

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ЭДС ТЕРМОПАР ПРИ НЕНУЛЕВОМ ЗНАЧЕНИИ ТЕМПЕРАТУРЫ ХОЛОДНОГО СПАЯ

Чичикало Н.И., Ларин В. Ю., Томилин Е.М.,
 Донецкий национальный технический университет, г.Донецк

Abstract

Chichikalo N.I., Larin V.J. Tomilin E.M., Device of measuring of the thermocouple EMF not at zeroing value of temperature of a cold soldering. In the article a microprocessor multichannel device is offered for measuring of temperatures of different controlled ranges and processes and method of setting of normal static descriptions of thermocouple with the not zeroing value EMF of cold soldering, allowing to promote exactness of measurement by thermocouple of the common industrial setting.

Актуальность задачи. Современный высокий уровень развития науки и техники требует соответствующего уровня развития приборостроения. Для многих процессов температура является наиболее информативным параметром. Поэтому актуальной является задача проектирования приборов, предусматривающих подключение датчиков температуры различных градуировок и контролируемых диапазонов. С точки зрения экономической целесообразности актуальной становится задача оптимизации действительных характеристик термопар общепромышленного назначения с целью их приближения к номинальным (градуировочным). Одним из широко распространенных методов измерения данного параметра является контактный метод с применением термопар. Основными причинами погрешностей термоэлектрических преобразователей температуры являются неоднородность материалов и временные изменения свойств термоэлектродов, изменения температуры холодного спая, шунтирующее влияние сопротивления межэлектродной изоляции и т.п. Для указанных и других погрешностей существуют апробированные в промышленности методы их компенсации [1]. Стандартом нормируется лишь погрешность градуировки. Несмотря на класс точности используемой термопары, погрешность от ненулевого значения температуры холодного спая вносит нелинейные искажения градуировочной характеристики на всем протяжении измерений и является доминирующей. Рассмотрим методы установления действительной статической характеристики термопар, близкой к номинальной. В соответствии с ГОСТ 30440-94 номинальная статическая характеристика (НСХ), для термоэлектрического преобразователя типа ТХК, описывается полиномом следующего вида:

$$a := \begin{pmatrix} -1.18525793501 \cdot 10^{-1} \\ 6.33040074968 \cdot 10 \\ 6.01543083712 \cdot 10^{-2} \\ -7.89448388399 \cdot 10^{-5} \\ 9.06846456260 \cdot 10^{-8} \\ -2.98823148611 \cdot 10^{-11} \\ -2.23683533648 \cdot 10^{-13} \\ 3.74726881481 \cdot 10^{-16} \\ -1.76318367088 \cdot 10^{-19} \end{pmatrix} \quad U_{00}(T) := \sum_{k=0}^8 a_k \cdot T^k$$

где T — текущие значения температуры в градусах Цельсия.

Кроме того, стандартом предусмотрены номинальные характеристики, учитывающие изменение термо э.д.с. при изменении температуры холодного спая в пределах до 9⁰С. Данные характеристики хорошо аппроксимируются полиномом четвёртой степени в пакете MathCAD 2001 Professional Edition (рис.1).

$$F0(x) := \begin{pmatrix} 1 \\ x \\ x^2 \\ x^3 \\ x^4 \end{pmatrix} \quad h00 := \text{linfit}(T, E00, F0) \quad h00 = \begin{pmatrix} -3.28922 \times 10^{-3} \\ 0.06357 \\ 5.54027 \times 10^{-5} \\ -4.81157 \times 10^{-8} \\ 1.0878 \times 10^{-11} \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$U0(T) := \sum_{i=0}^4 h00_i \cdot T^i$$

Рисунок 1 — Фрагмент представления статической характеристики термопары типа ТХК

Здесь F0(x) — матрица аппроксимирующей функции, linfit — функция, которая выполняет аппроксимацию методом наименьших квадратов между T — матрицей температуры и E00 — матрицей значений термо э.д.с. приведенной в ГОСТ 3044-94, h00 — матрица коэффициентов, стоящих при элементах матрицы F0(x), полученная в результате аппроксимации. U0(T) — полином четвёртой степени, которым мы аппроксимируем значения функции термо э.д.с. Графическое представление статической характеристики термопары с градуировкой типа ХК показано на рис. 2.

