

барысында тиімді әдіс тәсілдерді пайдаланып, тақырыпты өмірмен байланыстыра оқыту қажет. Себебі оқушы мектеп қабырғасында алған білімін өмірде пайдалана білуі керек. Мұғалім оқушылардың пәнге деген қызығушылықтарын ояту үшін сабақта түрлі әдіс-тәсілдер қолданып, өзіндік танымдық шеберлігін көрсетуі және барынша жан-жақты, білімді, бәсекеге қабілетті, еңбекқор, жаңашыл, шығармашыл болуы қажет.

Әдебиет тізімі:

1. Елизаров А.А. Методика преподавания химии в школе. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 253 с.
2. Дабысова Ж.Ж. Химия пәнінен витагенді технология бойынша оқыту әдістемесі. – Ақтау: Ш.Есенов ат.КМТЖИУ., 2012. - 32 б.
3. Усманова М.Б., Сақариянова К.Н. Жалпы білім беретін мектептің 9-сыныбына арналған оқулық, 2-басылымы, өңделген, толықтырылған. - Алматы: Атамұра, 2009. - 288 б.
4. Білім мазмұнын жаңарту аясында «Химия» оқу пәнін оқыту бойынша (7-9-сыныптар) әдістемелік ұсынымдар. - Астана: Ы. Алтынсарин атындағы Ұлттық білім академиясы, 2018. - 136 б.

УДК 621.3.087.92 + 536.653

АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ТЕМПЕРАТУРЫ ВСТРОЕННОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КАЛОРИМЕТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Ережепов Е.М., Губенко М.А.
Костанайский Государственный Педагогический Университет
им. У. Султангазина, г. Костанай

Аннотация. Представлен алгоритм расчёта температуры для Arduino-проектов с использованием терморезистивных измерителей. Установлена принципиальная возможность применения NTC терморезистора в качестве термодатчика для определения теплоты химических реакций.

Ключевые слова. Аналого-цифровое преобразование, теплота растворения, терморезистор.

Аннотация. Терморезистивті өлшеуіштерді пайдалана отырып, Arduino-жобалары үшін температураны есептеу алгоритмі ұсынылған. Химиялық реакциялардың жылуын анықтау үшін температура датчигі ретінде NTC терморезисторын қолданудың негізгі мүмкіндігі анықталды.

Кілт сөздер. Аналогты-цифрлық түрлендіру, ерітіндінің жылуы, терморезистор.

Annotation. An algorithm for calculating temperature for Arduino-projects using thermoresistive meters is presented. The fundamental possibility of using an NTC thermoresistor as a temperature sensor to determine the heat of chemical reactions was established.

Key words. Analog-to-digital conversion, heat of dissolution, thermoresistor

Обычно в качестве измерителей температуры в Arduino-проектах используются широко представленные цифровые (DS18B20) или аналоговые (TMP36, LM35) датчики. Действительно же, сенсор любого датчика состоит из материала, реагирующего на физическое воздействие изменением, например, своего

сопротивления электрическому току. Это воздействие является не прерывным во времени, т.е. аналоговым. Дифференцированным (т.е. цифровым) его делает аналого-цифровой преобразователь (АЦП, англ. ADC). Цифровыми - датчики называются в виду того, что подключаются к цифровым разъемам (пинам) микроконтроллера. Аналоговым, потому что подключается к пинам АЦП микроконтроллера.

Одной из разновидностей аналоговых измерителей температуры являются терморезисторы. Самые дешевые из подобных измерителей, производимых в Китае, упакованный в водонепроницаемый корпус с проводом – терморезистор (NTC) 0,28 USD, цена же только за радиодеталь LM35DZ – 0,63 USD. Основным применением терморезисторов является ограничение пускового тока в различных электрических схемах. Малое их применение, в качестве измерителей температуры, связано с нелинейным изменением вольтамперной характеристики (ВАХ) [1].

Стандартным приёмом калибровки, аналоговых датчиков является сопоставление значений, регистрируемых калиброванным термодатчиком, со значениями, полученными на пине АЦП, к которому подключен аналоговый измеритель. Соотнося и занося эти данные в программу микроконтроллера получают своеобразный «калибровочный график». При выполнении программы, регистрируемые на входе АЦП значения, будут «накладываться» на данный график, как на шаблон, получая тем самым температуру.

