

# МЕТОД ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАБОТЫ О ВЫХОДЕ ТЕРМОМЕТРА СОПРОТИВЛЕНИЯ ЗА ПРЕДЕЛ ДОПУСКАЕМОЙ ПОГРЕШНОСТИ

*М.Д. Белоусов, А.Л. Шестаков*

## DECISION-MAKING ON-STREAM METHOD OF THE RTD THERMORECEIVER ABOUT EXCESS OF THE TOLERANCE ERROR FOR THE LIMIT

*M.D. Belousov, A.L. Shestakov*

Ранее авторами был предложен и исследован преобразователь температуры без опорного сопротивления, в котором реализован алгоритм оценки метрологического состояния данного средства измерения с помощью параметра метрологического состояния  $d$ . В данной работе исследована связь параметра  $d$  с погрешностью измерения температуры, предложен и обоснован алгоритм принятия решения о выходе средства измерения за границы допустимой погрешности в зависимости от значений введенного параметра  $d$ .

*Ключевые слова:* измерение температуры, оценка состояния, параметр метрологического состояния, метрологический самоконтроль, теория обнаружения.

Earlier authors had been proposed and investigated the RTD thermo receiver without basic resistance with the algorithm of an estimation of a metrological condition of the given gage by means of parameter of a metrological condition  $d$  is realized. In the given work parameter communication  $d$  with a temperatures measurement uncertainty is investigated, the algorithm of decision-making on stream method excess of tolerance error for the limit is offered and proved.

*Keywords:* temperature measurement, state estimate, parameter of a metrological condition, metrological self-checking, detection theory.

### Введение

В настоящее время актуальной задачей является реализация функций оценки метрологического состояния в измерительных приборах в процессе их эксплуатации. Средства измерения с такой возможностью позволяют повысить метрологическую надежность и точность измерения.

В предыдущих работах был предложен термометр без опорного сопротивления, для него была найдена возможность дополнительного независимого измерения температуры в процессе эксплуатации, был введен параметр метрологического состояния  $d$ , оценивающий метрологическое состояние термометра. В настоящей работе исследуется зависимость параметра  $d$  от ожидаемой погрешности температуры, предлагается и обосновывается алгоритм принятия решения о выходе исследуемого термометра за пределы допустимой погрешности.

### 1. Постановка задачи

В работах [1, 2] был предложен и исследован преобразователь температуры без опорного сопротивления. Упрощенная структурная схема исследуемого преобразователя температуры приведена на рис. 1. Здесь МК – микроконтроллер; ИОТ – источник опорного тока; АЦП – аналогово-цифровой преобразователь;  $R_{\text{ТЧ1}}$ ,  $R_{\text{ТЧ2}}$  – термосопротивления. Два термосопротивления помещены в среду с одной и той же температурой.

В качестве термосопротивлений выбраны платиновое сопротивление с характеристиками согласно ГОСТ [3] и никелевое сопротивление согласно характеристик производителя [4]. Измеряемую температуру согласно [1] можно найти из уравнения

$$\frac{R_{\text{н}}}{R_{\text{п}}} = \frac{R_{\text{оп}}}{R_{\text{оп}}} \cdot \frac{1 + A_{\text{п}}T_1 + B_{\text{п}}T_1^2 + D_{\text{п}}T_1^4 + F_{\text{п}}T_1^6}{1 + A_{\text{п}}T_1 + B_{\text{п}}T_1^2 - 100C_{\text{п}}T_1^3 + C_{\text{п}}T_1^4}, \quad (1)$$

Белоусов Михаил Дмитриевич – инженер кафедры информационно-измерительной техники, Южно-Уральский государственный университет; m\_o@mail.ru

Шестаков Александр Леонидович – д-р техн. наук, профессор, ректор, Южно-Уральский государственный университет; admin@urc.ac.ru

Belousov Mikhail Dmitrievich – engineer of the Equipment for information and measuring department of South Ural State University; m\_o@mail.ru

Shestakov Aleksandr Leonidovich – PhD, professor, rector of South Ural State University; admin@urc.ac.ru

где  $T_1$  – искомая измеряемая температура, рассчитанная из этого уравнения;  $R_{0н}, A_n, B_n, D_n, F_n$  – коэффициенты никелевого сопротивления из [4];  $R_{0п}, A_n, B_n, C_n$  – коэффициенты платинового сопротивления из [3]. Здесь и далее  $C_n$  определяется согласно ГОСТ [3] при  $T < 0$  и равно нулю при  $T \geq 0$ .

