

УТВЕРЖДАЮ  
Генеральный директор  
ООО «Автопрогресс-М»



А. С. Никитин

«22» сентября 2015 г.

## ДАТЧИКИ УГЛА НАКЛОНА VDI-T

МЕТОДИКА ПОВЕРКИ

МП АПМ 42-15

г. Москва  
2015 г.

Настоящая методика распространяется на датчики угла наклона BDI-T (далее – датчики) в качестве рабочего средства измерений.

Интервал между периодическими поверками - 1 год.

## 1. Операции поверки

1.1. При проведении поверки должны выполняться операции, указанные в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование этапа поверки	Номер пункта документа по поверке
1	Внешний осмотр	6.1
2	Определение метрологических характеристик. Проверка диапазонов измерений, линейности градуировочной характеристики и погрешности измерений углов наклона	6.2

- 1.2. Операции поверки проводятся метрологическими службами, аккредитованными в установленном порядке.
- 1.3. Поверка датчика прекращается в случае получения отрицательного результата при проведении хотя бы одной из операций, измеритель признается непригодным к дальнейшему применению и на него выписывается извещение о непригодности.

## 2. Средства поверки

При проведении поверки должны применяться эталоны и вспомогательные средства, приведенные в таблице 2.

Таблица 2

№ пункта документа по поверке	Наименование эталонов, вспомогательных средств поверки и их основные метрологические и технические характеристики
7.4.1	Плита поверочная 2-0-630×400, ГОСТ 10905-86 Плоскопараллельные концевые меры длины класса точности 2 по ГОСТ 9038-90 Линейка синусная ЛС-300×90 класс точности 1 по ГОСТ 4046-80 Головка делительная оптическая ОДГ-60, ГОСТ 9016-77, (0÷360)°, Пг. 20" Мультиметр цифровой типа Agilent 34401A, пределы допускаемой погрешности измерений напряжения постоянного тока (0,0015 + 0,0004) % для диапазона (0÷10) В

Примечание: вместо указанных в таблице средств измерений разрешается применять другие с аналогичными характеристиками.

## 3. Требования к квалификации поверителей

К проведению измерений при поверке и к обработке результатов измерений допускаются лица, имеющие квалификацию поверителя и изучившие устройство и принцип работы датчиков по эксплуатационной документации на них.

## 4. Условия проведения поверки

4.1. При проведении поверки должны соблюдаться следующие нормальные условия измерений:

- температура окружающей среды, °С 20±5;
- относительная влажность воздуха, %, не более 70±20;

- атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)

86,0 ÷ 106,7 (630 ÷ 800).

4.2. Внешние электрические и магнитные поля должны отсутствовать, либо находиться в пределах, не влияющих на работу датчиков.

## 5. Подготовка к поверке

Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы:

5.1. Проверить наличие действующих свидетельств о поверке на средства поверки;

5.2. Датчики и средства поверки привести в рабочее состояние в соответствии с их эксплуатационной документацией;

5.3. Датчики и средства поверки должны быть выдержаны в испытательном помещении не менее 1 часа.

## 6. Проведение поверки

### 6.1. Внешний осмотр.

Проверку проводить визуально. Внешний вид датчиков приведен на Рис. 1 и Рис. 2.

Датчик считается выдержавшим поверку, если при осмотре на внешних поверхностях корпуса датчика, включая опорные винты (при их наличии в соответствии с конструктивным исполнением), не замечено наличия вмятин, забоин, сколов, деформаций.