Данный способ имеет несколько недостатков: 1) Большую погрешность, из за необходимости иметь точный калиброванный термометр для соотнесения значений АЦП. 2) Соотнесённые значения хранятся в памяти контроллера и занимают место. 3) При замене датчика процесс калибровки потребует прошивки МК для внесения новых данных.

Несомненно, использование подобного подхода, а тем более применение нескольких таких «графиков» для набора датчиков, займёт алгоритмом и переменными большое количество памяти МК.

Рассмотрим другой способ калибровки, свойственный для NTC терморезисторов. Зная параметры, заложенные в них при производстве, например, сопротивление при 25°C и коэффициент температурной чувствительности (В), а также номинал резистора входящего в делитель напряжения, можно применить расчётный метод для установления зависимости «сопротивление-ADC-температура». Для этого воспользуемся онлайн сервисом [2] или программой [3]. Результатом расчёта является таблица, в которой имеются соотнесенные значения АЦП (ADC) и температуры.

Перенеся рассчитанные данные в MS Excel и построив график зависимости «ADC-температура», получился общий вид температурной зависимости для NTC термисторов в диапазоне от -40 до +120 °C (рисунок 1, а)

Этим способом было установлено: 1) применяемые NTC имеют диапазон линейности ВАХ в зоне температур от 0 до +35°C, что с избытком охватывает тепловые изменения, происходящие в результате лабораторных опытов, проводимых при комнатной температуре. 2) разрядность 10-битного АЦП Arduino является низкой, дискретность выдаваемых значений 0,1 °C. Терморезисторные датчики, как аналоговые приборы, способны улавливать изменение температуры с большим разрешением.

Цифровой датчик DS18B20 показывает изменение температуры с дискретностью 0,06 °C.

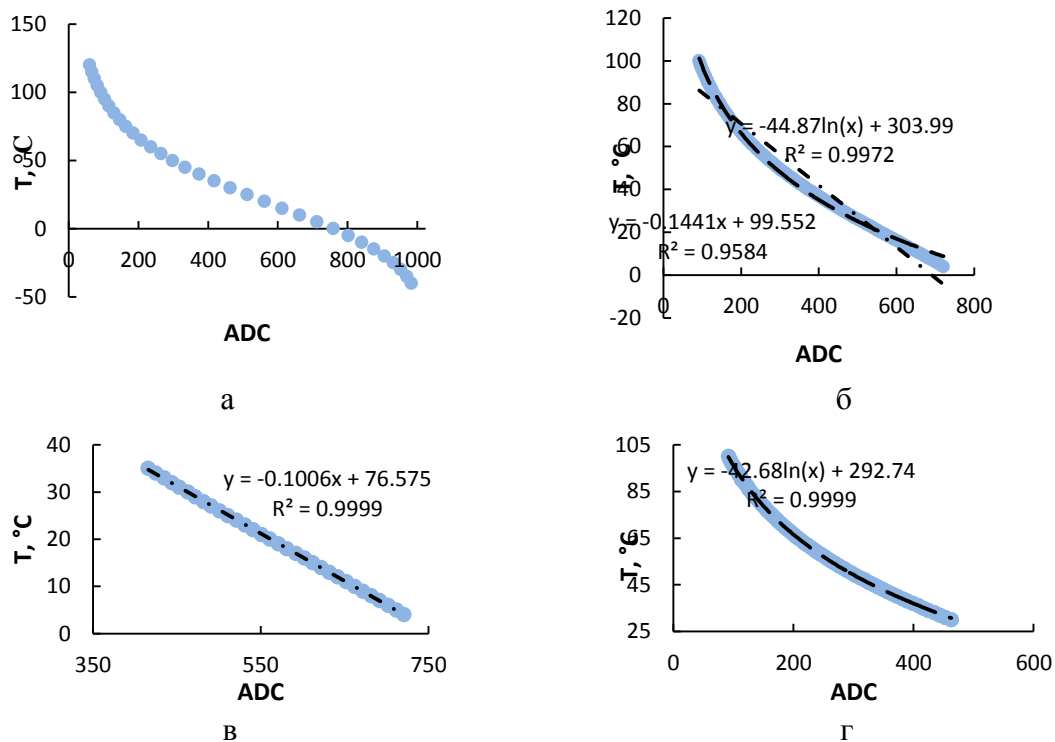


Рисунок 1. Графики зависимости значений «ADC – температура»

Так как рабочий интервал измерений, определённый в техническом задании, для лабораторной установки $+4 - +100^{\circ}\text{C}$, оставим необходимые данные.

