



ВНИИМ

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева»

Семинар-совещание главных метрологов и ведущих специалистов в Тюменской и Курганской областях, ХМАО-Югре и ЯНАО
11-13 февраля 2026 года

Докладчик: Тюрнина Анастасия,
к.ф.-м.н., и.о. зав. лабораторией 221

Определение интервала между поверками средств измерений на основе испытаний до метрологического отказа



Предпосылки

➤ **Приказ Росстандарта от 02.07.2019 №1502**

«Об утверждении рекомендуемых предельных значений интервалов между поверками СИ»

➤ **Приказ Минпромторга России от 28.08.2020 №2905**

«Об утверждении **порядка проведения испытаний СО или СИ** в целях утверждения типа, порядка утверждения типа СО или типа СИ, внесения изменений в сведения о них, порядка **выдачи сертификатов** об утверждении типа СО или типа СИ, формы сертификатов об утверждении типа СО или типа СИ, требований к знакам утверждения типа СО или типа СИ и порядка их нанесения»

➤ **Приказ Минпромторга России от 28.08.2020 г. №2907**

«Об утверждении порядка установления и изменения **интервала между поверками СИ**, порядка **установления, отмены методик поверки и внесения изменений в них**, **требований к методикам поверки СИ**»



Понятийный аппарат

Надежность (объекта) - свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в заданных режимах, условиях применения, стратегиях технического обслуживания, хранения и транспортирования

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств (ГОСТ Р 27.102-2021)

Безотказность – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки в заданных режимах и условиях применения (ГОСТ Р 27.102-2021)

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта (ГОСТ Р 27.102-2021)

Предельное состояние – состояние объекта, в котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно (ГОСТ Р 27.102-2021)

Критерий предельного состояния – признак или совокупность признаков, установленных в документации, появление которых свидетельствует о возникновении предельного состояния объекта (ГОСТ Р 27.102-2021)

Понятийный аппарат

Коэффициент ускорения испытаний – отношение значений времени получения информации об оцениваемом показателе надежности в нормальном и ускоренном режимах (ГОСТ Р 27.102-2021)

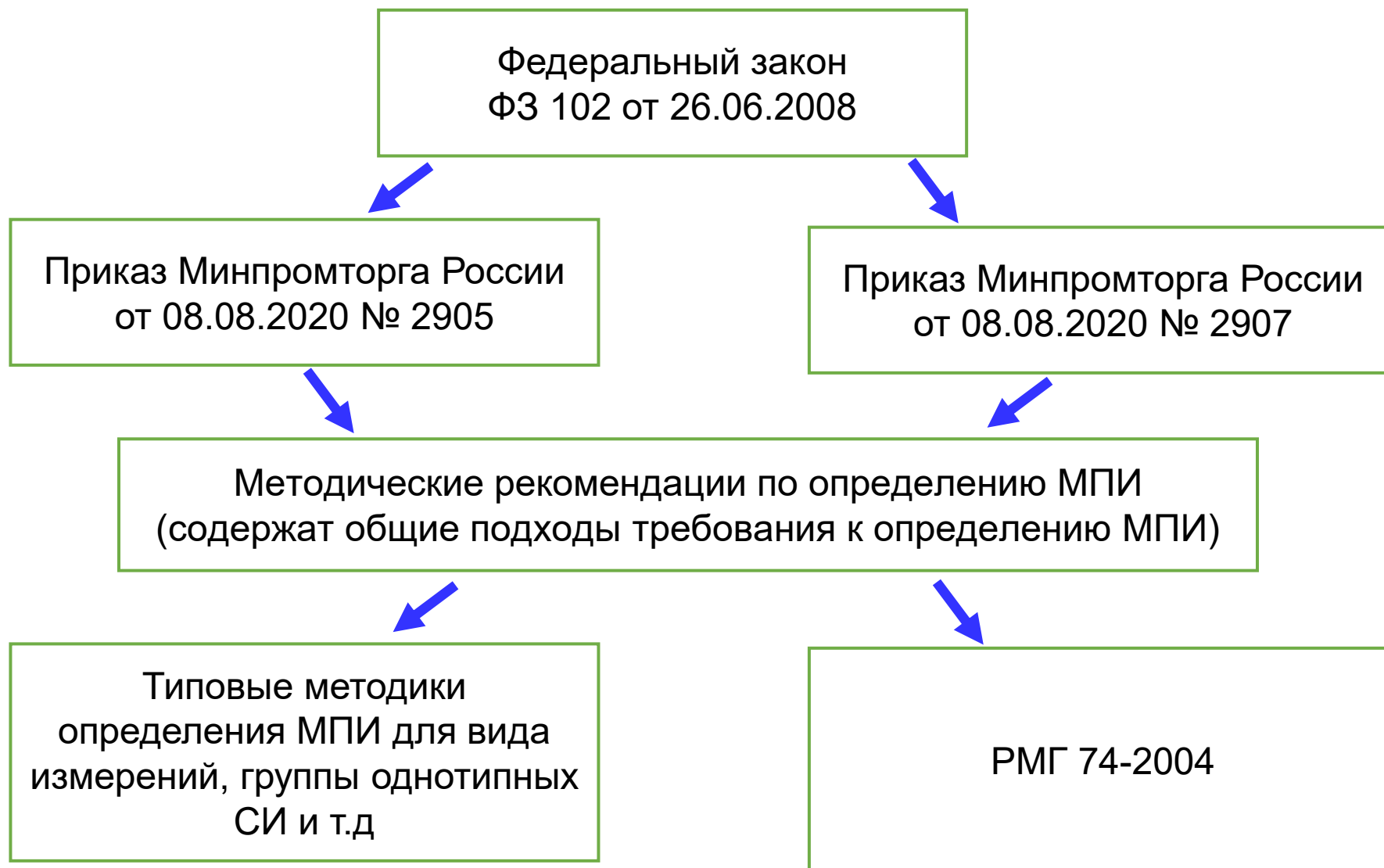
План испытаний на надежность – совокупность правил, устанавливающих объем выборки, порядок проведения испытаний, критерии их завершения и принятия решений по результатам испытаний на надежность (ГОСТ Р 27.102-2021)

Критерий отказа – признак или совокупность признаков нарушения работоспособного состояния объекта, установленные в документации (ГОСТ Р 27.102-2021)

Гамма-процентная наработка между отказами – наработка между отказами, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью гамма, выраженной в процентах (ГОСТ Р 27.102-2021)

Метрологический отказ СИ – выход метрологической характеристики средства измерений за установленные пределы (РМГ 74 – 2004)

Нормативное обеспечение определения и назначения МПИ



Нормативное обеспечение определения и назначения МПИ

Определение динамических МПИ

Средняя наработка до отказа соизмерима с МПИ, ярко выражен период приработки.

