

Пильцов Михаил Владимирович,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: mpilcov@yandex.ru

Горохов Олег Андреевич,
магистрант, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: oleglego2016@yandex.ru

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДОПУСКОВ ТЕРМОМЕТРОВ СОПРОТИВЛЕНИЙ

Pilcov M.V., Gorokhov O.A.

DEVELOPMENT OF THE SOFTWARE FOR DETERMINING THE RESISTANCE THERMOMETERS' TOLERANCES

Аннотация. Разработано программное обеспечение, позволяющее определять допуски термометров сопротивления на основе отклонения экспериментальных номинальных статических характеристик от характеристик, заданных математической моделью.

Ключевые слова: термометр сопротивления, допуск, программное обеспечение.

Abstract. Software has been developed that makes it possible to determine the tolerances of resistance thermometers based on the deviation of the experimental nominal static characteristics from the characteristics specified by the mathematical model.

Keywords: resistance thermometer, tolerance, software.

В устройствах, где требуется контролировать температуру различных объектов или окружающей среды, находят своё применение термометры сопротивлений.

У терморезистивных преобразователей, согласно ГОСТ 6651-2009, есть четыре класса допусков – АА, А, В и С. Расчёт допусков можно производить вручную. Но в таком случае есть вероятность ошибки в ходе вычисления. Более того, при работе с большим объёмом данных вероятность возникновения ошибки может возрасти. Уменьшить вероятность возникновения ошибок в расчётах и ускорить процесс расчёта можно за счёт разработки ПО, в котором все основные формулы и её константы уже загружены в код и изменению не подлежат.

Термопреобразователи сопротивления (резистивные термопреобразователи, термометры сопротивления, терморезисторы) являются средствами измерения температуры. По распространённости являются вторыми после термоэлектрических преобразователей [1]. Принцип их работы основан на зависимости изменения сопротивления вещества (металла, сплава или полупроводника) при изменении температуры [2].

Материал, из которого изготавливается термопреобразователь сопротивления, должен обладать высоким температурным коэффициентом сопротивления (ТКС), по возможности линейной зависимостью сопротивления от температуры, хорошей воспроизводимостью свойств и инертностью к воздействиям ок-

ружающей среды [3]. Под инертностью к воздействиям окружающей среды подразумевается устойчивость к разрушающим процессам, по типу окисления.

Согласно ГОСТ 6651-2009 чувствительные элементы термопреобразователей сопротивления изготавливаются из следующих металлов: никеля, меди и платины [4].

Достоинством металлических датчиков является высокая линейность и взаимозаменяемость, то есть возможность замены вышедшего из строя датчика на аналогичный без повторной калибровки системы. Взаимозаменяемость достигается благодаря малому технологическому разбросу сопротивлений датчиков. Разброс сопротивлений растёт с ростом температуры.

Никелевые ТС (термометры сопротивления) обладают самым высоким температурным коэффициентом, который составляет $0,00617\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$. Диапазон измерения температуры, согласно ГОСТ 6651-2009, лежит от минус $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+180\text{ }^{\circ}\text{C}$. Достоинствами являются высокая чувствительность и высокий уровень выходного сигнала. Недостатком является узкий температурный диапазон.

Медные ТС также являются распространёнными типами резистивных термопреобразователей. Диапазон измерения температуры, согласно ГОСТ 6651-2009, лежит от минус $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Достоинствами являются низкая стоимость и наилучшая линейность зависимости сопротивления от температуры [5]. Недостатками являются небольшой срок службы и низкие параметры удельного сопротивления.

Платиновые термометры сопротивления среди других видов ТС считаются самыми распространёнными, поэтому их часто устанавливают для контроля важных параметров. Диапазон измерения температуры, согласно ГОСТ 6651-2009, лежит от минус $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+650\text{ }^{\circ}\text{C}$. Достоинствами являются высокая стабильность (неизменность показаний с течением времени), высокий коэффициент точности и близкая к линейной характеристика зависимости сопротивления от температуры. Недостатком является высокая стоимость таких резистивных термопреобразователей из-за использования драгоценного металла. Стоит отметить, что современные технологии позволяют минимизировать содержание этого металла, что делает возможным снижение стоимости продукции.