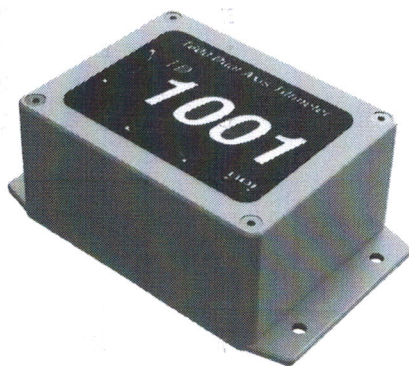


Рис. 1. Общий вид датчиков угла наклона BDI-T-410 и BDI-T-420

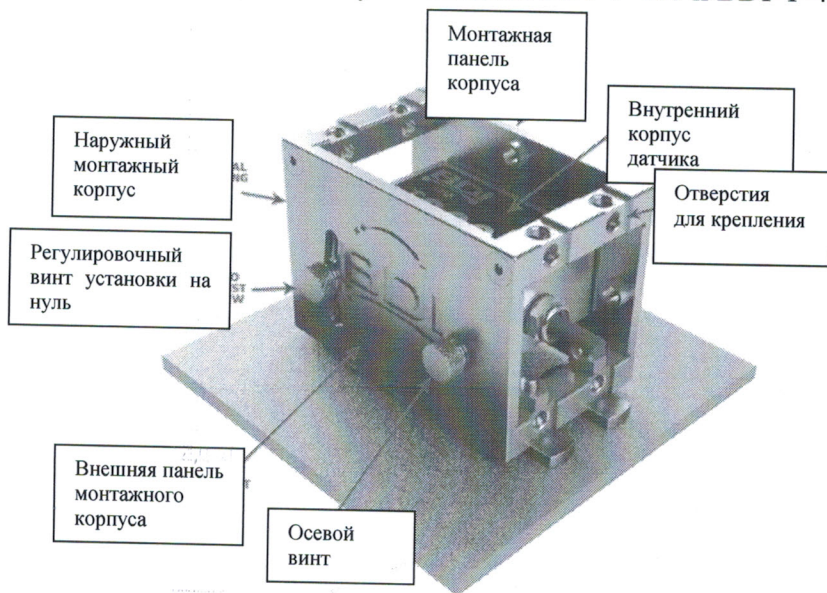


Рис. 2. Общий вид датчика углов наклона BDI-T-500

## 6.2. Определение метрологических характеристик.

6.2.1. Определение метрологических характеристик датчиков модификаций T410-X005, T410-X030, T410-X100, T420-X005-Y005, T420-X030-Y030, T420-X100-y100, T500-005, T500-030, T500-100.

Блок- схема поверки датчиков модификаций T410-X005, T410-X030, T410-X100, T420-X005-Y005, T420-X030-Y030, T420-X100-y100, T500-005, T500-030, T500-100 приведена на рисунке 2.

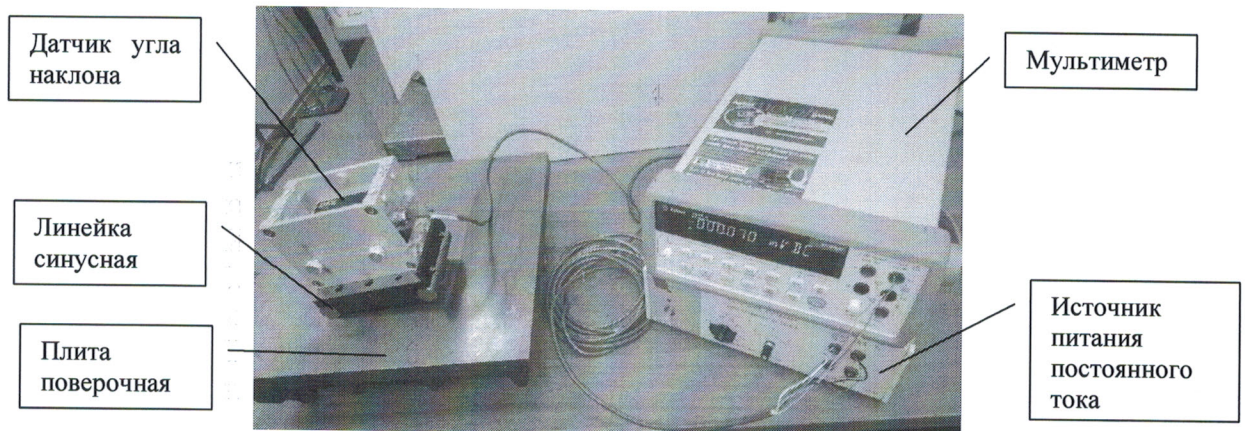


Рис. 2. Блок – схема поверки датчиков угла наклона модификаций T410-X005, T410-X030, T410-X100, T420-X005-Y005, T420-X030-Y030, T420-X100-y100, T500-005, T500-030, T500-100

6.2.1.1. Установить синусную линейку на плите поверочной 2-0-300×300.