Начальный МПИ - по результатам испытаний до метрологического отказа.

После срока службы - минимальный МПИ

Метрологический самоконтроль

(автоматическая проверка метрологической исправности СИ в процессе эксплуатации).

Полноценная периодическая поверка СИ невозможна.

Дополнительные измерительные преобразователи и меры

СИ с прогрессирующей погрешностью

(демонтаж СИ невозможен, 1/10 срока службы)

СИ- свидетели

(группа СИ одного типа, находящиеся в подконтрольной эксплуатации),

Периодическая поверка и демонтаж невозможны.

СИ единичного производства

МИ 3676 ГСИ. Рекомендации по определению интервалов между поверками средств измерений.
Основные положения

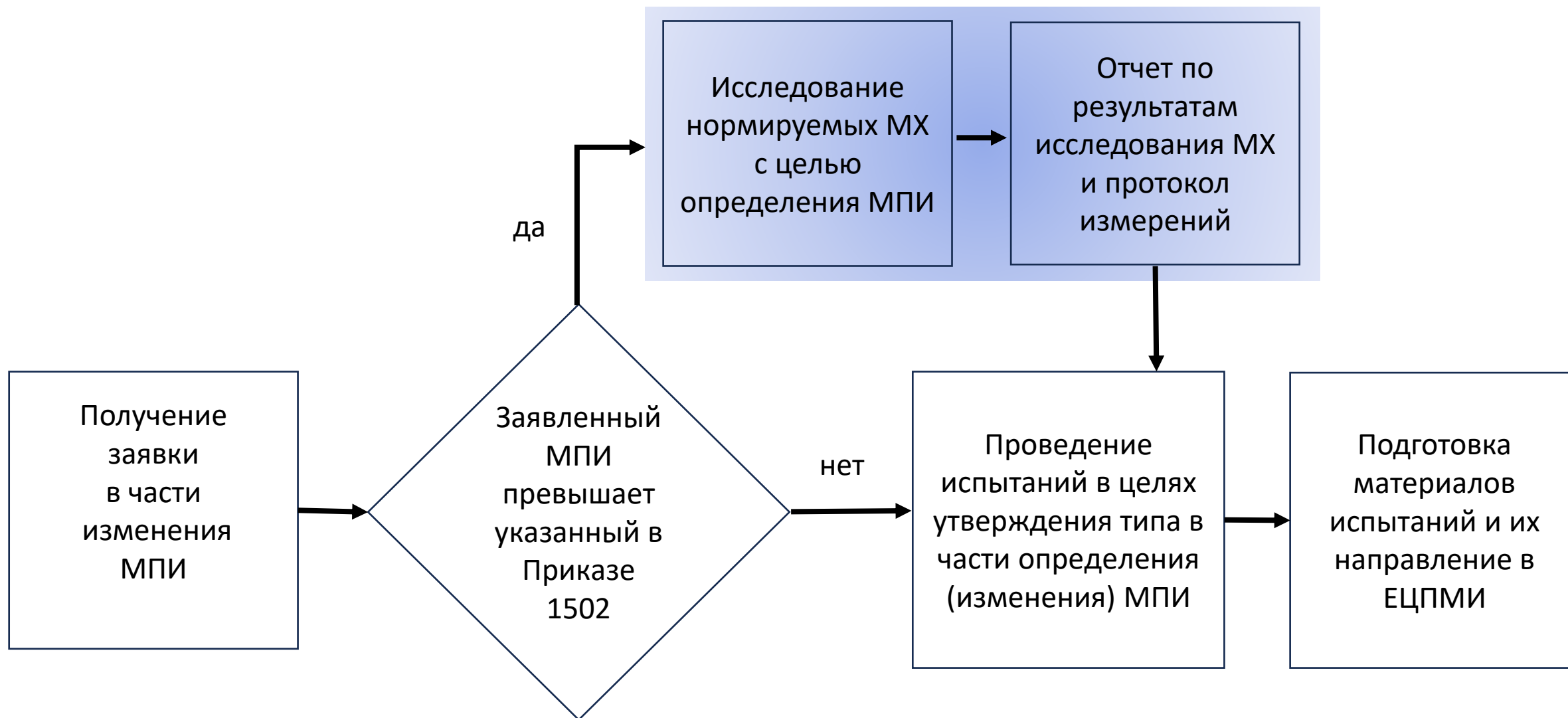
Определение продолжительности МПИ

(уравнение регрессии, ошибка прогноза)

Выборочная поверка

Критерии, процедуры по формированию выборки по МИ 187, ГОСТ Р ИСО 2859, ГОСТ Р ИСО 3951 Производство СИ последовательными однородными партиями, контроль качества на всех этапах производства

Изменения интервалов между поверками



Нормативное обеспечение определения МПИ

- **МИ 3674-2023** ГСИ. Типовая методика определения продолжительности интервалов между поверками средств измерений дозрывоопасных концентраций горючих газов и паров горючих жидкостей
- **МИ 3675-2023** ГСИ. Типовая методика определения продолжительности интервалов между поверками датчиков скорости воздушного потока (ветра) механических
- **МИ 3677-2023** ГСИ. Типовая методика определения продолжительности интервалов между поверками термогигрометров
- **МИ 3678-2023** ГСИ. Типовая методика определения продолжительности интервалов между поверками датчиков давления
- **МИ 3670-2023** ГСИ. Типовая методика определения продолжительности интервалов между поверками термопреобразователей сопротивления с унифицированным выходным сигналом
- **МИ 3680-2024** ГСИ. Типовая методика определения продолжительности интервалов между поверками трансформаторов тока

Испытания до метрологического отказа газоанализаторов

- совместно с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» разработана методика определения интервала между поверками для датчиков - газоанализаторов стационарных ДГС ЭРИС-210, ДГС ЭРИС-230 в соответствии с МИ 3674-2023
- целевое значение интервала между поверками – 3 года для датчиков-газоанализаторов с оптическим сенсором
- отбор образцов

$$N = \frac{a_1}{1-P_{min}} - \frac{a_1}{2}, \quad (1)$$

где a_1 – половина аргумента функции распределения Хи-квадрат при нулевом числе отказов
 P_{min} – нижнее значение вероятности безотказной работы для экспоненциального распределения