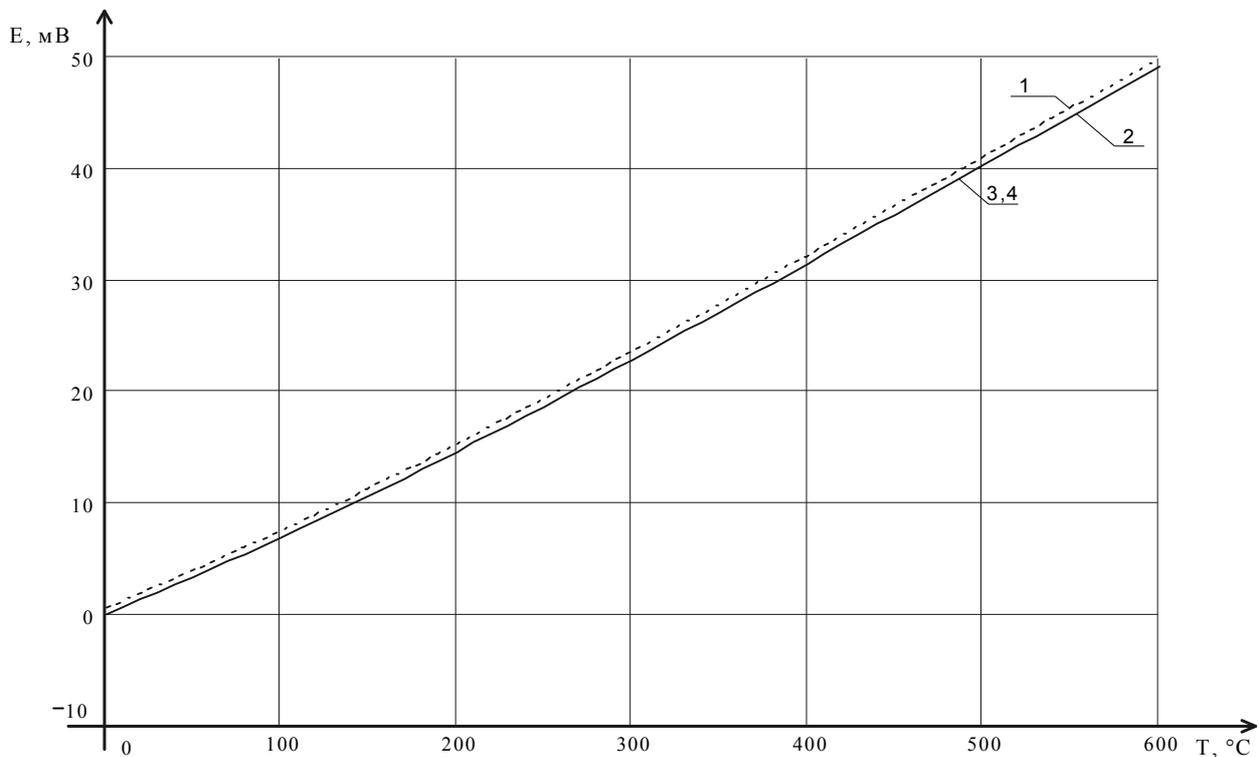


Рисунок 2 — Аппроксимация НСХ ТХК (L)

На рисунку приведені:

1 — НСХ термопары при діапазоні вимірюваних температур від 0 до 600°C і температурі холодного спая рівної 9°C;

2 — НСХ термопары при діапазоні вимірюваних температур від 0 до 600°C і температурі холодного спая рівної 0°C;

3 — НСХ термопары, отримані апроксимуючим поліномом 8-ї степені при температурі холодного спая рівної 0°C;

4 — НСХ термопары, отримані знову встановленим по градуировочной характеристикі поліномом 4-ї степені при температурі холодного спая рівної 0°C.

Если объединить коэффициенты в полиномах при одинаковых степенях, для температур холодного конца спая от 0 до 9 °C то можно прийти к выводу, что данные коэффициенты изменяются случайным образом. Однако из-за малого числа наблюдений (10) невозможно оценить закон, по которому изменяются значения данных коэффициентов (табл. 1).