6.2.1.2. Установить датчик на столе синусной линейки таким образом, чтобы измерительная ось X датчика была расположена вдоль измерительной оси (стола) синусной линейки.

6.2.1.3. Подсоединить поверяемый датчик к источнику питания постоянного тока с напряжением  $(5 \div 15)$  В и током  $(0,5 \div 0,9)$  мА. Маркировка присоединительных проводников или контактов разъема приведена в руководстве по эксплуатации на поверяемый датчик. Источник питания подключить к сети.

6.2.1.4. Подсоединить поверяемый датчик к вольтметру постоянного тока. Маркировка присоединительных проводников или контактов разъема приведена в руководстве по эксплуатации на поверяемый датчик. Вольтметр подключить к сети.

6.2.1.5. На приборы, питающиеся от внешней сети, подать напряжение питания.

6.2.1.6. Проверить горизонтальность установки компонентов поверочной цепи: плита поверочная, стол синусной линейки, поверяемый датчик. В случае горизонтальности установки, на показывающем устройстве вольтметра постоянного тока величина выходного напряжения датчика должна быть равна  $(2,50 \pm 0,18)$  В для датчиков модификаций: T410-X005, T410-X030, T420-X005-Y005, T420-X030-Y030, T500-005 и T500-030. Для датчиков модификаций T410-X100, T420-X100-Y100 и T500-100 величина выходного напряжения при горизонтальной установке датчика должна быть равна  $(2,50 \pm 0,42)$  В. Для датчиков модификаций T410-X600, T420-X600-Y600 и T500-600 величина выходного напряжения датчика должна быть равна  $(2,50 \pm 0,8)$  В.

6.2.1.7. Определение градуировочных характеристик датчиков модификаций T410-X005, T410-X030, T500-005, T500-030, T410-X100 и T500-100.

Определение градуировочных характеристик датчиков следует выполнять в следующем порядке:

- для поверяемого датчика в соответствии с его модификацией с помощью набора концевых мер длины задать максимальное значение положительного угла, установив стол синусной линейки с установленным на нем поверяемым датчиком на требуемый

угол. Величину угла контролировать по показаниям вольтметра, которое для всех модификаций датчиков при максимальном положительном измеряемом угле должно быть равно 1 В.

- произвести последовательное наклонение стола синусной линейки с датчиком на углы соответствующие диапазону поверяемого датчика. Наклон должен осуществляться степенями в соответствии с данными таблицы 3, в которой приведены величины углов установки стола синусной линейки в соответствии с модификацией поверяемого датчика.

Таблица 3.

Модификация датчика	Углы установки синусной линейки, $x^\circ$
T500-005 T410-X005	$x=0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 0,0; -0,1; -0,2; -0,3; -0,4; -0,5$
T500-030 T410-X030	$x=3,0; 2,5; 2,0; 1,5; 1,0; 0,5; 0,0; -0,5; -1,0; -1,5; -2,0; -2,5; -3,0$
T500-100 T410-X100	$x=10,0; 8,0; 6,0; 4,0; 2,0; 0,0; -2,0; -4,0; -6,0; -8,0; -10,0$

Углы необходимо задавать путем последовательной установки стола синусной линейки на требуемый угол  $x$  с помощью наборов концевых мер длины. Занести в протокол соответствующие показания со шкалы вольтметра  $y_{i,k}$ , где:  $i$  – номер градуировки, а  $k$  – номер ступени. Совокупность значений  $y_{i,k} = F(x)$  при фиксированном значении  $i$  представляет собой прямую ветвь градуировочной кривой;