Нижнее значение вероятности безотказной работы для экспоненциального распределения определяют по формуле

$$P_{min} = \exp(-\lambda_{max} \cdot t_{и}), \quad (2)$$

где λ_{max} – верхнее значение интенсивности отказов для СИ, ч⁻¹

$t_{и}$ – время проведения испытаний на безотказность, ч

Испытания до метрологического отказа газоанализаторов

Приложение № 1

АКТ ОТБОРА

Пермский край, г. Чайковский, ул. Промышленная, 8/25

Фамилия, имя, отчество (при наличии), должность специалиста, проводившего отбор СИ, наименование организации	Лифинцева М.Н. Вед.инженер лаб.221 УНИИМ-филиал ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»
Отбор СИ произведён с участием представителей (фамилия, имя, отчество (при наличии), должность, наименование организации)	Кречетов С.В. Директор по метрологии ООО «ЭРИС»
Наименование СИ	Сенсоры IR-C ₂ H ₈ -50 (диапазон измерений от 0 до 50 % НКПР; пределы допускаемой основной абсолютной погрешности ±5 % НКПР)
Цель проведения исследования	Проведение испытаний на метрологический отказ датчиков - газоанализаторов стационарных ДГС ЭРИС-210, ДГС ЭРИС-230
Процедура отбора СИ	Отобрать случайным образом 67 сенсоров из партии 700 штук
Данные отобранных СИ, заводские номера	2407403, 2407407, 2407409, 2407411, 2407412 2407413, 2407414, 2407415, 2407416, 2407418 2407419, 2407420, 2407421, 2407422, 2407424 2407425, 2407426, 2407427, 2407428, 2407429 2407431, 2407432, 2407433, 2407435, 2407436 2407437, 2407439, 2407440, 2407441, 2407443 2407444, 2407445, 2407446, 2407447, 2407449 2407450, 2407452, 2407453, 2407455, 2407456 2407458, 2407459, 2407460, 2407461, 2407462 2407463, 2407464, 2407466, 2407467, 2407471 2407472, 2407474, 2407475, 2407476, 2407478 2407480, 2407481, 2407483, 2407486, 2407487 2407488, 2407489, 2407495, 2407497, 2407498 2407499, 2407501

Вед. инженер лаб. 221
УНИИМ-филиал ФГУП «ВНИИМ
им.Д.И.Менделеева»

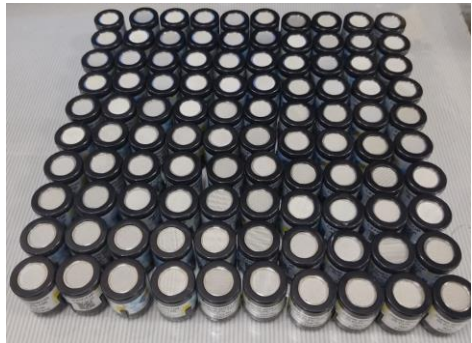
М.Н. Лифинцева

М.Н. Лифинцева

Директор по метрологии
ООО «ЭРИС»



С.В. Кречетов



Испытания до метрологического отказа газоанализаторов

➤ Содержание и объем исследований

- Анализ конструкции СИ
- Проверка идентификационных данных ПО
- Анализ информации о комплектующих изделиях и материалах из состава СИ
- Анализ производства СИ (ISO 9001, и (или) ISO/IEC 17025), $k_{пр}$
- Анализ гарантийных обязательств изготовителя, $k_{гар}$
- Анализ условий эксплуатации СИ, $k_{уск}$
- Анализ области применения СИ
- Анализ сведений о результатах поверок СИ, $k_{над}$
- Исследование метрологических характеристик газоанализаторов, $T_{исп}$

- По результатам испытаний **МПИ** определяют по формуле

$$T_{МПИ} = T_{исп} \cdot k_{над} \cdot k_{пр} \cdot k_{гар} \quad (3)$$

- где $k_{над}$ - корректирующий коэффициент, определяемый результатами поверок СИ
 $k_{пр}$ - корректирующий коэффициент качества производства
 $k_{гар}$ - корректирующий коэффициент, учитывающий гарантийные обязательства производителя
- Подготовлен Отчет по определению продолжительности интервалов между поверками
- Получено Заключение по экспертизе материалов по определению МПИ от центра метрологической надежности ФГУП «ВНИИМ им.Д.И.Менделеева»

Испытания до метрологического отказа термоанализаторов

- совместно с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» разработана методика определения интервала между поверками термопреобразователей с унифицированным выходным сигналом в соответствии с МИ 3670-2023
- целевое значение интервала между поверками – 5 лет
- из партии 100 шт случайным образом отобраны 26 термопреобразователей
- отбор образцов
Количество образцов определено из допустимого числа необходимых наблюдений до принятия решения о приемке или браковке в соответствии с Приложением А ГОСТ Р 27.403



Минимальное количество образцов $N_{\text{обр}}$ должно удовлетворять следующему соотношению:

$$N_{\text{обр}} = \frac{N}{\tau/\Delta\tau}, \quad (4)$$

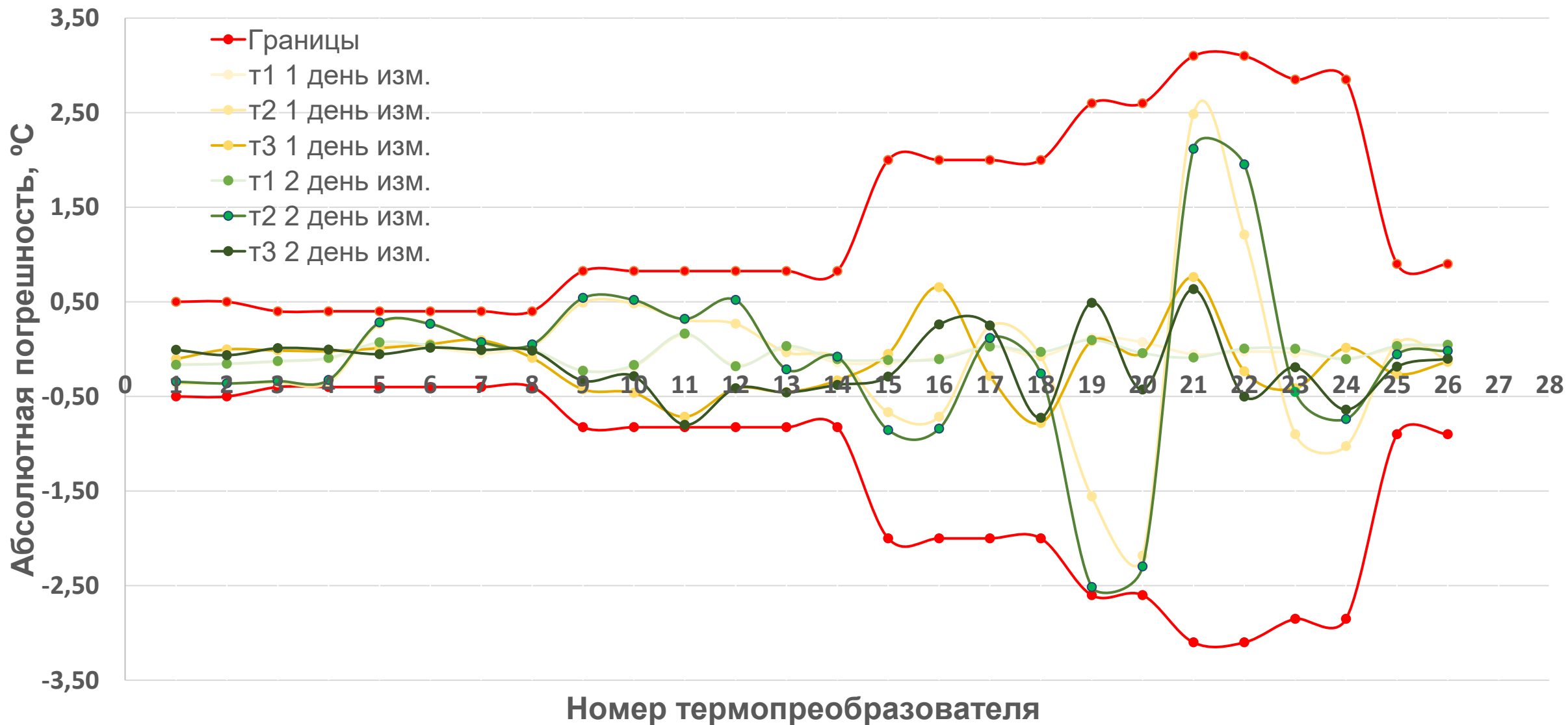
где N – число наблюдений до принятия решения, определенное в соответствии с Приложением А ГОСТ Р 27.403

τ – продолжительность исследований

$\Delta\tau$ – интервал между контролем метрологических характеристик

- 3 контрольные точки в интервалах: от t_{\min} до $(t_{\min} + 0,05 \cdot \text{ДИ})$, от $(t_{\min} + 0,45 \cdot \text{ДИ})$ до $(t_{\min} + 0,55 \cdot \text{ДИ})$
от $(t_{\max} - 0,05 \cdot \text{ДИ})$ до t_{\max}

Испытания до метрологического отказа термоанализаторов



Испытания до метрологического отказа преобразователей давления

- совместно с ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» разработаны методика определения интервалов между поверками для преобразователей давления в соответствии с МИ 3678-2023
- целевое значение интервала между поверками – 6 года
- отбор образцов по 4 шт СИ избыточного давления, абсолютного давления и разности давлений



Научно-технический подход к определению МПИ на основе испытаний до метрологического отказа

- Проводят анализ дрейфа метрологических характеристик СИ в процессе его длительной эксплуатации под воздействием нагрузки
- Через установленные промежутки времени или **наработки** Δt проводят исследование МХ – основной погрешности
- **Определяют основную погрешность** $X_{j,k}$ каждого j -ого СИ при каждом k -ом значении измеряемой величины
- Рассчитывают **среднее значение основной приведенной погрешности** в момент времени t_i ,

$$\bar{X}_j(t_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_{jk}(t_i) \quad (5)$$

$$S_j^2(t_i) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n \left(\overline{X}_{jk}(t_i) - \bar{X}_j(t_i) \right)^2 \quad (6)$$

- где $j = \overline{1, N}$; $i = \overline{1, L}$, N – количество испытываемых образцов, L – количество контрольных измерений МХ

Научно-технический подход к определению МПИ на основе испытаний до метрологического отказа

- По критерию Кохрена проверяют однородность дисперсии $S_j^2(t_1)$
- Рассчитывают величину

$$\bar{\bar{X}}(t_i) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \bar{X}_j(t_i) = \frac{1}{nN} \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^n X_{jk}(t_i) \quad (7)$$

где $i = \overline{1, L}$

- Методом наименьших квадратов рассчитывают коэффициенты линейной регрессии:

$$\hat{\bar{X}}(t_i) = \hat{a} + \hat{b}t_i \quad (8)$$

$$\hat{a} = \frac{\sum_{i=1}^L \bar{\bar{X}}(t_i) - \hat{b}t_i}{L} \quad (9)$$

$$\hat{b} = \frac{L \sum_{i=1}^L t_i \bar{\bar{X}}(t_i) - \sum_{i=1}^L t_i \sum_{i=1}^L \bar{\bar{X}}(t_i)}{L \sum_{i=1}^L t_i^2 - (\sum_{i=1}^L t_i)^2} \quad (10)$$

- Проверяют гипотезу: $\hat{b} \neq 0$ с использованием коэффициента Стьюдента
- Проверяют гипотезу об адекватности регрессии экспериментальным данным с использованием квантиля распределения Фишера

Научно-технический подход к определению МПИ на основе испытаний до метрологического отказа

- Если целевой интервал между поверками $T_{ц}$, то предельное значение погрешности СИ в момент времени $t = T_{ц}$

- $$X_{lim}(T_{МПИ}) = \max \begin{cases} \left| \widehat{\bar{X}}(T_{ц}) + t_{1-\frac{\alpha}{2}, L, N(n-1)} \cdot S(\widehat{\bar{X}}(T_{ц})) \right| \\ \left| \widehat{\bar{X}}(T_{ц}) - t_{1-\frac{\alpha}{2}, L, N(n-1)} \cdot S(\widehat{\bar{X}}(T_{ц})) \right| \end{cases} \quad (11)$$

