

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

на тему Разработка методики калибровки ротаметров

выполнена Гремячкина Татьяна Евгеньевна

фамилия, имя, отчество студента в творительном падеже

по направлению подготовки/  
специальности

27.04.01

код

Стандартизация и метрология

наименование направления подготовки/ специальности

наименование направления подготовки/ специальности

направленности

Метрологическое обеспечение производственных

наименование направленности

процессов и производств

наименование направленности

Студент группы №

M861M

Т.Е.Гремячкина

инициалы, фамилия

Научный руководитель

доц.,к.т.н.,доц.

Должность

А.Г.Грабарь

инициалы, фамилия

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа на тему «Разработка методики калибровки ротаметров» направлена на гармонизацию нормативной документации калибровочных лабораторий, а именно методик оценивания неопределенности измерений при калибровках СИ.

Цель работы – разработать методику калибровки ротаметров в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению».

Задачи работы:

- сбор, изучение и анализ нормативной документации;
- изучение и анализ общих сведений о ротаметрах, их технических характеристиках и конструктивных особенностях;
- изучение требований к методикам калибровки в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014;
- разработка методики калибровки ротаметра в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014;
- проведение снятия показаний ротаметра;
- обработка результатов измерений;
- оценивание неопределенности измерений.

Объектом работы - Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт - Петербурге и Ленинградской области».

Предмет работы – методика калибровки ротаметров.

Работа теоретически построена в соответствии с требованиями ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению» и рассчитана на пополнение нормативно-технической базы

методиками для осуществления процедуры калибровки в калибровочных лабораториях и иных организациях

Калибровка средства измерений со временем становится одним из самых распространенных видов метрологических работ не только на отечественном, но и на мировом рынке. Различные преобразования понятия калибровки, отсутствие опыта калибровки в ряде отраслей, применение процедур калибровки и поверки средств измерений одновременно, привели к отсутствию единого организационного и методического подхода к проведению процедуры калибровки и трудностям внедрения требований современных международных стандартов по калибровке.

Внедрение калибровки СИ на любом предприятии – значительный шаг в развитии метрологической деятельности как системы управления измерениями по показателям точности (а именно неопределенности измерений), необходимых для конкретных технологий, используемых на предприятии, для обеспечения надлежащего качества и надежности продукции.

## СОДЕРЖАНИЕ

### ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ 6

ВВЕДЕНИЕ .....	7
Глава 1 Сбор, изучение и анализ нормативной документации .....	10
1.1 Требования к методикам калибровки .....	10
1.2 Калибровка .....	12
1.3 Оценивание неопределенности измерений.....	13
1.4 Вывод по 1 главе .....	17
Глава 2 Ротаметр. Общие сведения.....	19
2.1 Особенности конструкции и общие сведения .....	19
2.2 Устройство и принцип работы .....	21
2.3 Вывод по 2 главе .....	23
Глава 3 Разработка методики и апробация калибровки ротаметра .....	24
3.1 Статистический анализ калибровочных работ в ФБУ «Тест - С.-Петербург».....	24
3.2 Оформление методики калибровки.....	25
3.2.1 Теоретическая составляющая методики калибровки .....	25
3.2.2 Технические требования .....	28
3.2.3 Подготовка к калибровке .....	29
3.2.4 Определение метрологических характеристик.....	30
3.2.5 Оценивание неопределенности измерений. Составление схемы бюджета неопределенности.....	31
3.2.6 Оформление результатов измерений .....	35
3.3 Применение методики калибровки ротаметров .....	36
3.3.1 Калибровка ротаметра типа РМ .....	36

3.3.2 Расчет неопределенности измерений .....	44
3.4 Вывод по 3 главе .....	51
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	55
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ....	59
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	60

## **ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

РСК – Российская система калибровки

ТУ – технические условия

ПО – программное обеспечение

СИ – средство измерения

ЦД – цена деления

ЕВ – единица величины

МК – методика калибровки

НД- нормативная документация

СКО – среднеквадратичное отклонение

СО – стандартный образец

ИСО – Международная организация по стандартизации

МЭК – Международная электротехническая комиссия

## ВВЕДЕНИЕ

Деятельность Российской системы калибровки (РСК) значительно изменилась после создания Федеральной службы по аккредитации. Аккредитация всех калибровочных лабораторий и организаций, выполняющих калибровку средства измерений (СИ), выполнялась исключительно Федеральной службой по аккредитации в соответствии с требованиями ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий». По этой причине были предложены, разработаны и внедрены межгосударственные и национальные документы, которые устанавливают новые требования к процедурам калибровки и разработке нормативной документации. В последствии внедрения новых требований количество аккредитованных организаций и лабораторий сократилось, что привело к значительным изменениям в документации РСК [1].