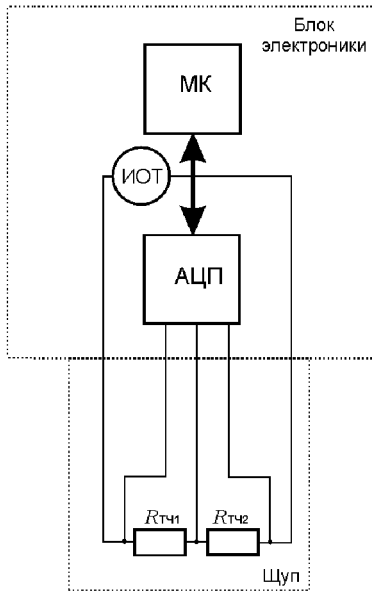


Рис. 1. Структурная схема исследуемого преобразователя термосопротивления

Обозначив текущую измеренную температуру  $T_1$  как  $T_{1n}$ , текущие сопротивления никеля и платины как  $R_{нn}, R_{пn}$ , а предыдущую измеренную температуру  $T_1$  как  $T_{1n-1}$ , предыдущие сопротивления никеля и платины как  $R_{нn-1}, R_{пn-1}$  согласно [2] можно еще раз независимо рассчитать измеряемую температуру из уравнения

$$\frac{R_{нn} - R_{нn-1}}{R_{пn} - R_{пn-1}} \cong \frac{R_{0н} \cdot \frac{A_n + 2B_n T_{2n} + 4D_n T_{2n}^3 + 6F_n T_{2n}^5}{A_n + 2B_n T_{2n} - 300C_n T_{2n}^2 + 4C_n T_{2n}^3}}{R_{0п} \cdot \frac{A_n + 2B_n T_{2n} + 4D_n T_{2n}^3 + 6F_n T_{2n}^5}{A_n + 2B_n T_{2n} - 300C_n T_{2n}^2 + 4C_n T_{2n}^3}}, \quad (2)$$

обозначив ее как  $T_2$ . Левая часть формулы (2) есть отношение конечных приращений измеренных значений сопротивлений, а правая её часть – аналитическое отношение их производных. Поэтому полученное значение температуры  $T_2$  из уравнения (2) весьма близко к среднему значению температур  $T_1$  текущего и предыдущего измерений при неизменности коэффициентов термосопротивлений, входящих в формулы (1) и (2).

В процессе эксплуатации у термометра происходит изменение коэффициентов термосопротивлений. Поскольку уравнения (1) и (2) не являются линейной комбинацией относительно самих себя, то изменение общих констант этих уравнений (коэффициентов термосопротивлений) будет приводить, вообще говоря, к различным решениям этих уравнений, т. е. к различным измеренным температурам. Это позволило ввести в работе [2] параметр

метрологического состояния  $d$ , характеризующий погрешность измеренной температуры следующим образом:

$$d = T_{2n} - \frac{T_{1n} + T_{1n-1}}{2}. \quad (3)$$

При неизменных коэффициентах термосопротивлений параметр  $d$  принимает значения, близкие к нулю. Поскольку равенство (2) – приближенное, то параметр  $d$  строго не равен нулю. Расчеты показывают, что его значения не превышают значений  $10^{-3} \text{ }^\circ\text{C}$ . Формула (3), определяющая параметр  $d$ , отличается от формулы, приведенной в работе [2]: преимущество определения (3) заключается в том, что полученное таким образом значение параметра  $d$  практически не зависит от величины приращения температур текущего и предыдущего измерения при величинах приращений менее  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ , что существенно облегчило поставленную в данной работе задачу.

Полученное значение параметра  $d$  содержит информацию о погрешности исследуемого термометра. В данной работе исследуется количественная взаимосвязь между этими величинами.

## 2. Исследование зависимости параметра метрологического состояния $d$ от погрешности измеряемой температуры

### 2.1. Описание математической модели для исследования

Расчеты показывают, что при увеличении уходов параметров термосопротивлений от номинальных параметр  $d$  также монотонно статистически возрастает. Получить объективную взаимосвязь уходов различных коэффициентов термосопротивлений не представляется возможным, ввиду различного влияния на них причин, вызывающих уходы. Поэтому примем взаимную независимость уходов различных коэффициентов термосопротивлений.