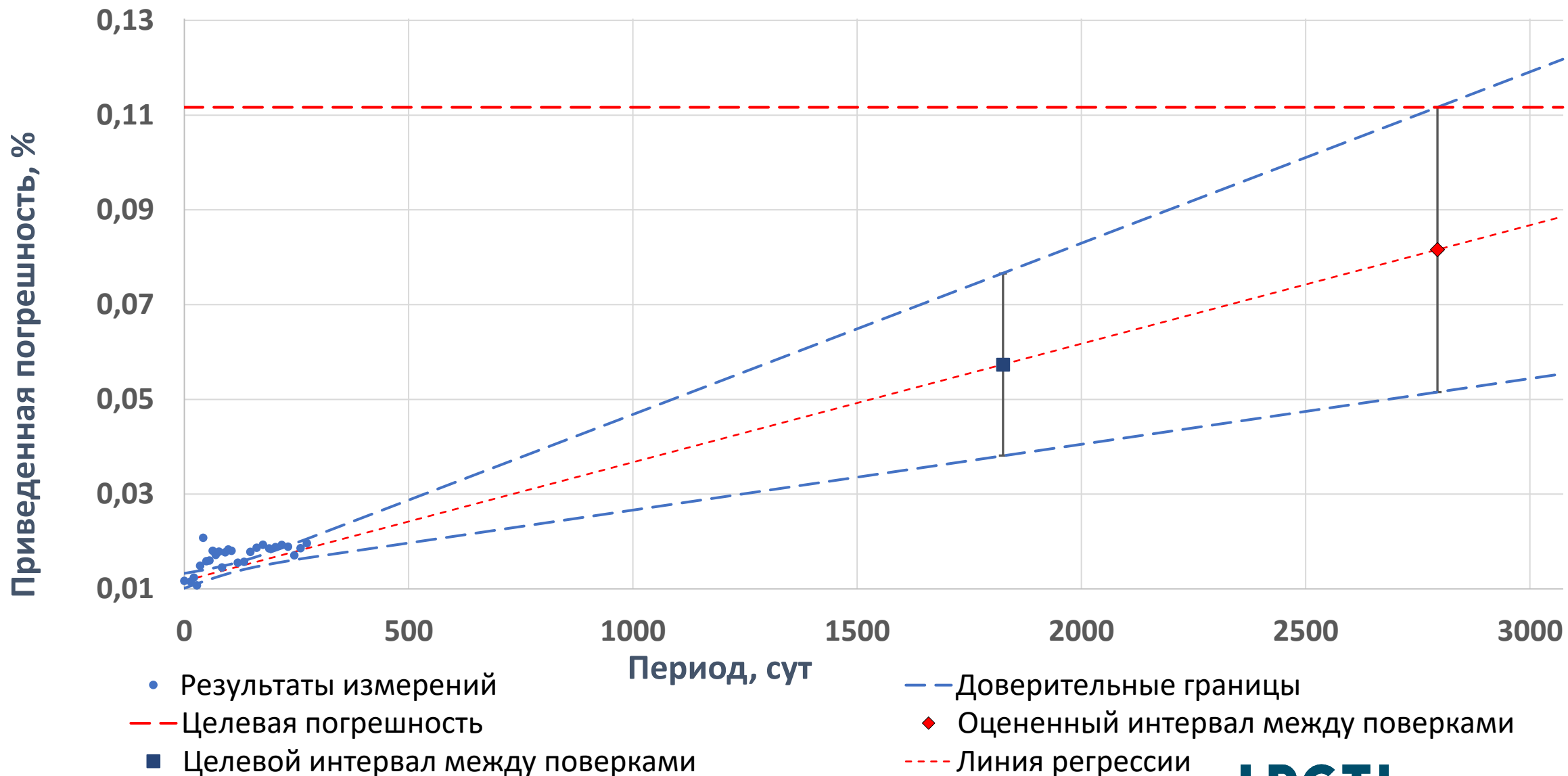
- где $t_{1-\frac{\alpha}{2}, L, N(n-1)}$ - коэффициент Стьюдента, $\widehat{\bar{X}}(T_{ц})$ определяется по (8) при $t_i = T_{ц}$

- $$S(\widehat{\bar{X}}(T_{ц})) = S_X \sqrt{1 + \frac{1}{L} + \frac{(T_{ц} - \bar{t})^2}{\sum_{i=1}^L (t_i - \bar{t})^2}} \quad (12)$$

- $$S_X^2 = \frac{1}{nLN} \sum_{i=1}^L \sum_{j=1}^N S_j^2(t_i) \quad (13)$$

где $\bar{t} = \frac{1}{L} \sum_{i=1}^L t_i$.

Графическое представление результатов оценки интервала между поверками



Проведение испытаний до метрологического отказа при НУ, повышенной и пониженной температуре

- проведены для серийно выпускаемых АО «НПК ВИП» преобразователей давления измерительных СДВ-SMART
- модификации 1171, **ВПИ избыточного давления 100 МПа, КТ 0,1**
- первичный преобразователь выполнен по технологии КНС (кремний на сапфире)



