроксимирующего полинома и погрешности ИК производится в соответствии с методикой поверки АЭ2-805.01 МП.

6.3.3 Коэффициенты аппроксимирующего полинома

a_0	a_1

6.3.4 Погрешность ИК

Абсолютная погрешность, кгс	
*Нормированное значение силы (НЗ), кгс	
*Приведенная погрешность, %	

* Приведенная погрешность рассчитывается от нормированного значения силы (НЗ), указанного в НТД на испытания изделия.

7 Вывод

Погрешность измерительного канала «Сила.....»
»
 при доверительной вероятности $P = 0,95$ не превышает допустимого значения

Дата очередной поверки

Поверитель _____ (подпись, дата) _____ (ф.и.о.)