Всего имеется 9 коэффициентов, определяющих зависимость никелевого и платинового сопротивлений от температуры (1):  $R_{0н}, A_n, B_n, D_n, F_n, R_{0п}, A_n, B_n, C_n$ . Будем генерировать 9 случайных чисел, распределенных по нормальному закону распределения, с единичным математическим ожиданием и требуемым СКО. Каждый из коэффициентов умножается на отдельное сгенерированное случайное число, тем самым имитируя вариант возможного ухода коэффициентов сенсоров термометра. С помощью полученных коэффициентов, задавшись истинной температурой текущего и предыдущего измерений, рассчитываются значения термосопротивлений  $R_{нn}, R_{пn}, R_{нn-1}, R_{пn-1}$ , имитируя тем самым реальные измерения. Подставив полученные значения термосопротивлений в формулы (1), (2), вычисляются температуры  $T_1$  и  $T_2$ , а подставив полученные значения температур в формулу (3), вычисляется значение параметра метрологического состояния  $d$ . Абсолютная погрешность измеренной температуры рассчитывается по формуле

$$\Delta T_{\text{абс}} = T_{\text{ист}} - T_1, \quad (4)$$

где  $\Delta T_{\text{абс}}$  – абсолютная погрешность измеренной температуры;  $T_{\text{ист}}$  – истинное значение температуры, заданное в модели.

Для одного СКО было сгенерировано 1000 значений уходов коэффициентов. Исследовалось 5 вариантов СКО нормированных уходов по 1000 значений уходов каждый. В каждом варианте уходов коэффициентов рассматривался весь диапазон температур никелевого сопротивления: 13 значений истинной температуры – от  $-50$  до  $250$  °С с шагом  $25$  °С. Полученные массивы использовались во всех дальнейших исследованиях.

Для каждого рассчитанного значения температуры было проверено условие попадания рассматриваемого комплекта термосопротивлений в наилучший класс допуска АА платинового сопротивления (также более точного, чем никелевое) согласно ГОСТ [3]. Считается, что рассматриваемый вариант термометра попадает в класс допуска во всем диапазоне при условии попадания рассматриваемого варианта значений термосопротивлений в класс допуска во всех рассматриваемых точках температуры.

Вероятность выхода комплектов термосопротивлений за класс допуска при заданном СКО термосопротивлений (далее вероятность ошибки)  $p_{\text{ош}}$  рассчитывается по формуле

$$p_{\text{ош}} = \frac{N_{\text{доп}}}{1000}, \quad (5)$$

где  $N_{\text{доп}}$  – количество вариантов термосопротивлений, вышедших за класс допуска для одного значения СКО термосопротивлений при тысяче рассматриваемых вариантов.

В табл. 1 приведены результаты расчетов значений  $p_{\text{ош}}$  для различных СКО термосопротивлений.

**Таблица 1**  
**Значения СКО нормированных уходов термосопротивлений**

СКО термосопротивлений, °С	$p_{\text{ош}}$
0,00005	0,021
0,0001	0,259
0,0002	0,571
0,0005	0,887
0,001	0,969

С ростом СКО растёт величина разброса коэффициентов и, как следствие – растёт  $p_{\text{ош}}$ . В дальнейшем полученные массивы уходов термосопротивлений будем характеризовать именно  $p_{\text{ош}}$ .

### 2.2. Корреляция массивов параметра метрологического состояния и абсолютной погрешности температуры

Была проверена и подтверждена гипотеза о высокой корреляции массивов параметра метрологического состояния  $d$  и абсолютной погрешности измеренной температуры  $\Delta T_{\text{абс}}$  при одинаковой истинной температуре  $T_{\text{ист}}$ . Коэффициент корреля-

ции массивов был рассчитан для всех исследуемых температур, всех  $p_{\text{ош}}$ . Результаты проверки данной гипотезы приведены в табл. 2.

**Таблица 2**  
**Корреляция параметра метрологического состояния  $d$  и абсолютной погрешности измеренной температуры  $\Delta T_{\text{абс}}$**

$T, \text{°C}$	$p_{\text{ош}}$				
	0,021	0,259	0,571	0,887	0,969
-50	0,764	0,778	0,772	0,763	0,772
-25	0,651	0,665	0,655	0,650	0,659
0	0,571	0,583	0,570	0,570	0,578
25	0,548	0,553	0,540	0,546	0,552
50	0,575	0,573	0,561	0,571	0,575
75	0,637	0,629	0,619	0,632	0,633
100	0,712	0,700	0,694	0,706	0,706
125	0,781	0,768	0,764	0,774	0,774
150	0,833	0,822	0,819	0,826	0,826
175	0,869	0,859	0,858	0,863	0,863
200	0,892	0,884	0,883	0,887	0,886
225	0,906	0,899	0,899	0,901	0,901
250	0,912	0,906	0,907	0,908	0,908

Результаты табл. 2 представлены в виде графиков на рис. 2. При этом приведены только графики вероятности ошибки 0,021; 0,571 и 0,969. Графики для других вероятностей ошибок практически идентичны приведенным.