- при установке стола синусной линейки с датчиком на максимальный отрицательный угол показание вольтметра для всех модификаций датчиков должно быть равно 4 В,
- после достижения максимального отрицательного значения угла произвести установку стола синусной линейки с датчиком на углы в соответствии с данными таблицы 3 в порядке их увеличения до максимального значения положительного угла. Занести соответствующие показания со шкалы вольтметра  $y_{i,k}$  в протокол. В этом случае, совокупность значений  $y_{i,k} = F(x)$  при фиксированном значении  $i$  представляет собой обратную ветвь градуировочной кривой;
- проверить показание вольтметра при максимальном положительном значении угла. Величина напряжения, фиксируемого вольтметром должна быть равна 1 вольту;
- прямая ветвь градуировочной кривой снимается в результате прямого хода градуировки датчика, обратная - в результате обратного хода градуировки датчика. Один прямой ход и один следующий за ним обратный ход градуировки составляют одну градуировку датчика. В ходе эксперимента необходимо произвести десять градуировок датчика, изменяя наклон стола синусной линейки.

#### 6.2.1.8. Определение градуировочных характеристик датчиков модификаций T420-X005-Y005, T420-X030-Y030, T420-X100-Y100.

Поверку проводить в следующей последовательности:

- выполнить все операции по пунктам 6.2.2.1 - 6.2.2.7 настоящей методики поверки для оси X;
- снять датчик со стола синусной линейки;
- развернуть корпус датчика на  $90^\circ$  относительно первоначальной установки и повторить все измерения пункту 6.2.2.1 настоящей методики поверки для второй оси Y датчика (углы установки датчиков задаются в соответствии с таблицей 4).

Таблица 4.

Модификация датчика	Углы установки синусной линейки, $x^\circ$
T420-X005-Y005	$y = 0,5; 0,4; 0,3; 0,2; 0,1; 0,0; -0,1; -0,2; -0,3; -0,4; -0,5$
T420-X030-Y030	$y = 3,0; 2,5; 2,0; 1,5; 1,0; 0,5; 0,0; -0,5; -1,0; -1,5; -2,0; -2,5; -3,0$
T420-X100-Y100	$y = 10,0; 8,0; 6,0; 4,0; 2,0; 0,0; -2,0; -4,0; -6,0; -8,0; -10,0$

6.2.2. Определение метрологических характеристик датчиков модификаций T410-X600, T420-X600-Y600 и T500-600.

Проверка диапазонов измерений и линейности градуировочной характеристики.

Блок- схема поверки датчиков модификаций T410-X600, T420-X600-Y600 и T500-600 представлена на рис. 3.



Рис. 3. Блок – схема поверки датчиков угла наклона T410-X600, T420-X600-Y600 и T500-600

Проведение поверки следует выполнять в следующем порядке:

- установить головку делительную оптическую на плите поверочной 2-0-300×300;
- разместить датчик с помощью установочного приспособления на оси головки делительной оптической таким образом, чтобы измерительная ось X датчика была расположена перпендикулярно измерительной оси головки делительной оптической (Рис. 3);
- выполнить процедуры пунктов 6.2.1.3 - 6.2.1.6 настоящей методики поверки;
- углы наклона датчика задавать изменением угла наклона оси головки делительной оптической, используя отсчетную шкалу головки. Величину угла наклона датчика контролировать по показаниям вольтметра, которое при максимальном положительном измеряемом угле должно быть равно 1 В.
- произвести последовательное наклонение стола – приспособления с датчиком на углы соответствующие диапазону поверяемого датчика. Наклон должен осуществляться ступенями в соответствии с данными таблицы 5, в которой приведены величины углов установки оси головки делительной оптической в соответствии с модификацией поверяемого датчика.

Таблица 5.

