

УДК 53.089.6

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ЭТАПОВ ПОВЕРКИ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Панова Л.С.¹, Вольнов А.С.¹

¹ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», Оренбург,

E-mail: lad.panova@yandex.ru, Volnov_AS@mail.ru

Для идентификации основных этапов поверки термопреобразователей сопротивления и повышения объективности принимаемых решений нами проведено функциональное моделирование процесса «Проверить термопреобразователь сопротивления» в нотации IDEF0. Разработанные IDEF0 модели предназначены для документирования рассматриваемого процесса, отображения информации и ресурсов которые используются на каждом этапе. Определены входы, выходы, управляющие воздействия и ресурсы процесса. Показаны основные средства поверки и условия проведения поверки. Приведены проблемы выбора поверочного оборудования – сухоблочных и жидкостных термостатов. В рамках исследования рассмотрены этапы расчета неопределенности поверки термометров сопротивления. Установлено, что суммарную стандартную и расширенную неопределенности поверки термометров сопротивления рассчитывают для каждой температуры поверки. Бюджет неопределенности результатов поверки включает две части: неопределенность измеряемой эталонным термометром температуры в термостате и неопределенность измерения сопротивления поверяемого термометра сопротивления. Приведены примеры программного обеспечения, используемые для снижения временных затрат при расчете неопределенности поверки термопреобразователей сопротивления. Анализ основных этапов поверки термопреобразователей сопротивления позволит метрологической службе разработать предложения по совершенствованию элементов метрологического обеспечения и обеспечить должный уровень качества выполнения поверочных работ.

Ключевые слова: термопреобразователь сопротивления, поверка, средства поверки, условия поверки, неопределенность, процесс, функциональное моделирование, программное обеспечение

ANALYSIS OF THE MAIN STAGES OF VERIFICATION OF RESISTANCE THERMAL CONVERTERS

Panova L.S.¹, Volnov A.S.¹

¹Orenburg State University, Orenburg,

e-mail: lad.panova@yandex.ru, Volnov_AS@mail.ru

To identify the main stages of verification of resistance thermal converters and increase the objectivity of the decisions made, we carried out functional modeling of the process «Check resistance thermal converter» in IDEF0 notation. The models developed by IDEF0 are designed to document the process in question, display information and resources that are used at each stage. The inputs, outputs, control actions and resources of the process are determined. The main means of verification and verification conditions are shown. The problems of choosing verification equipment - dry-well and liquid thermostats are given. Within the framework of the study, the stages of calculating the uncertainty of verification of resistance thermometers are considered. It has been established that the total standard and expanded uncertainties of resistance thermometer verification are calculated for each verification temperature. The uncertainty budget of the verification results includes two parts: the uncertainty of the temperature measured by the reference thermometer in the thermostat and the uncertainty of the measurement of the resistance of the resistance thermometer being verified. Examples of software used to reduce time costs when calculating the uncertainty of verification of resistance thermocouples are given. Analysis of the main stages of verification of resistance thermocouples will allow the metrological service to develop proposals for improving the elements of metrological support and ensure the proper level of quality of verification work.

Key words: resistance thermal converter, verification, verification tools, verification conditions, uncertainty, process, functional modeling, software

Термометр сопротивления (ТС) – это средство измерений температуры, состоящее из одного или нескольких термочувствительных элементов сопротивления и внутренних соединительных проводов, помещенных в герметичный защитный корпус внешних клемм или

выводов, предназначенных для подключения к измерительному прибору [1]. Согласно ГОСТ 8.461-2009 поверка ТС это установление его пригодности к применению на основании контроля соответствия основных характеристик требованиям ГОСТ 6651-2009 и технических документов изготовителя. ТС подвергают первичной и периодической поверкам в аккредитованных в установленном порядке поверочных лабораториях. Для идентификации основных этапов поверки ТС и повышения объективности принимаемых решений нами проведено функциональное моделирование процесса «Поверить термопреобразователь сопротивления» в нотации IDEF 0 (рисунки 1, 2). Разработанные IDEF0 модели предназначены для документирования рассматриваемого процесса, отображения информации и ресурсов, используемых на каждом этапе.