Таблица 1 — Коэффициенты аппроксимирующих полиномов

Температура холодного спая, °C	Коэффициенты при степенях аппроксимирующих полиномов 4-й степени				
	1	x	x^2	x^3	x^4
0	-3.28922E-3	0.06357	5.54027E-5	-4.81157E-8	1.0878E-11
1	0.06014	0.06369	5.52049E-5	-4.79198E-8	1.07477E-11
2	0.1239	0.0638	5.50959E-5	-4.80087E-8	1.08822E-11
3	0.18858	0.06383	5.58156E-5	-5.05338E-8	1.31279E-11
4	0.25162	0.06402	5.48156E-5	-4.79392E-8	1.08975E-11
5	0.3235	0.06377	5.79331E-5	-5.75648E-8	1.95959E-11
6	0.37965	0.06424	5.45117E-5	-4.78445E-8	1.09182E-11
7	0.43775	0.06469	5.07501E-5	-3.57246E-8	-8.77645E-13
8	0.50802	0.06446	5.42369E-5	-4.78196E-8	1.09872E-11
9	0.57237	0.06457	5.40811E-5	-4.77522E-8	1.09702E-11

Однако можно сделать предположение, что при изменении температуры холодного конца спая происходит лишь сдвиг НСХ данной термопары вверх по оси термо ЭДС. Эта зависимость хорошо аппроксимируется полиномами с первой по шестую степень включительно в пакете MathCAD 2001 Professional Edition в предложенном ГОСТом диапазоне изменения температуры холодного спая 0...9°C.

Однако вне данного диапазона наблюдается сильный разброс характеристик для полиномов 5-й степени и выше (рис. 2).

Для подтверждения этого предположения в условиях реальной работы термопар достаточно для всего контролируемого диапазона снять 10 показаний прибора.

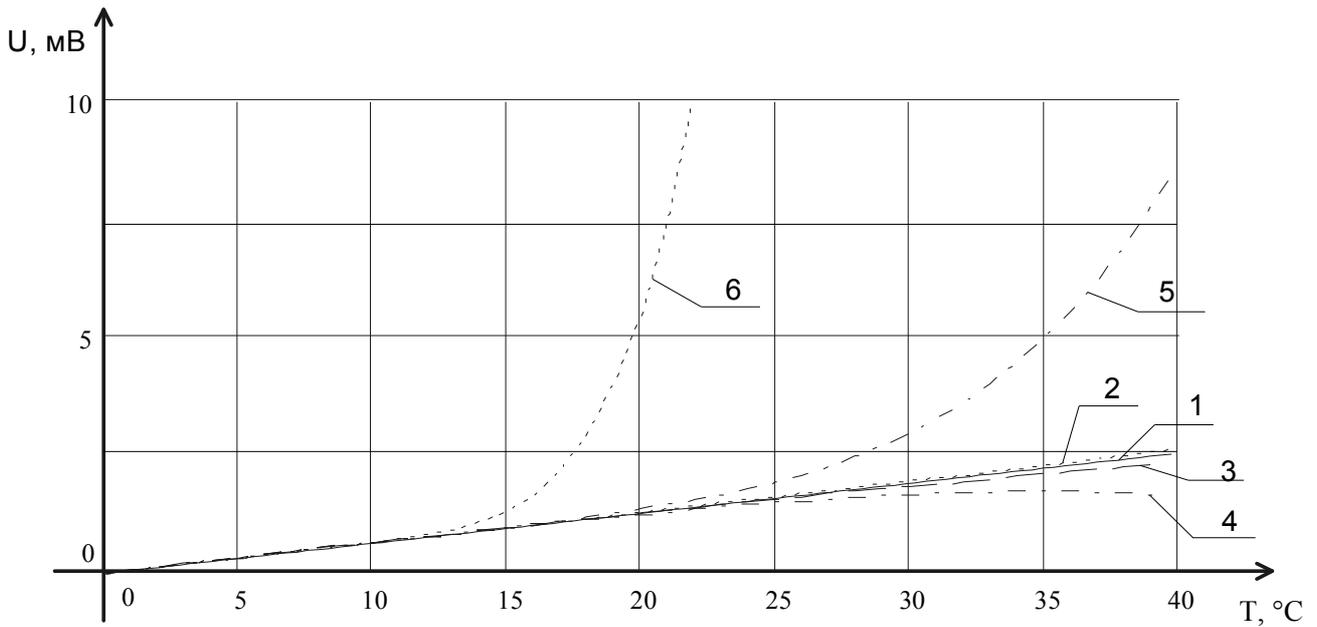


Рисунок 3 — Аппроксимация сдвига НСХ (L) по оси т.э.д.с.