Поэтому можно утверждать, что коэффициент корреляции между параметрами метрологического состояния  $d$  и абсолютной погрешности температуры практически не зависит от  $p_{\text{ош}}$ . Высокая корреляция рассматриваемых величин обосновывает линейную зависимость между ними.

Учитывая это, введём коэффициент связи  $k_1$  между  $d$  и  $\Delta T_{\text{абс}}$ . Зависимость между  $d$  и  $\Delta T_{\text{абс}}$  найдём, минимизируя функционал:

$$\sum_{i=1}^{1000} (\Delta T_{\text{абс}i} - k_1 \cdot d_i)^2 \rightarrow \min, \quad (6)$$

где  $i$  – номер варианта ухода массива;  $\Delta T_{\text{абс}i}$ ,  $d_i$  – соответствующие номеру ухода абсолютная погрешность и параметр метрологического состояния. Значения коэффициентов связи  $k_1$  для разных  $p_{\text{ош}}$  и температур приведены в табл. 3.

Результаты табл. 3 приведены в графическом виде на рис. 3. Здесь также приведены только графики для  $p_{\text{ош}}$  0,021; 0,571 и 0,969. Графики для остальных  $p_{\text{ош}}$  практически идентичны приведённым.

С помощью полученной зависимости  $k_1$  от истинной температуры можно вычислять ожидаемую погрешность температуры  $\Delta T_{\text{абс}}$  по параметру  $d$  и измеренному значению температуры  $T_1$  при условии, что истинная погрешность измерения не превышает нескольких единиц °С.

$$\Delta T_{\text{ожд}} = k_1(T_1) \cdot d. \quad (7)$$

В формуле (7)  $k_1$  рассматривается как некоторая функция от измеренной температуры  $T_1$ .

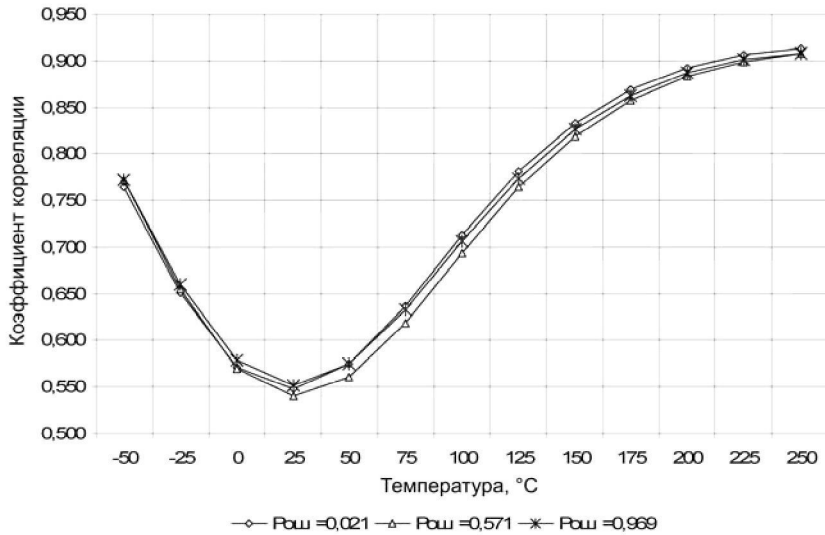


Рис. 2. Корреляция параметра метрологического состояния  $d$  и абсолютной погрешности измеренной температуры  $\Delta T_{абс}$