Перед разработкой программы для автоматизации процесса расчёта допусков на термопреобразователи сопротивления необходимо было выбрать инструмент, то есть, язык программирования. Из существующих на момент написания статьи бесплатных языков программирования был выбран Python. Выбор в пользу данного инструмента был сделан относительной простоты по сравнению с другими языками программирования, например, с C++.

Программное обеспечение было разработано на языке программирования Python версии 3.9.2, высокоуровневом языке программирования общего назначения с динамической строгой типизацией и автоматическим управлением памятью, ориентированном на повышение производительности разработчика,

читаемости кода и его качества, а также на обеспечение переносимости написанных на нём программ [6]. Особенностью языка является выделение блоков кода пробельными отступами. Сам же язык известен как интерпретируемый и используется в том числе для написания так называемых скриптов. Недостатками языка являются зачастую более низкая скорость работы и более высокое потребление памяти написанных на нём программ по сравнению с аналогичным кодом, написанным на компилируемых языках, таких как С или С++.

Внешний вид программы изначально был разработан с использованием встроенной в Python библиотеки Tkinter. Однако, ввиду того, что данная библиотека морально устарела, был произведён перевод программного обеспечения на набор расширений графического фреймворка PyQt версии 5.

Окно разработанной программы, отвечающее за расчёт допусков на терморезистивные преобразователи, принимает на вход значения сопротивлений и температур, измеренные конечным пользователем, значение номинального сопротивления прибора и его тип, для которого планируется провести процесс расчёта. Далее по нажатию кнопки «Вычислить» инициализируется расчёт, чьи результаты отображаются в специальных окнах. Пример окна программы с результатами процесса определения допусков приведён на рисунке 1.

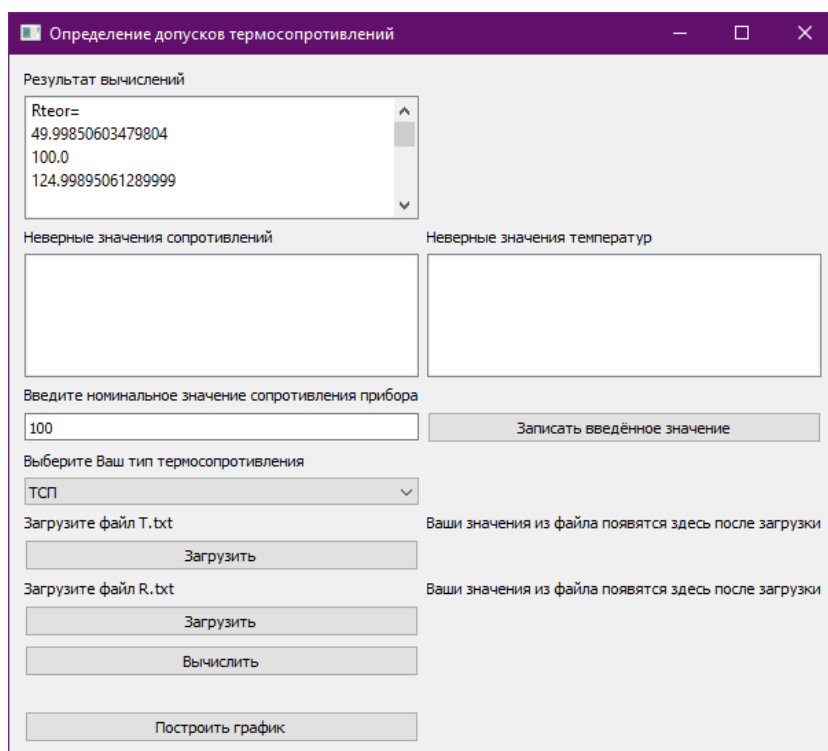


Рисунок 1 – Окно программы по определению допусков термосопротивлений с результатами расчёта