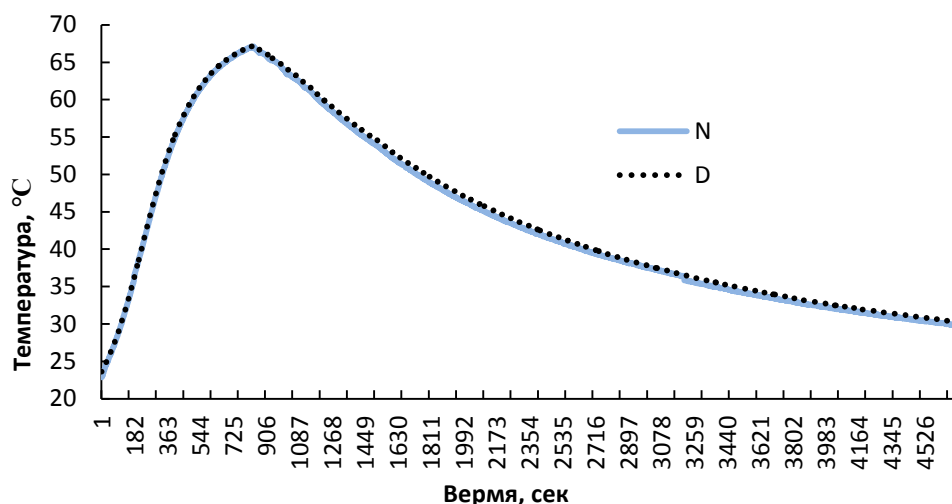
Описанный нами в работе [4] приём расчёта основывался на предположении, что некоторые виды зависимости могут быть представлены с большой точностью линейной функцией ($y=a \cdot x+b$). Выведем линейное уравнение описывающее изменение температуры. Попробуем вывести другие корреляционные зависимости (рисунок 1, б).

Статистические показатели зависимости (квадрат коэффициентов корреляции уравнений), а также визуальный анализ линий трендов, позволяют сделать вывод, что на всём интервале, ни одно из уравнений не может адекватно описать изменение температуры. Логарифмическое уравнение более адекватно, но график изгибается в области (комнатной) температуры, при которой наиболее часто будет использоваться калориметрическая установка. Это внесёт большую погрешность в результат расчёта температуры.

Для решения этой проблемы разделим график на 2 отрезка в районе $34-37^{\circ}\text{C}$, проведем снова линии трендов и выведем уравнение для каждого отрезка (рисунок 1, в и г).

Данные уравнения характеризуются высоким квадратом коэффициента корреляции, стремящимся к 1, стандартное отклонение равняется $0,2^{\circ}\text{C}$.

После внесения аргументов в соответствующие настройки калориметрической установки, контрольные эксперименты показали, что стандартное отклонение между значениями цифрового DS18B20 и аналогового NTC равняется $0,16^{\circ}\text{C}$. Обобщенный график сравнения значений температуры для аналогового и цифрового измерителя представлен на рисунке 2.

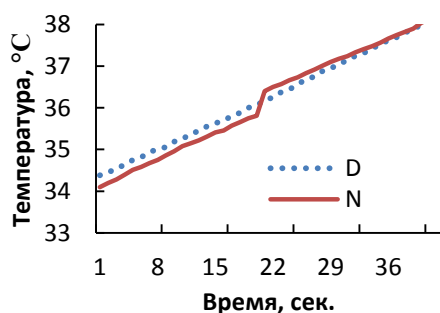


D – цифровой датчик, DS18B20, N – аналоговый датчик, термистор
 Рисунок 2. Сравнение графиков изменения значения температуры в процессе нагрева и охлаждения, цифровой и аналоговый измеритель.