Проведение испытаний при НУ, повышенной и пониженной температуре

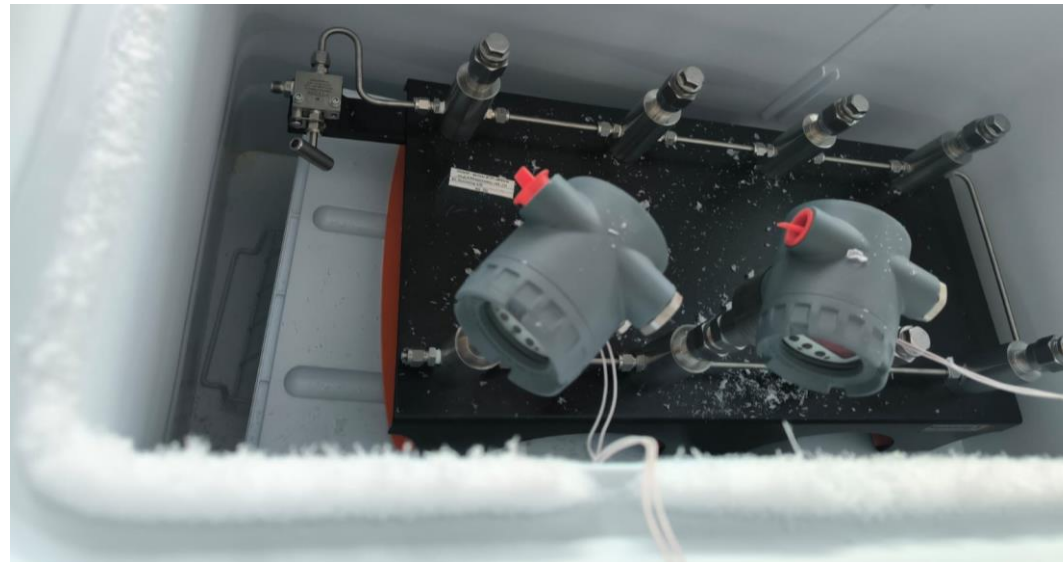
Преобразователи измерительные

1 группа
нагрузка 0,9 ВПИ
при повышенной
температуре
(+50 °С)
56 суток

2 группа
нагрузка 0,9 ВПИ
при НУ
(+22 °С)
140 суток

3 группа
нагрузка 0,9 ВПИ
при пониженной
температуре
(-10 °С)
56 суток

4 группа
нагрузка 0,9 ВПИ
при пониженной
температуре
(-45 °С)
56 суток



Параметры эксперимента

Параметры эксперимента	Значения
Нагрузка на весь период испытаний, за исключением 15 ч до начала каждой серии измерений и времени измерений	0,9ВПИ
Интервал времени между измерениями Δt	7 дней
Точки для измерений давления для нулевого контрольного измерения ($i = 0$) и после прохождения каждого цикла нагрузки ($k=1\dots n$)	$\leq 0,008$ ВПИ
	0,1ВПИ
	0,2ВПИ
	0,3ВПИ
	0,4ВПИ
	0,5ВПИ
	0,6ВПИ
	0,7ВПИ
	0,8ВПИ
	0,9ВПИ
1,0ВПИ	
Количество параллельных измерений при каждом k -ом значении давления	10



Алгоритм определения условий испытаний и соответствующих им коэффициентов ускорения испытаний при воздействии температуры

- для предварительной оценки коэффициента ускорения минимальная продолжительность испытаний может быть рассчитана согласно правилу Вант-Гоффа

$$\tau_{min} = \tau_0 / \gamma^{\frac{T_1 - T_0}{10}} \quad (14)$$

где τ_{min} – период исследования при ускоренных испытаниях, дней

τ_0 – период исследования при НУ, дней

T_0, T_1 – значения влияющего фактора (температуры) для периода нагружения СИ при нормальном и ускоренном режимах, °С

γ – коэффициент ускорения (принимается равным 2 или оценивается экспериментально)

- после обработки результатов экспериментальных исследований с применением регрессионного анализа следует определить дрейф метрологических характеристик для первой (в НУ условиях) и второй группы СИ (при ускоренных испытаниях)
- оценку коэффициента ускорения проводить по формуле

$$\gamma = \left(\frac{\hat{b}}{\hat{b}_0} \right)^{10 / T_1 - T_0} \quad (15)$$

где \hat{b} и \hat{b}_0 - коэффициенты линейной регрессии для испытаний в ускоренном и нормальном режиме соответственно

Алгоритм определения условий испытаний и соответствующих им коэффициентов ускорения испытаний при воздействии температуры

- при незначимости \hat{b}_0 (например, по критерию Стьюдента) продолжительность исследований в ускоренном режиме τ_v или T_1 следует увеличить
- период исследования для ускоренных испытаний приводят к нормальным условиям τ' по формуле

$$\tau' = \tau_f \cdot \gamma^{\frac{T_1 - T_0}{10}} \quad (16)$$

где τ_f – период исследования при ускоренных испытаниях, дней

γ – рассчитанное значение коэффициента ускорения

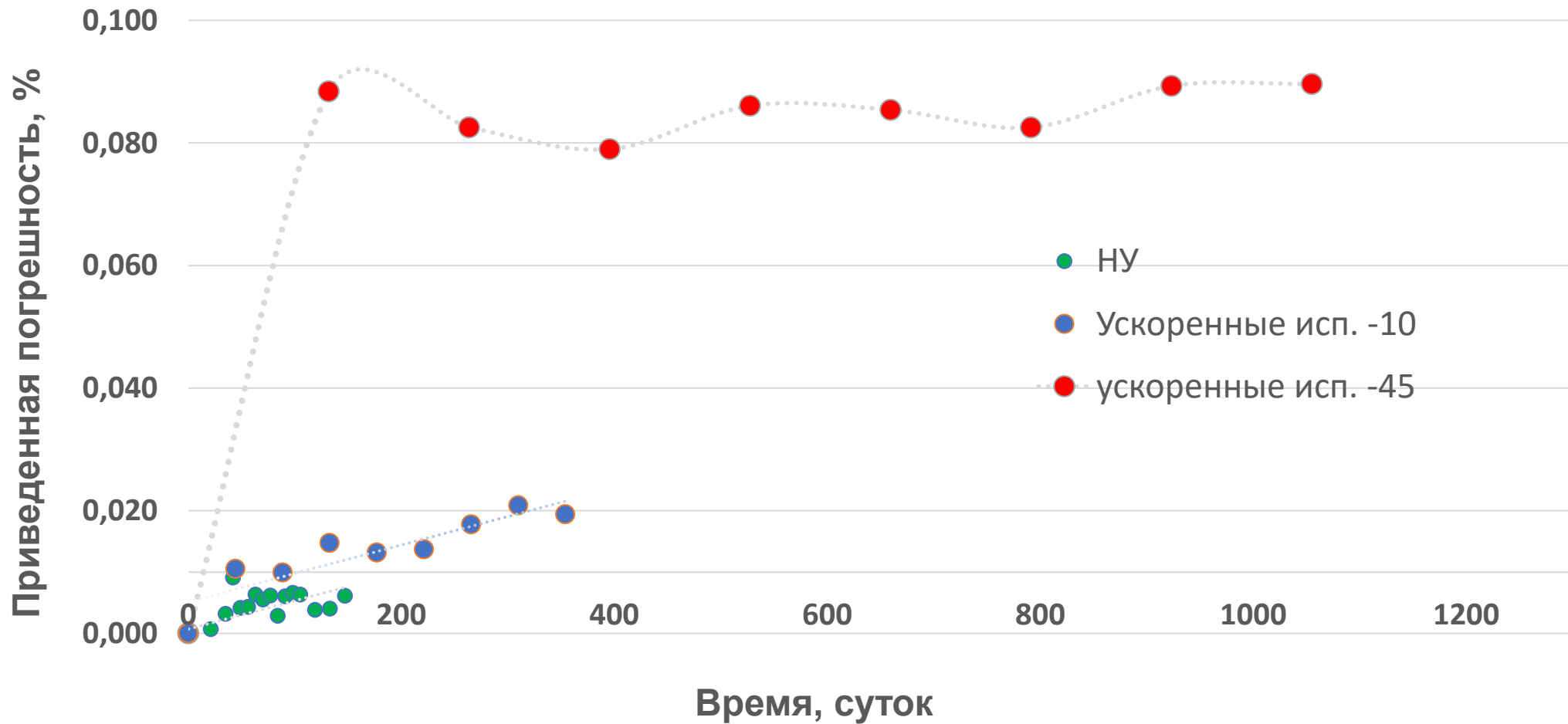
- после каждого контроля метрологических характеристик рекомендуется проводить расчет погрешности испытываемых СИ с учетом ошибки прогноза в момент целевого интервала между поверками $T_{МПИ}$ для принятия решения об окончании испытаний в случае, если полученное значение окажется меньше нормируемого