При введённом номинальном сопротивлении, равном 100 Ом, платиновом термометре сопротивления и следующих значениях температуры в граду-

сах по Цельсию и сопротивления в Омах – минус 125,5, 0, 64,58 и 50, 100, 125 соответственно – результат расчёта сведётся к выдаче прибору допуска класса АА, о чём пользователь будет уведомлён соответствующим окном, показанным на рисунке 2.

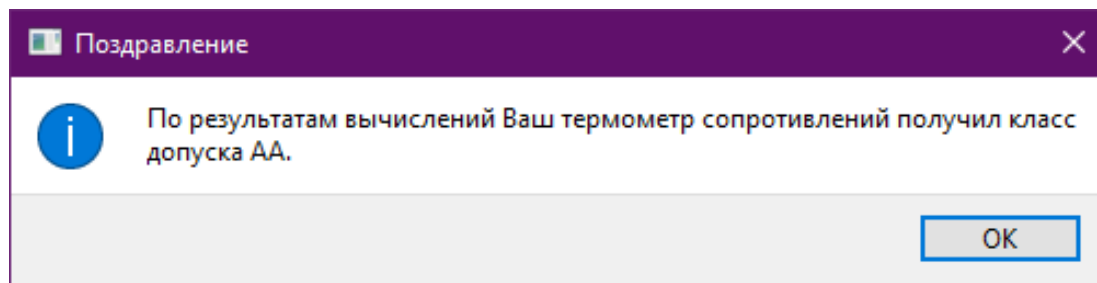


Рисунок 2 – Сообщение о результате вычисления

В случае, если пользователь совершит ошибку в введённых данных, к примеру, введёт номинальное сопротивление прибора равным пятидесяти Омам, не изменив содержимое файлов с измеренными параметрами и не загрузив его заново и/или не поменяв тип прибора, получит уведомления об ошибке, показанное на рисунке 3.

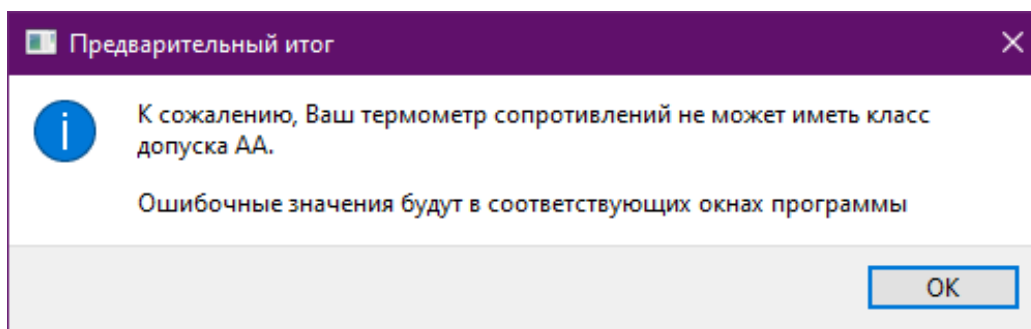


Рисунок 3 – Сообщение о невозможности выдачи прибору допуска класса АА

При этом, в специальных окнах будут выведены значения, при которых получение данного допуска невозможно. Пример представлен на рисунке 4.

Также внутренним кодом программы предусмотрены возможности на случай ввода пользователем некорректных, или же невозможных значений параметров. К примеру, ввод нулевого номинального сопротивления, ввод отрицательных значений сопротивлений в соответствующем текстовом файле или же ввод нечисловых символьных значений в поле ввода номинального сопротивления и в пользовательских файлах R.txt и T.txt. В случае ввода и/или обнаружения таковых в загружаемых файлах программа сообщит пользователю об ошибке и прервёт процесс расчёта, запросив исправление ошибочных значений с помощью выведения на экран соответствующих окон. Примеры подобных окон с критической ошибкой представлены на рисунках 5 и 6.