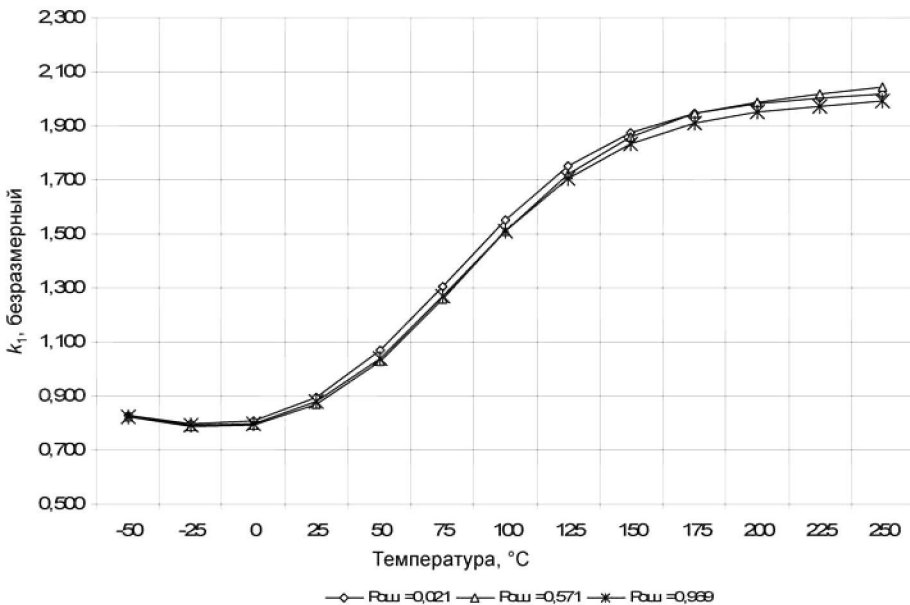


Рис. 3. Коэффициент связи  $k_1$  при различных температурах и  $\rho_{ош}$

Таблица 3  
Коэффициент связи  $k_1$  для разных  $\rho_{ош}$  и температур

$T, ^\circ\text{C}$	$\rho_{ош}$				
	0,021	0,259	0,571	0,887	0,969
-50	0,828	0,833	0,824	0,836	0,822
-25	0,799	0,801	0,790	0,805	0,791
0	0,808	0,805	0,791	0,812	0,797
25	0,895	0,880	0,867	0,896	0,877
50	1,067	1,036	1,028	1,063	1,039
75	1,306	1,260	1,260	1,296	1,267
100	1,553	1,503	1,511	1,539	1,509
125	1,750	1,706	1,720	1,736	1,706
150	1,876	1,845	1,861	1,865	1,836
175	1,946	1,927	1,944	1,939	1,910
200	1,982	1,972	1,990	1,980	1,950
225	2,003	2,001	2,018	2,005	1,973
250	2,020	2,023	2,041	2,026	1,991

Поскольку график зависимости имеет одну точку перегиба, то его аппроксимирующий полином должен быть не ниже 3-й степени. Поскольку для вычисления значения никелевого термосопротивления в программе микроЭВМ термометра уже используется полином 6-й степени, то используем его и для этой аппроксимации:

$$a_0 + a_1 T_{ист} + a_2 T_{ист}^2 + \dots + a_6 T_{ист}^6 = k_1(T_{ист}). \quad (8)$$

Коэффициенты полинома, полученные методом наименьших квадратов, представлены в табл. 4.

График истинной и ожидаемой погрешностей для первых 100 исследуемых вариантов уходов сенсоров при температуре 100 °С и  $\rho_{ош}$  0,571 приведен на рис. 4.

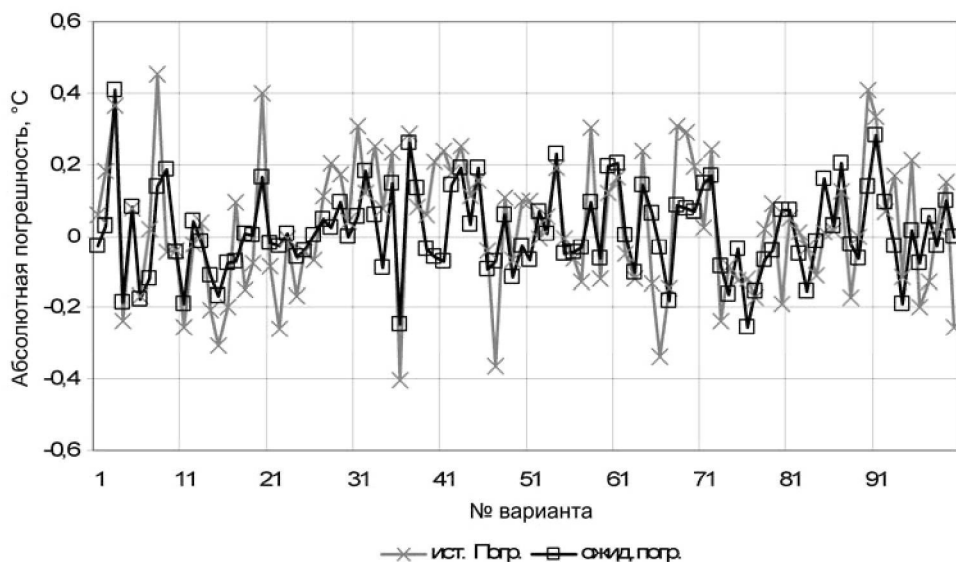


Рис. 4. Истинная и ожидаемая погрешность при 100 °С и вероятности ошибки 0,571

Таблица 4  
Значения аппроксимирующего полинома коэффициента  $k_1$  от температуры