Расчет коэффициента ускорения

- учитывая соотношение погрешностей эталонного и испытываемого СИ 0,1, минимальное требуемое число периодов контроля метрологических характеристик преобразователей 4
- поскольку интервал между процедурами контроля 7 дней, то минимальная длительность ускоренных испытаний составляет 28 дней
- значения коэффициента ускорения при различной длительности ускоренных испытаний

t_i , дней	- 10 °C		- 45 °C	
	\hat{b}	γ	\hat{b}	γ
28	-0,00043	2,0	-0,00232	3,4
35	-0,00033	1,9	-0,00170	3,1
42	-0,00032	1,8	-0,00125	2,8
56	-0,00029	1,8	-0,00088	2,5

Зависимость приведенной погрешности от длительности испытаний



Выводы

- проведены экспериментальные исследования преобразователей избыточного давления в нормальном и ускоренном режимах при воздействии повышенной и пониженной температуры
- предложен алгоритм определения коэффициента ускорения, вызванного изменением температуры окружающей среды
- показано, что фактор повышения температуры до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ не приводит к ускорению испытаний, в то время как понижение температуры до минус $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ приводит к существенному ускорению испытаний в 2 раза
- показано, что понижение температуры до предельной (минус $45\text{ }^{\circ}\text{C}$) приводит к изменению зависимости приведенной погрешности от времени и не может использоваться как форсирующий фактор при испытаниях до метрологического отказа
- показано, что выдержка преобразователей во времени при нормальных условиях приводит к исчезновению этого эффекта

Спасибо за внимание!





ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕРВАЛА МЕЖДУ
ПОВЕРКАМИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ
НА ОСНОВЕ ИСПЫТАНИЙ
ДО МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОТКАЗА

Взгляд со стороны производителя СИ

**Заместитель директора по стратегическому развитию
АО «Научно-производственный комплекс «ВИП»**

Черкасова Марина Сергеевна

Федеральное государственное унитарное предприятие
«Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии
им. Д.И. Менделеева»
ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева»

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор

ФГУП «ВНИИМ

им. Д.И. Менделеева»

А.Н. Пронин



2023 г.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ

РЕКОМЕНДАЦИИ

ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ИНТЕРВАЛОВ МЕЖДУ ПОВЕРКАМИ
СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

МИ 3676-2023

Санкт-Петербург,

2023

«При определении, установлении и изменении МПИ СИ требуется учет и **соблюдение БАЛАНСА** интересов государства, производителей СИ, хозяйствующих субъектов, потребителей СИ и результатов их измерений в части повышения показателей экономической эффективности и снижения рисков получения недостоверных результатов измерений»



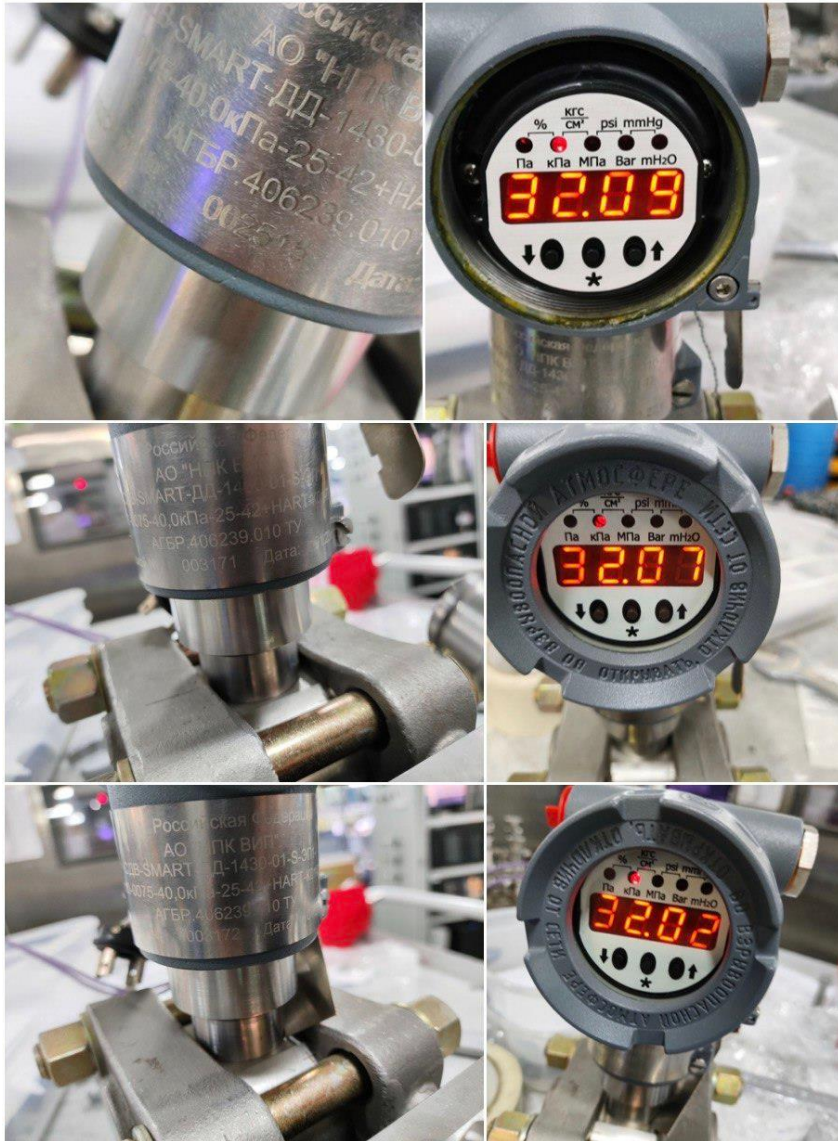
СДВ-SMART-ДД-1440
ВПИ 40 кПа
4 шт.