Модификация датчика	Углы установки синусной линейки, $x^\circ$
T410-X600 T500-600	$x = 60; 45; 30; 15; 0,0; -15; -30; -45; -60$
T420-X600-Y600	$y = 60; 45; 30; 15; 0,0; -15; -30; -45; -60$

- Требуемый угол в соответствии с таблицей 5 задается путем последовательной установки оси по отсчетной шкале головки делительной оптической. Занести в протокол соответствующие показания со шкалы вольтметра  $y_{i,k}$ , где:  $i$  – номер градуировки, а  $k$  – номер ступени. Совокупность значений  $y_{i,k} = F(x)$  при фиксированном значении  $i$  представляет собой прямую ветвь градуировочной кривой;
- при установке стола – приспособления с датчиком на максимальный отрицательный угол показание вольтметра для данных модификаций датчика должно быть равно 4 В;
  - после достижения максимального отрицательного значения угла произвести установку оси головки с поверяемым датчиком на углы в соответствии с данными таблицы 5 в порядке их увеличения до максимального значения положительного угла. Занести соответствующие показания со шкалы вольтметра  $y_{i,k}$  в протокол. В этом случае, совокупность значений  $y_{i,k} = F(x)$  при фиксированном значении  $i$  представляет собой обратную ветвь градуировочной кривой;
  - проверить показание вольтметра при максимальном положительном значении угла. Величина напряжения, фиксируемого вольтметром должна быть равна 1 вольту;
  - прямая ветвь градуировочной кривой снимается в результате прямого хода градуировки датчика, обратная - в результате обратного хода градуировки датчика. Один прямой ход и один следующий за ним обратный ход градуировки составляют одну градуировку датчика. В ходе эксперимента необходимо произвести десять градуировок датчика, изменяя наклон оси головки делительной оптической.

Для датчиков модификации T420-X600-Y600 операции поверки выполняются с использованием головки делительной оптической по пункту 6.2.1.8 настоящей методики поверки.

### 6.2.3. Обработка результатов измерений и определение погрешности датчиков.

Определение погрешности датчиков производится в процессе обработки результатов измерений в следующем порядке:

- определяют индивидуальную функцию преобразования и цену единицы наименьшего разряда датчика выхода по напряжению;
- определяют систематическую составляющую основной погрешности датчика на каждой ступени;
- определяют СКО случайной составляющей погрешности датчика на каждой ступени;
- определяют составляющие основной погрешности датчика в диапазоне измерений.

6.2.3.1. Индивидуальную функцию преобразования датчика определяют как обратную функцию, аппроксимируя ее полиномом 1-ой степени.

$$x = b + \mu \cdot y$$

где:

- $x$  - значение величины на входе датчика, определенное по значению величины на его выходе с помощью обратной функции преобразования;
- $b$  - смещение нуля индивидуальной функции преобразования;
- $\mu$  - цена единицы наименьшего разряда датчика;
- $y$  - значение величины на выходе датчика.

Параметры полинома находят методом наименьших квадратов. Их вычисляют следующим образом:

а) вычислить среднее значение результатов измерений в группах измерений  $k$ -ых ступеней;

где:  $n_k$  и  $n_k$  количество измерений, оставшихся после исключения грубых промахов;

$$\bar{y}'_k = \frac{1}{n'_k} \sum_{i=1}^{n'_k} y'_{ik} \quad (2)$$

$$\bar{y}''_k = \frac{1}{n''_k} \sum_{i=1}^{n''_k} y''_{ik} \quad (3)$$

б) вычислить среднее значения результатов измерений на  $k$ -тых ступенях

$$\bar{y}_k = \frac{\bar{y}'_k + \bar{y}''_k}{2} \quad (4)$$

в) вычислить значение коэффициентов полинома

$$\mu = \frac{\sum_{k=1}^N (x_k \cdot \bar{y}_k) - \frac{1}{N} (\sum_{k=1}^N x_k) \cdot (\sum_{k=1}^N \bar{y}_k)}{\sum_{k=1}^N y_k^2 - \frac{1}{N} (\sum_{k=1}^N \bar{y}_k)^2} \quad (5)$$

$$b = \frac{1}{N} (\sum_{k=1}^N x_k - \mu \cdot \sum_{k=1}^N \bar{y}_k) \quad (6)$$

где:  $x_k$  - значение углов, задаваемых на датчик с углоизмерительного образцового средства измерений на  $k$ -той ступени;  
 $N = 10$ .