Коэффициент	Значение
$a_0$	7,96032783E-01
$a_1$	1,27846710E-03
$a_2$	7,71566446E-05
$a_3$	3,11831759E-07
$a_4$	-7,72591595E-09
$a_5$	3,27534511E-11
$a_6$	-4,34004024E-14

Из рис. 4 видно, что СКО случайного процесса ожидаемой погрешности меньше СКО случайного процесса истинной погрешности. Оценку достоверности величины погрешности можно получить оценивая средневзвешенную погрешность.

### 2.3. Порог допустимой средневзвешенной погрешности температуры

Как было показано выше, на основе формул (7), (8) в процессе работы термометра возможно рассчитать  $\Delta T_{\text{ожд}}$  для каждой точки измеренной температуры диапазона измерений термометра. Из рис. 4 видно, что в некоторых вариантах ухода истинная погрешность при рассматриваемой температуре отлична от нуля при ожидаемой погрешности, близкой к нулю, и наоборот. Наверняка это случается в таких вариантах реализации уходов коэффициентов термосопротивлений, в которых, при данной температуре, погрешности, вызванные уходами отдельных коэффициентов термосопротивлений, взаимно ослабляются при вычислении температуры  $T_1$  и взаимно усиливаются при вычислении температуры  $T_2$ , и наоборот. Поэтому для прогноза ситуации выхода термометра за пределы допустимой погрешности более целесообразно использовать  $\Delta T_{\text{ср.ожд}}$  – среднюю ожидаемую погрешность во всем диапазоне измерений термометра:

$$\Delta T_{\text{ср.ожд}} = \frac{\sum_{i=1}^{13} \Delta T_{i\text{ожд}}}{13}, \quad (9)$$

где  $\Delta T_{i\text{ожд}}$  – значение абсолютной погрешности в точках температурного диапазона от  $-50$  до  $+250$  °С, с шагом 25 °С.

По результатам моделирования для каждого из сгенерированных массивов уходов для каждой  $p_{\text{ош}}$  проверялось превышение истинной абсолютной погрешности ее допустимым значением по ГОСТ [3] для класса АА. Для каждого варианта ухода коэффициентов термосопротивлений приводится в соответствие логическая переменная, принимающая значение 1 в случае, если истинная абсолютная погрешность хотя бы раз в рассмотренных точках выходит за пределы класса АА, и принимающая значение 0 в противном случае. Таким образом формируется массив значений введенной логической переменной. Для тех же значений коэффициентов термосопротивлений, задавшись некоторым пороговым значением для величины  $\Delta T_{\text{ср.ожд}}$ , можно получить второй массив логических элементов, каждый элемент которого равен единице при условии превышения  $\Delta T_{\text{ср.ожд}}$  заданного порога и равен нулю в противном случае. Рассматривая различные значения порога для массивов с разной вероятностью ошибки, получаем зависимость коэффициентов корреляции среднего ожидаемого и среднего истинного значений погрешности температуры в зависимости от величины порога. Полученные графики приведены на рис. 5.

Из графика на рис. 5 видно, что для массивов уходов коэффициентов с  $p_{\text{ош}} = 0,571$  и ниже абсолютные экстремумы графиков находятся в районе значения  $0,075$  °С, а их величины корреляции достигают значений  $0,6 \dots 0,7$ . Значения главных экстремумов графиков для рассматриваемых массивов уходов коэффициентов выше  $0,571$  расположены