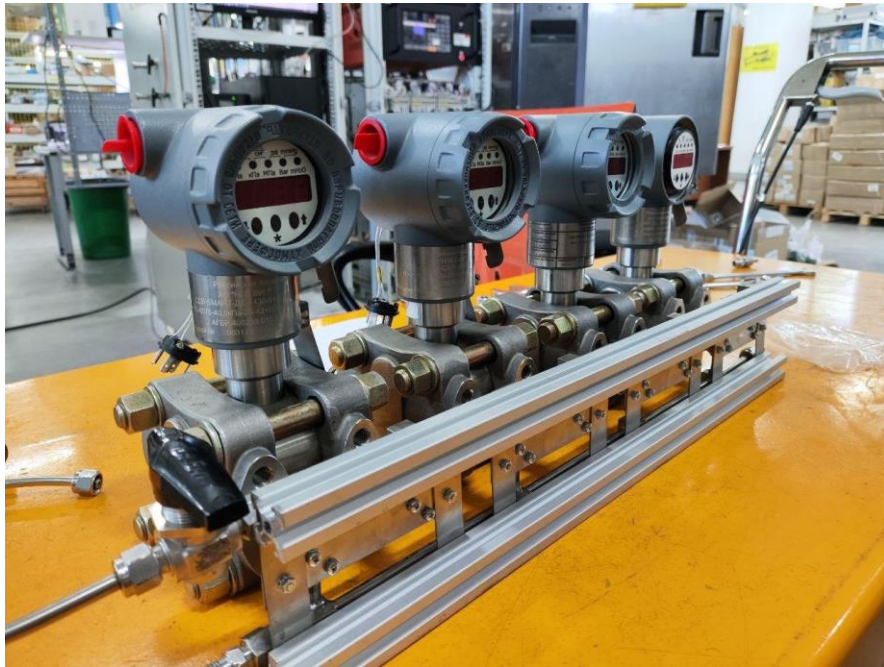
СДВ-SMART-И-1171
ВПИ 100 МПа
4 шт.



СДВ-SMART-А-1051
ВПИ 2,5 МПа
4 шт.



- Предварительные испытания:
- ✓ Подача давления - 80 % от ВПИ;
 - ✓ Выдержка под давлением в плюсовых и минусовых температурах в соответствии с технологическим циклом;
 - ✓ Выдержка в НКУ и замеры – каждые 7 суток.



«Жесткая» конструкция коллектора для фиксации положения образцов



Коммутатор для переключения питания

КРИТЕРИИ присвоения коэффициента качества производства:

- 1) Наличие внедренной СМК;
- 2) Опыт производства аналогичных СИ более 10 лет;
- 3) Аккредитация на право проведения поверки и (или) испытаний в целях утверждения типа СИ или ISO/IEC17025.

ОБЪЕКТЫ анализа производства:

- 1) Техническая документация на СИ;
- 2) Опыт производства СИ;
- 3) Компетентность персонала;
- 4) Эталоны единиц величин, СИ, ИО, необходимые для выпуска продукции;
- 5) Инфраструктура производства;
- 6) Входной контроль закупленной продукции;
- 7) Технологические процессы;
- 8) Приемочный контроль и периодические испытания выпускаемых СИ;
- 9) Идентификация СИ, прослеживаемость, маркировка и условия хранения.



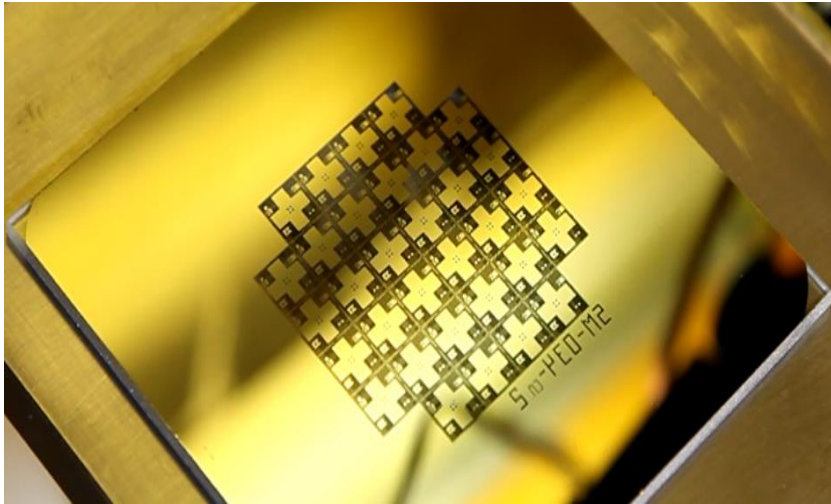
- ✓ СДВ-SMART-И 1711, ВПИ 100МПа 4 шт.:
 - 2 образца под нагрузкой при плюс 50 °С;
 - 2 образца под нагрузкой при минус 10 °С;
- ✓ первичный преобразователь датчика выполнен по технологии КНС (кремний на сапфире);
- ✓ мембрана датчика изготовлена из титанового сплава ВТ-9 по ГОСТ 19807-91;
- ✓ Длительность - 2 месяца;
- ✓ Замеры – еженедельно;
- ✓ 10 точек, прямой-обратный ход, по 10 замеров в каждой точке, 3 цикла

1Погреш	2Погр	3Погр	4Погр	5Погр	6Погр	7Погр	8Погр	9Погр	10Погр	Ср. погр
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01
0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

1Погреш	2Погреш	3Погреш	4Погреш	5Погреш	6Погреш	7Погреш	8Погреш	9Погреш	10Погреш	Ср. погр
-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,02	-0,01	-0,01
-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,02	-0,04	-0,03	-0,03	-0,04	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,01	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,02	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,01	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03
-0,01	-0,02	-0,03	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
-0,01	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02
-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,01	-0,02	-0,02	-0,02
-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01
-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02	-0,02

Результат:

Фактор повышения температуры до плюс 50 °С не приводит к ускорению испытаний, в то время как понижение температуры до минус 10 °С приводит к существенному ускорению в 1,8 раз.



- Фактор понижения температуры до минус 10 °С приводит к существенному ускорению испытаний в 2 раза;
- Понижение температуры минус 45 °С приводит к изменению зависимости приведенной погрешности от времени и не может использоваться как форсирующий фактор при испытаниях до метрологического отказа, так как поскольку помимо ускорения испытаний приводит к переходу мембраны датчика в другое состояние за счет возникновения пластической деформации слоя припоя из-за различных коэффициентов теплового расширения титановой мембраны, серебряного слоя и сапфира;
- Выдержка преобразователей во времени при нормальных условиях приводит к исчезновению этого эффекта;
- Для датчиков с конструкцией чувствительного элемента «кремний на сапфире» возможно сокращение длительности испытаний до метрологического отказа в 2 раза.



СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