На рисунке 3 показаны НСХ термопары, полученные соответственно аппроксимирующим полиномом 1-й, 2-й, 3-й степени и т. д. Анализ характеристик указывает на плохую сходимость теоретических методов и реальных характеристик и необходимость более совершенного математического описания аппроксимирующих функций. Для повышения сходимости аппроксимацию НСХ термопары следует выполнить функцией следующего вида:

$$U(T) := \sum_{k=0}^9 a_k \cdot T^k + c1 \cdot e^{-0.5 \left(\frac{T-126.9686}{65} \right)^2}$$

$$a := \begin{pmatrix} -1.7600413686 \cdot 10 \\ 3.8921204975 \cdot 10 \\ 1.8558770032 \cdot 10^{-2} \\ -9.9457592874 \cdot 10^{-5} \\ 3.1840945719 \cdot 10^{-7} \\ -5.6072844889 \cdot 10^{-10} \\ 5.6075059059 \cdot 10^{-13} \\ -3.2020720003 \cdot 10^{-16} \\ 9.7151147152 \cdot 10^{-20} \\ -1.2104721275 \cdot 10^{-23} \end{pmatrix}, \quad (2)$$

где T — текущее значение температуры в градусах Цельсия,
 $c1$ — коэффициент равный $1.185976 \cdot 10^2$,
 a_k — элементы матрицы:

Данная функция отличается от функции, применяемой для аппроксимации НСХ хромель-копелевой термопары. В ней присутствует экспонента, которая позволяет получить максимальную точность, соответствующую первому классу, в отличие от мак-

симальной точности соответствующей второму классу для этой термопары. Причём контролируемый диапазон температур, в котором мы можем получить такой высокий класс точности, для данной термопары градуировки ХК шире, чем для термопары градуировки ХЛ. Это свойство наряду с относительно низкими ценами на термоэлектрические преобразователи данного типа обуславливает их широкое применение.

На рис. 4 изображена аппроксимация НСХ ТХА (К) представленной выше функцией. 1 — НСХ ТХА (К) при температуре холодного конца спая равной 0 °С, 2 — это НСХ ТХА (К) при температуре холодного конца равной 9 °С, 3 — это аппроксимированная НСХ ТХА (К).