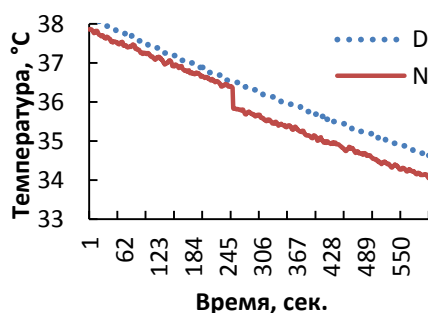
Расхождение в значениях температуры между можно объяснить несколькими причинами:

1. NTC термодатчики имеют погрешность 5%,
2. Размеры и массы датчиков DS18B20 и NTC различны, что сказывается на скорости отклика, как на нагрев, так и на остывание.

Особенностью предложенного метода является наличие «температурного уступа», что связано с переходом расчёта от линейного уравнения к логарифмическому - при нагревании (рисунок 3, а) и от логарифмического к линейному - при охлаждении (рисунок 3, б). Изменение не превышает 0,6°C, а далее нормализуется, что позволяет использовать данную установку, и как достаточно точный технический цифровой термометр.



а



б

D – цифровой датчик DS18B20, N – аналоговый датчик, термистор
 Рисунок 3. «Температурные уступы» алгоритма расчёта.

Точное измерение с применением АЦП Arduino возможно, только с алгоритмами фильтрации. В данном исследовании последовательно применены программные фильтры «Фильтр низких частот» и «Скользящее среднее арифметическое», прописанные во встроенном программном обеспечении. Для сравнения приведём результат фиксации изменения температуры при растворении 1 г KNO_3 в 100 мл воды, полученный аналоговым и цифровым измерителем DS18B20 (Рисунок 4)

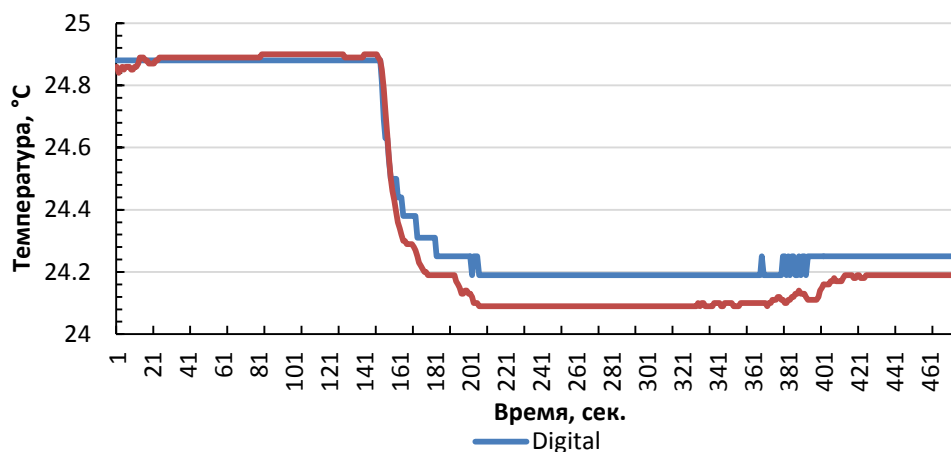


Рисунок 4. Графики изменения температуры при растворении KNO_3 , аналоговый и цифровой измеритель

Для демонстрации возможности измерения аналоговым датчиком малых изменений температуры, а также небольшого расхождения получаемых величин приведём результаты десяти растворов 1 г KNO_3 в 100 мл воды (рисунок 5, таблица 1 и 2).

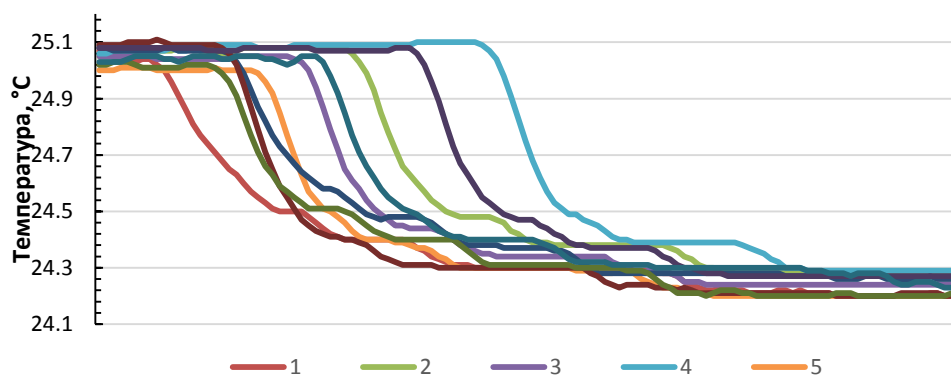


Рисунок 5. Графики изменения температуры при растворении KNO_3 , аналоговый измеритель.