6.2.3.2. Систематическую составляющую основной погрешности датчика на  $k$ -той ступени вычисляют по формулам:

$$\Delta_k^{осн} = (b - \mu \cdot \bar{y}_k) - x_k \quad (7)$$

$$\sigma_k^{осн} = \frac{\Delta_k^{осн}}{x_k} \cdot 100\% \quad (8)$$

6.2.3.3. СКО случайной составляющей основной абсолютной и относительной погрешностей измерителя на  $k$ -той ступени вычисляют по формулам:

$$Q[\Delta_k^{осн}] = \frac{\mu \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^{n_k} (\bar{y}'_{ik} - \bar{y}'_k)^2 + \sum_{i=1}^{n''_k} (\bar{y}''_{ik} - \bar{y}''_k)^2}}{n'_k + n''_k} \quad (9)$$

$$Q[\sigma_k^{осн}] = \frac{Q[\Delta_k^{осн}]}{x_k} \cdot 100\% \quad (10)$$

6.2.3.4. В качестве составляющей основной погрешности датчика в диапазоне измерений (их обозначают без индекса « $k$ ») выбирают наибольшее значение на  $k$ -тых ступенях.

6.2.3.5. Результаты вычислений по п. 6.2.3 и 6.2.4 заносят в таблицу (Приложение 1).

Результаты поверки считаются положительными, если диапазоны и пределы допускаемой погрешности измерений угла наклона не превышают величин приведенных в таблицах 6-8.



Таблица 6.

Техническая характеристика / Модификация	T410- X005	T410- X030	T410- X100	T410- X600
Диапазон измерений угла наклона, ...°	±0,5	±3	±10	±60
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерений угла наклона при измерениях в ±50% области диапазона измерений, не более, %	±2,0	±2,0	±2,0	±0,8
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерений угла наклона при измерениях в полном диапазоне измерений, не более %	±8	±8	±5	±3

Таблица 7.

Техническая характеристика / Модификация	T420- X005- Y005	T420- X030- Y030	T420- X100- Y100	T420- X600- Y600
Диапазон измерений угла наклона по координатам x-y, ...°	±0,5	±3	±10	±60
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерений угла наклона при измерениях в ±50% области диапазона измерений по координатам x-y, не более, %	±2,0	±2,0	±2,0	±0,8
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерений угла наклона при измерениях в полном диапазоне измерений по координатам x-y, не более %	±8	±8	±5	±3

Таблица 8.

Техническая характеристика / Модификация	T500- 005	T500- 030	T500- 100	T500- 600
Диапазон измерений угла наклона,	±0,5	±3	±10	±60
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерений угла наклона при измерениях в ±50% области диапазона измерений, не более, %	±3,0	±2,0	±2,0	±0,8
Пределы допускаемой приведенной погрешности измерений угла наклона при измерениях в полном диапазоне измерений, не более %	±10	±8	±5	±3

**8. Оформление результатов поверки**

8.1. Результаты поверки оформляются протоколом, составленным в виде таблицы результатов поверки, приведенной в таблице 1 приложения к настоящей методики поверки.

8.2. При положительных результатах поверки датчики признаются годными к применению и на них выдается свидетельство о поверке установленной формы с указанием фактических результатов определения метрологических характеристик.

8.3. При отрицательных результатах поверки датчики признаются непригодными к применению и на них выдается извещение о непригодности установленной формы с указанием основных причин.

Начальник сектора  
ООО «Автопрогресс-М»



Максимов М. В.