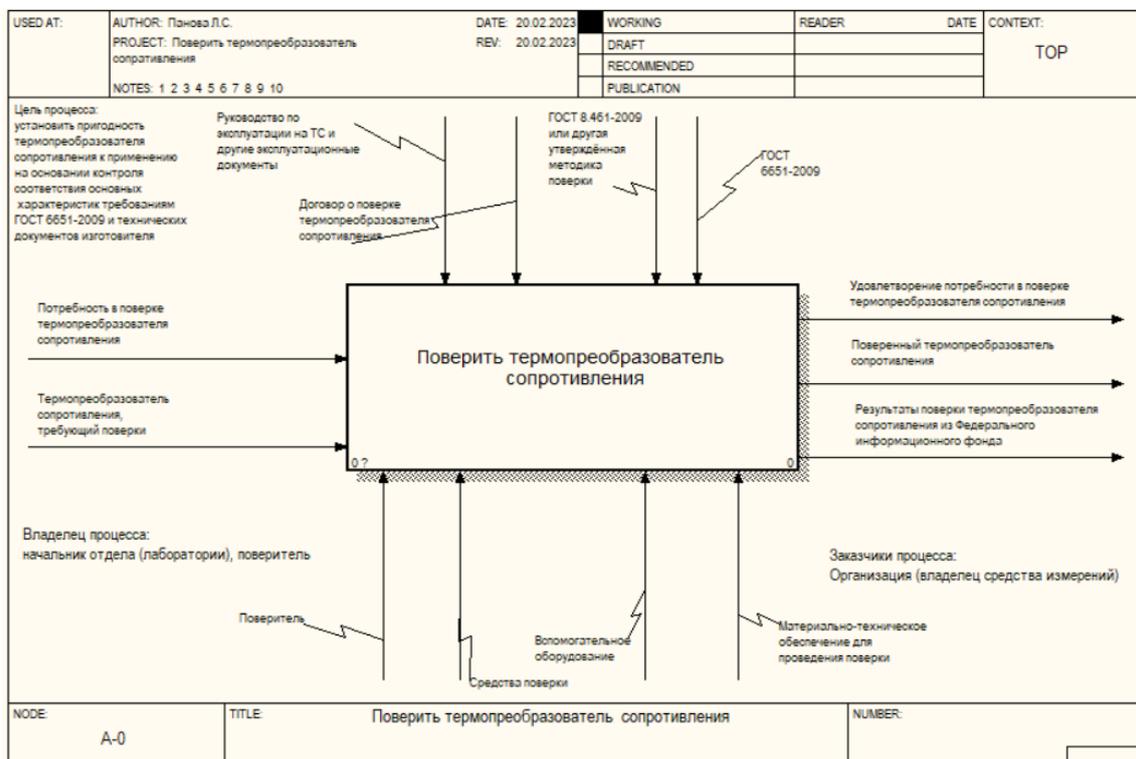


Рисунок 1 – Контекстная диаграмма процесса «Поверить термопреобразователь сопротивления»

Для моделирования выбранного процесса были определены входы, выходы, управляющие воздействия и ресурсы (рисунок 1). Входами являются: потребность в поверке ТС и непосредственно сам ТС. Выходами являются: удовлетворённая поверка ТС, поверенный ТС и результаты поверки ТС, внесенные в Федеральный информационный фонд. Управляющими воздействиями являются: руководство по эксплуатации ТС, договор о поверке и нормативные документы, необходимые для поверки ТС (ГОСТ 8.461-2009, ГОСТ 6651-2009 и др.). Ресурсами процесса являются: поверитель, средства поверки, вспомогательное оборудование и материально-техническое обеспечение для проведения поверки ТС. С целью описания

поэтапной последовательности рассматриваемого процесса проведена его декомпозиция (рисунок 2). Декомпозиция позволила рассмотреть сложный процесс как совокупность отдельных взаимосвязанных подпроцессов. Для поверки ТС применяют следующие основные средства поверки: эталонные термометры (например, ПТСВ-4-2), термостаты, калибраторы (например, QUARTZ 633-00/-21), установки для реализации реперных точек, приборы для измерения сопротивления ТС (например, мегаомметра Ф4101) и регистрации показаний эталонных термометров (например, МИТ 2.05М), приборы для измерения электрического сопротивления изоляции между выводами и защитным корпусом ТС. При этом в настоящее время возникает много вопросов, связанных с выбором поверочного оборудования. Например, сухоблочные термостаты – очень удобное средство поверки термометров и термопар. Они могут работать в широком температурном диапазоне, не требуют смены термостатирующей жидкости, экологически безопасны. Однако, точность поверки в таких сухоблочных термостатах значительно ниже, чем в жидкостных. Прежде всего, это связано с трудностью выравнивания температурного поля в рабочем объеме. Если в современных жидкостных переливных термостатах перепад температуры в объеме составляет менее $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$, то в самых современных сухоблочных термостатах градиент температуры по вертикали рабочего объема обычно не менее $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