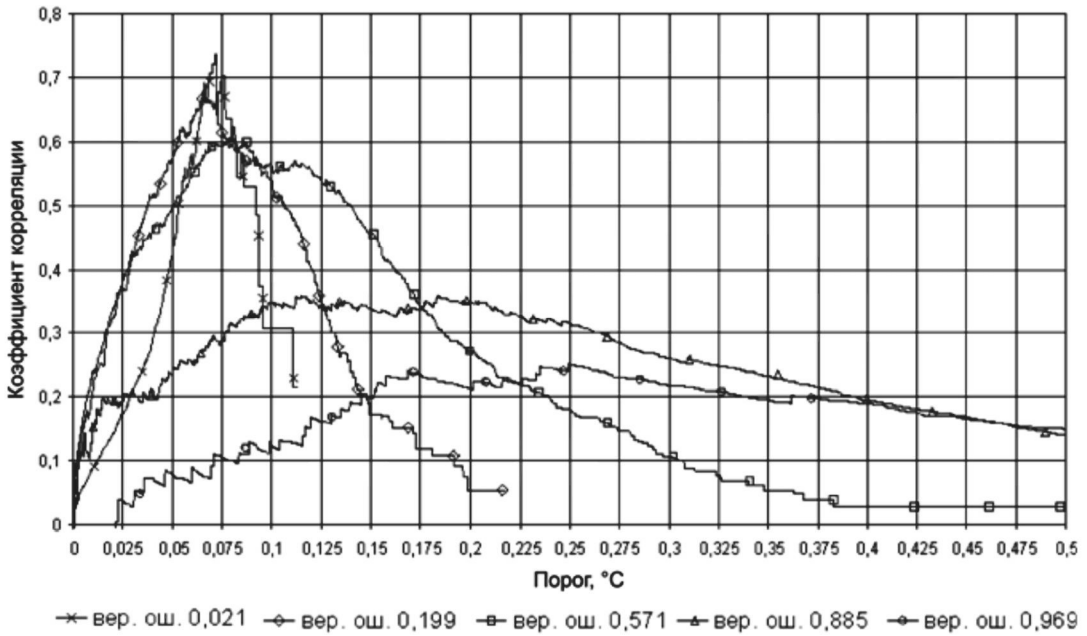


Рис. 5. Зависимость коэффициента корреляции среднего ожидаемого и среднего истинного значений погрешности температуры при различных вероятностях ошибки

при более высоких значениях порогов, а их величины корреляции не превышают 0,25...0,35.

Для количественной оценки параметров для полученного порога с максимальной корреляцией предлагается использовать математический аппарат, основанный на теории обнаружения [5].

Возможны 4 ситуации состояния термометра:

1. Правильное обнаружение – термометр за границами поля допуска, принято решение, что термометр за границами поля допуска.

2. Ложная тревога – термометр в границах поля допуска. Принято решение, что термометр за границами поля допуска.

3. Пропуск обнаружения – термометр за границами поля допуска. Принято решение, что термометр в границах поля допуска.

4. Правильное необнаружение – термометр в границах поля допуска. Принято решение, что термометр в границах поля допуска.

Каждому из этих состояний соответствует определенная вероятность ее появления.

Когда термометр находится за границами поля допуска, то какое-то из двух решений обязательно будет принято, поэтому ситуации 1 и 3 образуют полную группу событий. Аналогично – ситуации 2 и 4 также образуют полную группу событий. Поэтому для количественного описания характеристик обнаружения достаточно использовать 2 из приведённых ситуаций. В соответствии с методами теории [5] в качестве рассматриваемых далее независимых событий выберем ситуацию 1, обозначив ее  $D$ , и ситуацию 2, обозначив ее  $F$ .

Вероятность события  $p(D)$  для каждой  $p_{\text{ош}}$  при выбранном значении порога рассчитывается по формуле

$$p(D) = \frac{n_1}{N_1}, \quad (10)$$

где  $N_1$  – количество реализаций уходов коэффициентов, при которых погрешность действительно вышла за поле допуска;  $n_1$  – количество реализаций уходов коэффициентов, при которых погрешность действительно вышла за поле допуска и принято решение, что погрешность термометра вышла за поле допуска.

Вероятность события  $p(F)$  для каждой  $p_{\text{ош}}$  при выбранном значении порога рассчитывается по формуле

$$p(F) = \frac{n_2}{N_2}, \quad (11)$$

где  $N_2$  – количество реализаций уходов коэффициентов, при которых погрешность действительно находится в поле допуска,  $n_2$  – количество реализаций уходов коэффициентов, при которых погрешность действительно находится в допуске и принято решение, что погрешность термометра вышла за поле допуска.

На рис. 6 приведена зависимость  $p(D)$  к  $p(F)$ .

$p(D)$  и  $p(F)$  являются функциями от  $p_{\text{ош}}$ , которая на графике рис. 6 возрастает слева направо, ее значения в полученных точках графика отображены в табл. 1.