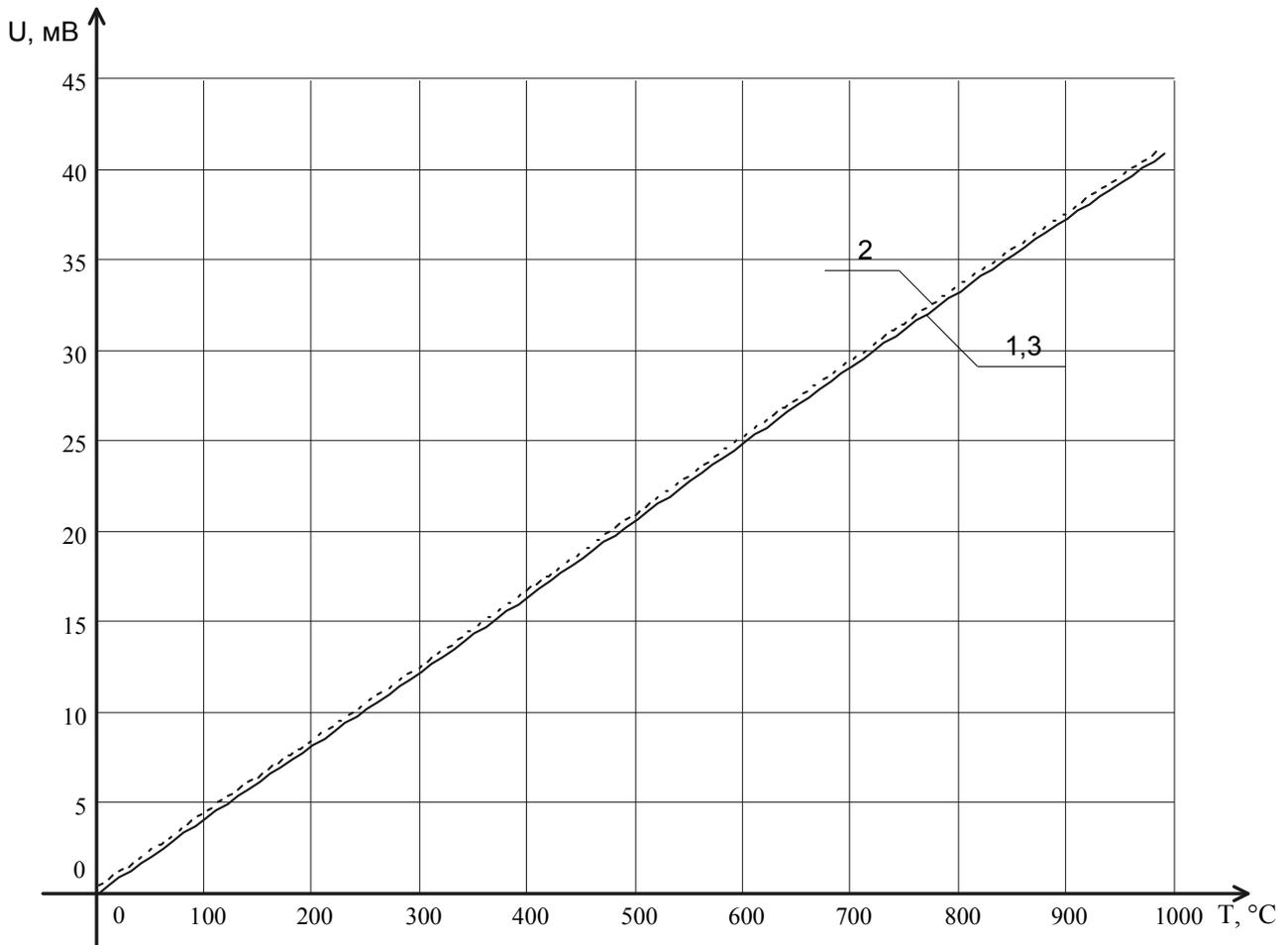


Рисунок 4 — Аппроксимация НСХ ТХА (К)

Таким образом, используя предложенные ГОСТ методы аппроксимации характеристик термопар, для случаев, когда ненулевое значение холодного спая термопар больше 9°С, следует воспользоваться функцией аппроксимации (2).

Имея необходимый набор функций аппроксимации, которые хранятся в памяти микропроцессорного блока прибора, можно предложить следующую структурную схему многоканального прибора для температур различных процессов и контролируемых диапазонов температур (рис. 5).

Прибор реализован на микроконтроллере AT90S8535 фирмы Atmel.

За блоком, обеспечивающим вход следует 10 битное АЦП (защитое в микроконтроллер), позволяющий оцифровать измеряемое напряжение для последующей обработки в микроконтроллере.