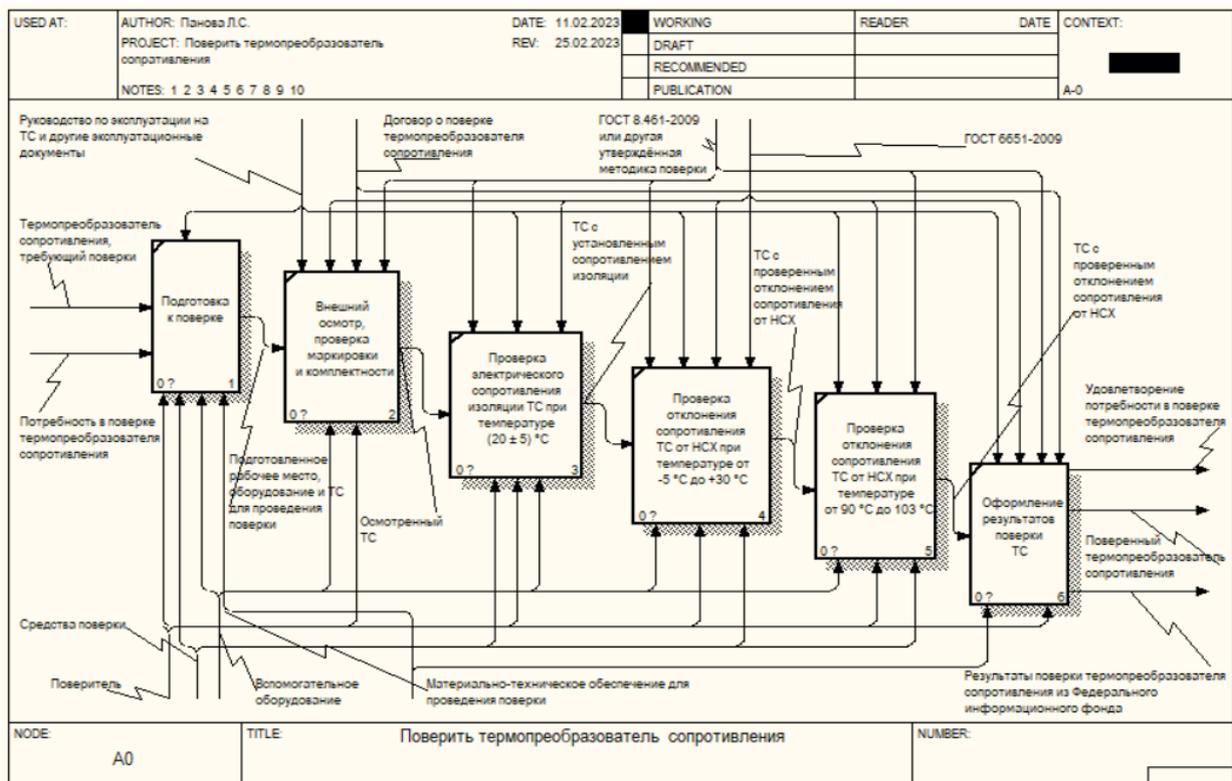


Рисунок 2 – Схема декомпозиции процесса «Поверить термопреобразователь сопротивления»

При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия: температура воздуха в помещении, предназначенном для поверки, должна быть $(20 \pm 5)\text{ }^{\circ}\text{C}$; относительная

влажность не более 80 %; атмосферное давление от 84 до 106,7 кПа; вибрация, тряска, удары, магнитные поля, кроме земного, влияющие на работу эталонных ТС и других средств поверки, должны быть исключены; напряжение питания сети должно быть в пределах, установленных эксплуатационными документами на средства поверки. К проведению поверки должны быть допущены лица, имеющие необходимую квалификацию и аттестованные в качестве поверителей.