Таблица 1

Изменение температуры в результате растворения десяти навесок нитрата калия

Значение											0
Начальная температура	4,65	4,79	4,9	5,1	6	5,5	5,27	5,45	5,44	5,46	
Конечная температура	3,79	3,99	4,09	4,23	5,2	4,64	4,39	4,63	4,58	4,64	
Разность температур	0,86	0,8	0,81	0,87	0,8	0,86	0,88	0,82	0,86	0,82	

Результаты статистической обработки результатов растворения десяти навесок нитрата калия представлены в таблице 2.

Таблица 2

Статистические данные десяти растворов нитрата калия

Число измерений	10
Среднее значение, $X_{ср}$	-0,838
Стандартное отклонение, S	0,03084
Стандартное отклонение среднего, $S_{ср}$	0,009752
Критерий Стьюдента (5%, $n-1$)	2,262157
Доверительный интервал	0,022062
Относительная ошибка, сигма	0,000215

Найдём постоянную калориметрической установки

$$K = (Q \cdot m) / (\Delta t \cdot M)$$

где Q – табличное значение теплоты растворения, кДж/моль; m – масса навески соли, г; Δt – изменение температуры в процессе растворения соли, °С; M – молярная масса растворяемой соли, г/моль.

$$K = (-34,99 \text{ кДж/моль} \cdot 1 \text{ г}) / (-0,838^\circ\text{С} \cdot 101 \text{ г/моль}) = 0,413$$

Теплота растворения неизвестной навески соли находится по формуле:

$$Q = (K \cdot \Delta t \cdot M) / m$$

Применим данную установку для нахождения неизвестной массы KNO_3 , измерив изменение температуры в процессе растворения соли и молярную массу соли, по формуле:

$$m = (K \cdot \Delta t \cdot M) / Q$$

Подставим среднее значение измерения температуры процесса растворения трёх навесок нитрата калия «неизвестной» массы:

$$m = (0,413 \cdot -3,476 \cdot 101) / -34,99 = 4,148 \text{ г}$$

Истинная отвешенная масса KNO_3 равнялась – 4,185 г

Разница между средней арифметической массой растворенного вещества и найденной массой в результате вычисления равняется 0,037 г, что составляет 0,88%.

Таким образом можно заключить, что NTC терморезисторы можно применять в качестве измерителей температуры в различных лабораторных опытах связанных с нагреванием веществ в температурных пределах от +4 до +100 °С, а также в лабораторных работах по определению теплоты химических реакций.

Список литературы:

1 Школа для электрика. Что такое термистор и позистор, и где они применяются. // Режим доступа: <http://electricalschool.info/electronica/1707-chto-takoe-termistor-i-pozistor.html> (дата обращения: 17.03.2020)

2 Погребняк Дмитрий. Измерение температуры при помощи NTC термистора и микроконтроллера AVR. Самара, 2013. // Режим доступа: <https://aterlux.ru/article/ntcresistor> (дата обращения: 30.03.2020)

3 Расчет значений АЦП МК для NTC термистора. Режим доступа: http://ucprog.ucoz.ru/load/programmy/raschet_znachenij_acp_mk_dlja_ntc_termistora/4-1-0-9 (дата обращения: 30.03.2020)

4 Ережепов Е.М., Губенко М.А. Термостатическая ячейка на основе микроконтроллера Arduino // «Миссия молодого поколения в науке и образовании: традиции, инновации» Региональная студенческая научно-практическая конференция, посвященная 80-летию Костанайского государственного педагогического университета имени Султангазина. Костанай, 2019. – с.193-198. ISBN 978-601-7934-80-4