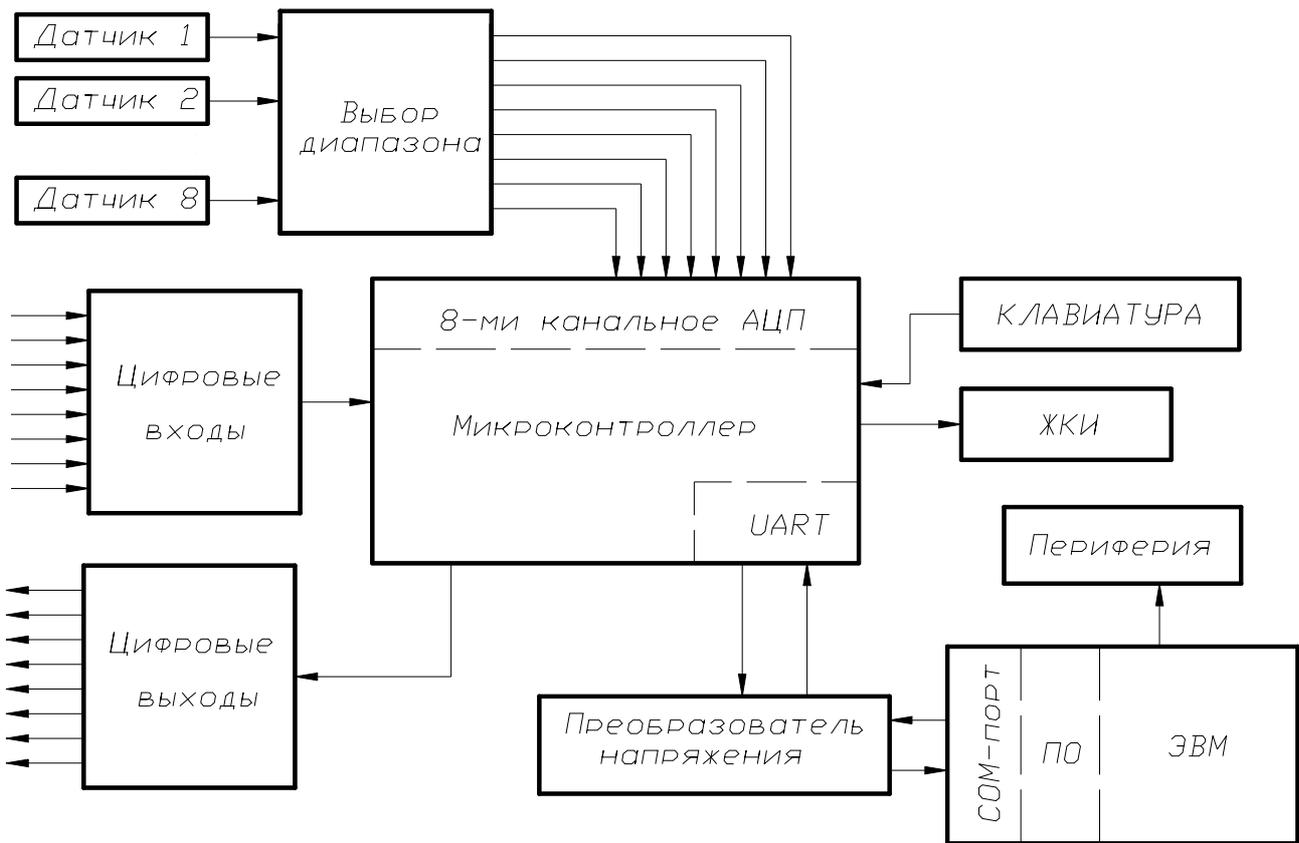


Рисунок 5 — Структура многоканального прибора измерения температуры

Микроконтроллер является главным управляющим звеном прибора, так как он считывает информацию из АЦП и общается с персональным компьютером по последовательному каналу. Также имеется 8 цифровых ТТЛ входов и выходов.

К порту В через разъем подключена пленочная клавиатура с размером матрицы 4x4 кнопки. Диоды, входящие в клавиатуру защищают порты микроконтроллера от замыкания при нажатии нескольких кнопок одновременно.

Жидкокристаллический индикатор (16 символов на 2 строки, светодиодная подсветка) подключен к порту С.

Порт А служит входами внутреннего АЦП, на каждый вход которого подается буферизированное напряжение. Значение, посылаемое в компьютер, лежит в диапазоне 0...1023 (что соответствует разрядности АЦП — 10 бит), 0 соответствует входному уровню 0В, 1023 — уровню 5В, зависимость линейная. Скорость обмена информацией может быть выбрана от 2400 бит/с до 115200 бит/с.

На рис. 6 показан фрагмент работы прибора.

Для отображения полученной информации используется интерфейса программного обеспечения “Oscilloscope”.

Программа “Oscilloscope” предназначена для отображения полученной информации от микропроцессорного устройства “MPS100”. Информация может носить как цифровой так и аналоговый характер. Оконный интерфейс прибора показан на рис. 6.