Согласно ГОСТ 8.461-2009 каждая лаборатория должна провести предварительную оценку неопределенности измерений, основываясь на статистическом анализе случайной составляющей неопределенности и характеристиках используемого оборудования. Расширенная неопределенность результата измерения не должна превышать $1/3$ допуска поверяемых ТС. Суммарную стандартную неопределенность рассчитывают, как квадратный корень из суммы всех стандартных неопределенностей, с учетом коэффициентов влияния. Расширенную неопределенность получают умножением суммарной стандартной неопределенности на коэффициент расширения (охвата), который принимают $k=2$. Расширенная неопределенность поверки является показателем измерительных возможностей данной лаборатории, ее оценивают квалифицированные специалисты при аттестации рабочего места поверителя [2]. Суммарную стандартную и расширенную неопределенности поверки ТС рассчитывают для каждой температуры. При расчете суммарной неопределенности поверки учитывают неопределенность измерений температуры эталонным термометром и неопределенность измеренного значения сопротивления поверяемого ТС. Для расчета используют данные, полученные при проведении измерений, данные, полученные при предварительной экспериментальной оценке неопределенности, связанной со случайными эффектами при измерении в конкретной поверочной лаборатории, а также данные, приведенные в свидетельствах о поверке средств измерений: термостата, калибратора, реперной точки, эталонного термометра и измерительной установки. С целью облегчения непосредственного расчета значения стандартной неопределенности выходной величиной составляется бюджет неопределенности. Бюджет неопределенности может также использоваться для анализа вкладов от каждого источника неопределенности в суммарную неопределенность с целью определения точности измерительного процесса, корректировки модели измерения или поиска способов уменьшения влияния некоторых источников неопределенности [3]. Бюджет неопределенности результатов поверки ТС включает две части: неопределенность измеряемой эталонным термометром температуры в термостате и неопределенность измерения сопротивления поверяемого ТС (таблица 1).

Таблица 1 – Пример бюджета неопределенности поверки ТС (по ГОСТ 8.461-2009)

Источник неопределенности	Исходные данные	Тип распределения	Метод расчета стандартной неопределенности	Коэффициент чувствительности
Бюджет неопределенности измерения температуры в термостате				
Случайные эффекты при измерении	R_i – результат измерений N_{lab} – количество измерений для предварительной оценки N – количество измерений при поверке R_S – среднее арифметическое из N_{lab} измеренного	нормальное	$u(r_{lab}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{lab}} \frac{(R_i - R_S)^2}{N(N_{lab} - 1)}}$	$1/C_1$
Нестабильность температуры в термостате	$\pm \delta_{CT}$ – пределы колебаний температуры	равномерное	$u(t_S) = \frac{\delta_{CT}}{\sqrt{3}}$	1
Поверка эталонного термометра	U_3 – расширенная неопределенность поверки	нормальное	$u(\delta t_C) = \frac{U_3}{2}$	1
Электроизмерительная установка	$\pm \Delta_{np}$ – предел допустимой погрешности	нормальное	$u(\delta r_S) = \frac{\Delta_{np}}{3}$	$1/C_1$
	$\pm a_{rs}$ – разрешающая способность установки	равномерное	$u(\delta r_{rs}) = \frac{a_{rs}}{\sqrt{3}}$	$1/C_1$
Нестабильность эталонного термометра за межповерочный интервал, равномерного распределения	$\pm a_3$ – возможное изменение в сопротивлении ТС за межповерочный интервал	равномерное	$u(\delta t_T) = \frac{a_3}{\sqrt{3}}$	1
Суммарная стандартная неопределенность температуры в термостате $u_c(t_x)$, °C	$u_c(t_x) = \sqrt{\frac{1}{C_1^2} u^2(r_{lab}) + u^2(t_S) + u^2(\delta t_C) + \frac{1}{C_1^2} u^2(\delta r_S) + \frac{1}{C_1^2} u^2(\delta r_{rs}) + u^2(\delta t_T)}$			
Бюджет неопределенности измерения сопротивления поверяемого ТС				
Случайные эффекты при измерении	R_i – результат i -го измерения N_{lab} – количество измерений для предварительной оценки N – количество измерений при поверке R_S – среднее арифметическое из N_{lab} измерений	нормальное	$u(r_{lab}) = \sqrt{\sum_{i=1}^{N_{lab}} \frac{(R_i - R_S)^2}{N(N_{lab} - 1)}}$	1
Электроизмерительная установка	$\pm \Delta_{np}$ – предел допустимой погрешности	нормальное	$u(\delta r_S) = \frac{\Delta_{np}}{3}$	1
	$\pm a_{rs}$ – разрешающая способность установки	равномерное	$u(\delta r_{rs}) = \frac{a_{rs}}{\sqrt{3}}$	1
Перепад температуры в рабочем объеме	$\pm a_F$ – изменение температуры в рабочем объеме	равномерное	$u(\delta t_F) = \frac{a_F}{\sqrt{3}}$	C_2
Суммарная стандартная неопределенность измерения сопротивления $u_c(R_k)$, Ом	$u_c(R_k) = \sqrt{u^2(r_{lab}) + u^2(\delta r_S) + u^2(\delta r_{rs}) + C_2^2 u^2(\delta t_F)}$			