Интерпретируем данные графика. Непосредственно после изготовления либо калировки термометра его текущие истинные коэффициенты максимально близки к исходным, поэтому вероятность выхода за класс допуска близка к нулю, что примерно соответствует крайней левой точке графика (при  $p_{\text{ош}} = 0,021$ ). При этом будет обнаружено порядка 66,7 % выходов за пределы допустимой

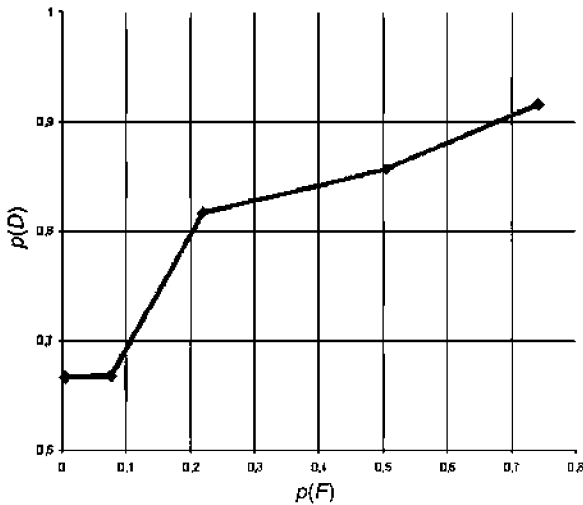


Рис. 6. Зависимость вероятности правильного обнаружения неисправности от вероятности ложной тревоги при фиксированном пороге и различных вероятностях ошибок

погрешности, при этом ложных тревог будет порядка 0,5 %. При дальнейшем увеличении расхождений между истинными и исходными коэффициентами (при  $p_{\text{ош}} = 0,259$ ) будет также обнаружено порядка 66,7 % выходов за пределы допустимой погрешности, однако при этом ложных тревог будет уже порядка 7 %. При достаточно высоких расхождениях коэффициентов (при  $p_{\text{ош}} = 0,571$ ) будет обнаружено порядка 82 % выходов за пределы допустимой погрешности, при этом ложных тревог будет порядка 22 %. Однако мы вправе ожидать, что в большинстве случаев, когда происходит ложное обнаружение выхода термометра за пределы допустимой погрешности, его абсолютная погрешность находится в непосредственной близости от допустимой, а переход погрешности за допустимый порог может произойти в ближайшее время эксплуатации. При сильных расхождениях ( $p_{\text{ош}} 0,887$  и  $0,969$ ), будет обнаружено порядка 85...90 % выходов за пределы допустимой погрешности, однако при этом ложных тревог будет уже порядка 50...75 %. Однако, во-первых, такая ситуация развивается после того, как термометр проходит вышеописанные состояния ухода коэффициентов, в процессе которых уже происходит обнаружение неисправности с низким уровнем ложных тревог, во-вторых, мы вправе ожидать, что в большинстве

случаев, когда происходит ложное обнаружение выхода термометра за пределы допустимой погрешности, абсолютная погрешность термометра уже находится в непосредственной близости от допустимой, а переход погрешности за допустимый порог может произойти в ближайшее время эксплуатации.

### Заключение

Для рассматриваемого термометра исследована зависимость параметра метрологического состояния  $d$  от погрешности исследуемого средства измерения температуры. Получена зависимость  $d$  от ожидаемой погрешности температуры, предложен и обоснован алгоритм принятия решения о выходе исследуемого средства измерения за пределы допустимой погрешности на основе параметра  $d$ .

Полученные результаты не зависят от величины разброса погрешностей коэффициентов термосопротивлений, распределенных по нормальному закону. Это позволяет универсально использовать предложенные методы диагностики для любых возникающих на практике величинах погрешностей температуры в рассматриваемом варианте термометра.

### Литература

1. Белоусов, М.Д. Преобразователь температуры без опорного сопротивления / М.Д. Белоусов, А.Л. Шестаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2008. – Вып. 7. – № 3(103). – С. 29–33.
2. Белоусов, М.Д. Метод самодиагностики термпреобразователя сопротивлений в процессе работы / М.Д. Белоусов, А.Л. Шестаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2009. – Вып. 9. – № 3(136). – С. 17–19.
3. ГОСТ Р 8.625–2006. Термометры сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытаний.
4. Resistance Temperature Detectors (RTD'S). – access mode: <http://www.atpsensor.com/pdfs/rtd.pdf>, free.
5. Ван Трис, Г. Теория обнаружения, оценок и модуляции. Т. 1: Теория обнаружения, оценок и линейной модуляции / Г. Ван Трис; пер. с англ. и ред. проф. В.И. Тихонова. – М.: Советское радио, 1972. – 744 с.

Поступила в редакцию 24 марта 2011 г.