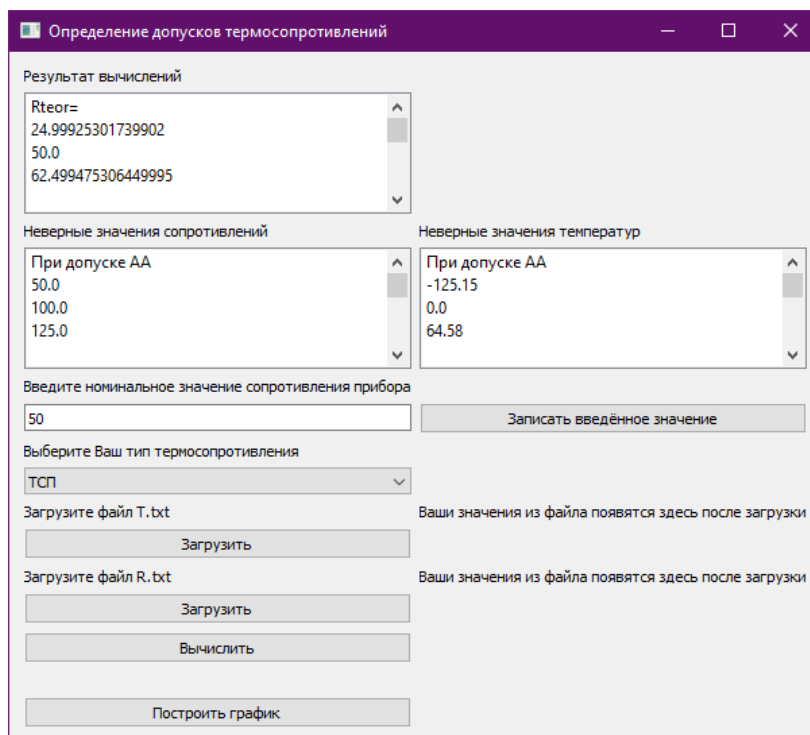


Рисунок 4 – Окно программы с выведенными ошибочными значениями

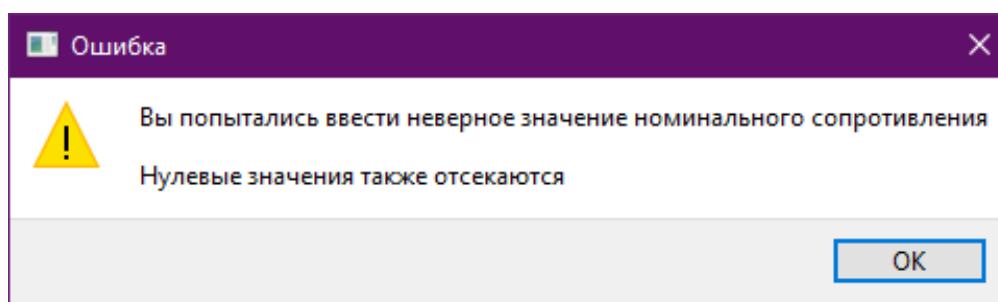


Рисунок 5 – Сообщение об ошибке при вводе нулевого номинального сопротивления

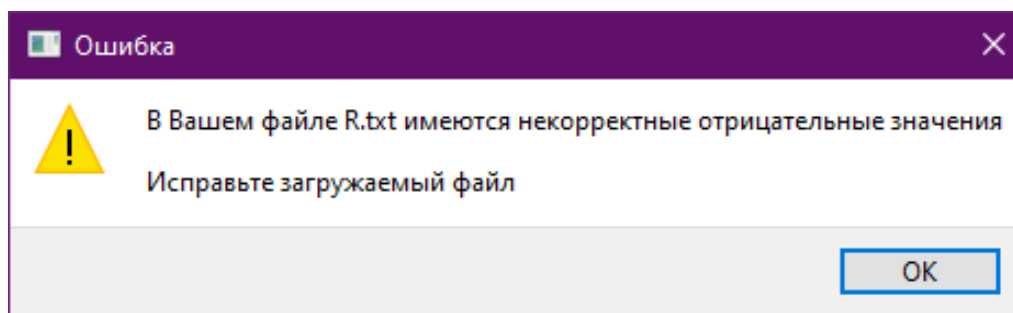


Рисунок 6 – Сообщение об ошибке при обнаружении отрицательных значений в загружаемом файле R.txt

Также программа может построить график зависимости сопротивления прибора от его температуры. Благодаря этой функции пользователь сможет проверить свой прибор на предмет корректности его характеристик. На выходе

всегда будет прямой, по которой пользователь сможет проверить корректность введенных им данных в файлах R.txt и T.txt. Пример такого графика представлен на рисунке 7.

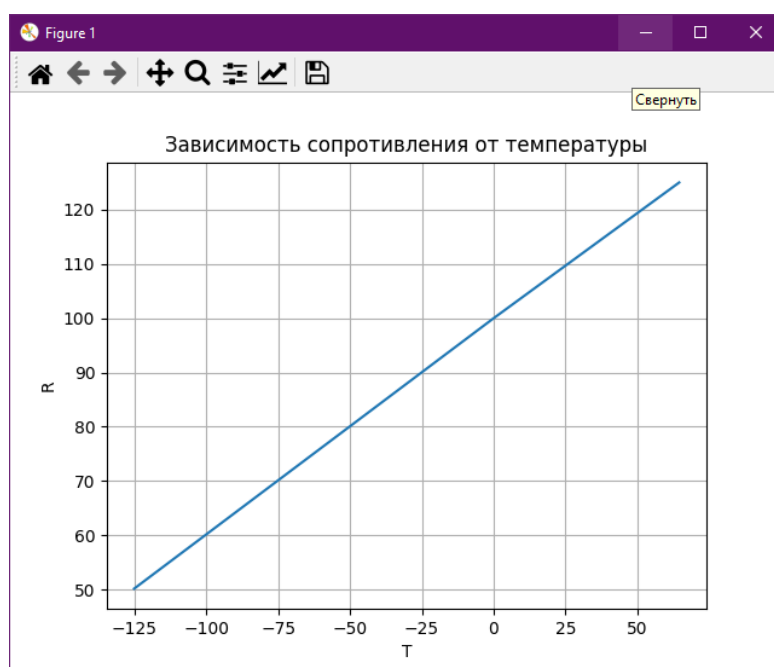


Рисунок 7 – График зависимости температуры от сопротивления

В заключение можно сделать следующий вывод: программа может найти своё применение на производстве термометров сопротивлений. Также есть потенциал развития программы путём добавления функционала для определения допусков термоэлектрических преобразователей и последующего создания комплексного программного продукта.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Денисенко, В. В.** Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2009. – 608 с.
2. **Шибeko, А. С.** Строительная теплофизика и теплотехнические измерения: учебное пособие / А. С. Шибeko, М. А. Рутковский. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2020. – 288 с.
3. **Земляков, В. Л.** Электротехника и электроника: учебник / Земляков В.Л. – Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ, 2008. – 304 с
4. ГОСТ 6651-2009. Термопреобразователи сопротивления из платины, меди и никеля. Общие технические требования и методы испытания
5. **Пелевин, В. Ф.** Метрология и средства измерений : учеб. пособие / В.Ф. Пелевин. – Минск : Новое знание ; М. : ИНФРА-М, 2017. – 273 с.
6. Википедия. Свободная энциклопедия. Python. 2022. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Python> (дата обращения 24.03.2022)