Основными источниками неопределенности измерения температуры в термостате являются: случайные эффекты при измерении, нестабильность температуры в термостате, градуировка эталонного термометра, поверка электроизмерительной установки, нестабильность эталонного термометра за межповерочный интервал. Основными источниками неопределенности измерения сопротивления поверяемого ТС являются: случайные эффекты при

измерении, поверка электроизмерительной установки, градиент температуры в рабочем объеме термостата (таблица 1). Для снижения временных затрат на поэтапную обработку математических расчётов неопределенности измерений необходимо прийти к их автоматизации. Для этих целей создано программное обеспечение (таблица 2), которое позволило прийти к реализации алгоритмов в табличном процессоре без специальных знаний в области программирования и даст возможность производить поверку термометров сопротивления с высокой точностью и с наименее затраченным временем.

Таблица 2 – Примеры программного обеспечения (ПО), используемые при расчете неопределенности поверки ТС [4]

Название ПО	Характеристики
ТCal-8-461. ПО для расчета неопределенности поверки термопреобразователей сопротивления по ГОСТ 8.461-2009 (Разработчик ООО «ИЦ «ТЕМПЕРАТУРА»)	Программа ТCal-8-461 разработана для предприятий и центров поверки и сертификации, которые получают аккредитацию на право поверки и калибровки термопреобразователей сопротивления из платины, меди и никеля. ТCal-8-461 позволяет рассчитать расширенную неопределенность поверки термопреобразователей методом сличения с эталонным термометром сопротивления на основе данных о применяемом при поверке оборудовании, а также данных оценивания случайных эффектов при измерении, характерных для конкретной лаборатории. Программа прошла добровольную сертификацию в ФГУП «ВНИИМ им. Д.И. Менделеева» и имеет сертификат на соответствие ГОСТ Р 8.654-2015, ГОСТ Р 8.883-2015, МИ 2955-2010, МИ 2174-91, ГОСТ 8.461-2009. Программное обеспечение ТCal-8-461 имеет удобный интерфейс ввода данных, предусмотрена возможность распечатки протокола расчета неопределенности. Стоимость – 7000 руб.
Программа для расчета неопределенности поверки термометров сопротивления в виде электронных таблиц по ГОСТ Р 8.461-2009 (Разработчик ООО «ИЦ «ТЕМПЕРАТУРА»)	Работа с таблицей осуществляется посредством ввода данных об оборудовании лаборатории в специально обозначенные поля. По полученным значениям автоматически рассчитывается расширенная неопределенность поверки. Программа сопровождается подробным описанием. В дополнение заказчик получает текст лекции о поэтапном расчете неопределенности поверки ТС из учебного семинара ВНИИМ. Данная программа не сертифицирована. Стоимость комплекта 2500 руб.

При положительных результатах поверки на соответствие допускам по ГОСТ 6651-2009 на корпус ТС наносят клеймо и/или оформляют свидетельство о поверке, в котором указывают наименование и тип ТС, серийный номер ТС, рабочий диапазон температур ТС, условное обозначение НСХ, класс допуска и срок действия свидетельства. Подпись поверителя удостоверяют оттиском поверительного клейма. По согласованию с заказчиком в свидетельстве о поверке допускается указывать результаты измерений, полученные при проведении поверки, и их неопределенность. При отрицательных результатах поверки оттиск поверительного клейма гасят или аннулируют свидетельство о поверке и выдают извещение о непригодности ТС с указанием причин.

Список литературы

1 Мартемьянов, Д.Б. Разработка и аттестация методики испытаний для целей утверждения типа термопреобразователя сопротивления / Д. Б. Мартемьянов, В.В. Пшеничникова, Д.А. Шабанов // Омский научный вестник, 2015. – №2 (140). – С. 182-184.

2 Моисеева, Н.П. Применение международных норм в новом национальном стандарте на методику поверки рабочих термометров сопротивления [Электронный ресурс]./ Н.П. Моисеева // Измерительная техника, 2007. – Режим доступа: <http://temperatures.ru/pdf/Moisseeva3.pdf>. – 16.02.2023.

3 Меркулова, А.А. Оценка расширенной неопределенности поверки термопреобразователя сопротивления класса А при температуре 100 °С с применением калибратора температуры / А.А. Меркулова, Ю.М. Быков // Современные материалы, техника и технологии, 2018. – №2 (17). – С. 95-100.

4 Программы расчета неопределенности поверки термопреобразователей сопротивления [Электронный ресурс] / Н.П. Моисеева. – Режим доступа: https://temperatures.ru/pages/programmy_rascheta. – 16.02.2023.