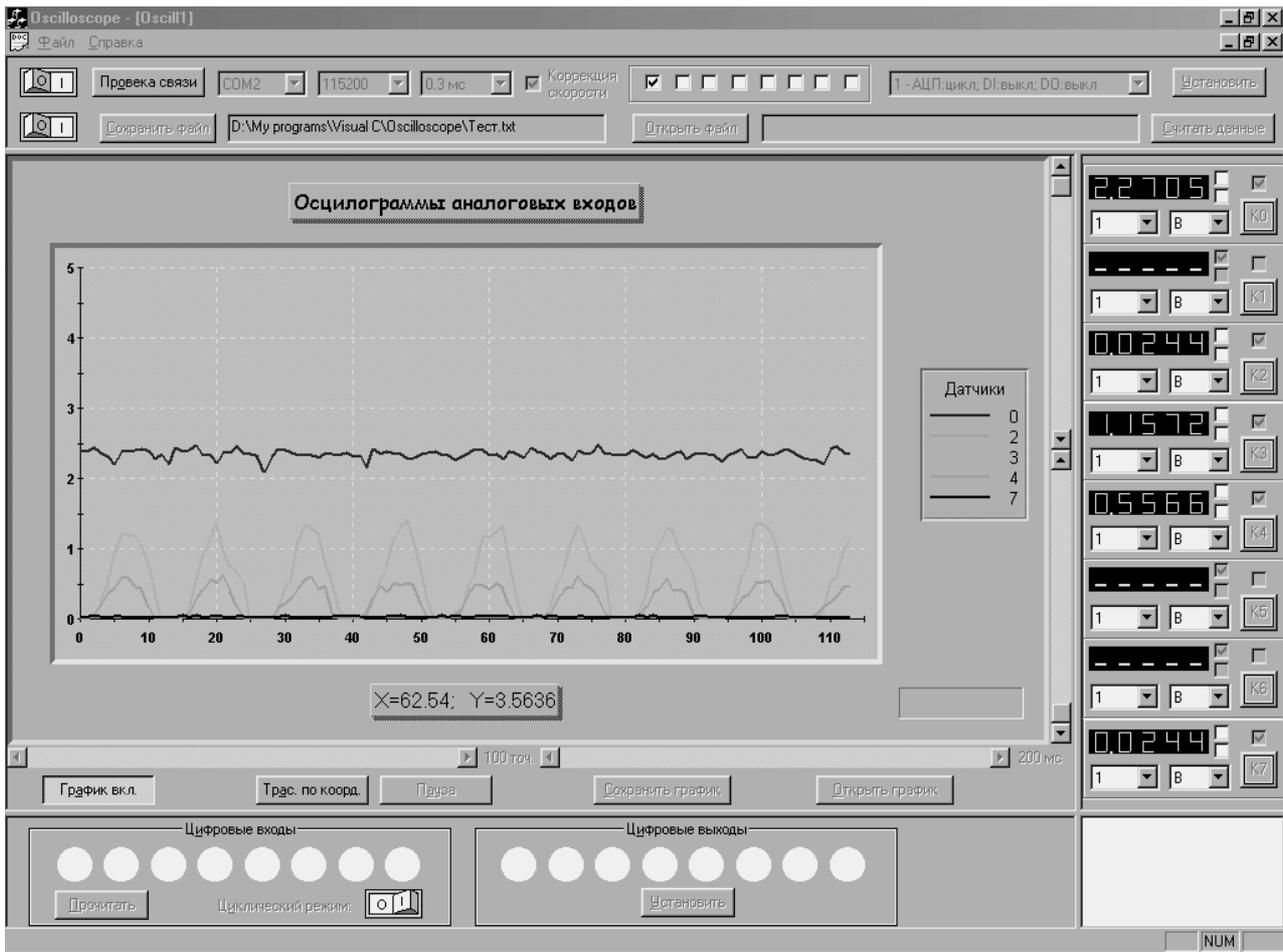


Рисунок 6 — Оконный интерфейс прибора

Выводы.

1. Разработан микропроцессорный многоканальный прибор для измерения температур различных контролируемых диапазонов и процессов.
2. Предложен способ нормирования статических характеристик термодпар с ненулевым значением э.д.с. холодного спая, позволяющий повысить точность измерений с помощью термодпар общепромышленного назначения.

Литература

1. Скрипник Ю.А. Повышение точности измерительных устройств. — Изд-во. «Техніка», Киев, 1986.
2. Головки Д.Б., Скрипник Ю.О., Хімичева Г.І. Структурно-алгоритмічні методи підвищення точності вимірювання температури. — К.: ФАДА, ЛТД, 1999. — 206 с.
3. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники. — 1983. — 304 с.
4. Полищук Е.С. “Измерительные преобразователи”. — Киев, Вища Школа. Головное издательство 1981. — 296 с.
5. Чичикало Н.И., Ларин В.Ю. Методические указания по курсу «Микропроцессорные системы для студентов специальности 7.09.08.05 «Промышленная электроника» // Донецк: ДонНТУ, 2004г. — 43с.