В течение последнего десятилетия подход к калибровочным работам был существенно изменен. Ниже рассмотрим основные преобразования в области калибровки СИ.

После внесения изменений в термин «калибровка» в федеральном законе «Об обеспечении единства измерений» (№102-ФЗ от 26.06.2008 г.), калибровка как процедура стала одним из самых распространенных и общедоступных способов повышения точности СИ. Основным результатом процедуры калибровки стало определение действительных значений метрологических характеристик [2]. Признание пригодности (непригодности) СИ к применению стало необязательным [3].

Введение новых требований к условиям и методам проведения процедуры калибровки СИ в ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» повлекло за собой обязательную оценку неопределенности результатов измерений, проверку квалификации калибровочных лабораторий и др.

Также осуществление калибровки СИ и эталонов единиц величин – обязательное условие метрологической прослеживаемости, характеристика которой в соответствии с международным словарем является неопределенность измерений, которая сочетает в себе неопределенность измерений калибруемого СИ и неопределенность эталонов на всех уровнях прослеживаемости, начиная с первичного эталона [4]. Именно поэтому значимость применения калибровки СИ в совокупности с существующими понятиями прослеживаемости и неопределенности измерений установлена для прикладной метрологии на международном уровне.

В настоящее время понятие «калибровка» объясняется со стороны неопределенности измерений, которая обусловлена неопределенностями рабочих эталонов и калибруемых СИ. Это было вызвано необходимостью обеспечения прослеживаемости размера единицы величины до национального эталона оценивания неопределенности измерений при калибровке. В соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий» для международного признания результатов калибровки СИ на законодательном уровне была выявлена потребность в наличии процедур оценивания неопределенности измерений [5]. Именно поэтому необходимо разрабатывать методики калибровки и методики оценивания неопределенности измерений с целью международной системы обеспечения единства измерений. В этом и заключается актуальность данной работы.

Целью данной магистерской диссертации является разработка методики калибровки для ротаметров в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению».

Для реализации данной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- сбор, изучение и анализ нормативной документации;



- изучение и анализ общих сведений о ротаметрах, их технических характеристиках и конструктивных особенностях;
- изучение требований к методикам калибровки в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014;
- разработка методики калибровки ротаметра в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014;
- проведение снятия показаний ротаметра;
- обработка результатов измерений в соответствии с методикой калибровки ротаметров;
- оценивание неопределенности измерений в соответствии с методикой калибровки ротаметров.

## **Глава 1 Сбор, изучение и анализ нормативной документации**

### **1.1 Требования к методикам калибровки**

Содержание методики калибровки должно отвечать требованиям согласно ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению». Рассмотрим основные рекомендации порядка и содержания методик калибровки:

- 1) Вводная часть (область распространения);
- 2) Нормативные ссылки;
- 3) Определения;
- 4) Технические требования:
  - 4.1) Требования к неопределенностям измерений;
  - 4.2) Требования к средствам калибровки и вспомогательному оборудованию;
  - 4.3) Требования к условиям проведения калибровки;
- 5) Требования к квалификации калибровщиков;
- 6) Требования безопасности;
- 7) Подготовка к процедуре калибровки;
- 8) Процедура калибровки;
- 9) Обработка результатов измерений;
- 10) Оформление результатов калибровки [6].

Выделим основные требования к содержанию и изложению методики калибровки:

- 1) Титульный лист;
- 2) Идентификация (наименование, номер, сведения о разработчике);
- 3) Область распространения;
- 4) Описание основных характеристик калибруемых СИ;
- 5) Метрологические характеристики СИ;
- 6) Перечень средств и вспомогательного оборудования для калибровки СИ;

- 7) Сведения об условиях окружающей среды;
- 8) Описание процедуры калибровки СИ (подготовка к калибровке, проверка функционирования СИ, калибровка, обработка результатов измерений и их описание, меры безопасности).

Методика калибровки должна содержать в себе вводную часть и разделы. Допускается объединять, добавлять или исключать отдельные разделы, если данная процедура аргументирована.

Срок последующей калибровки СИ допускается указывать в вводной части методики.

В разделе «Требования к неопределенности измерений» необходимо указать значение известной неопределенности измерений при калибровке (неопределенность, заранее известная как верхний предел и принятая, их предполагаемое использования результатов измерений).

Перечисляя средства калибровки и вспомогательное оборудование необходимо описать их метрологические и основные технические характеристики данных средств и (или) нормативную или техническую документацию, которые регламентируют данные требования.

«Условия проведения калибровки» также должны содержать перечень величин, которые оказывают влияние на метрологические характеристики средств измерений или средств калибровки, с указанием их нормируемых номинальных значений и допускаемых отклонений.

В методике калибровке необходимо прописывать требуемую квалификацию калибровщиков (профессия, образование, практический опыт, специальная подготовка). Для соблюдения безопасности труда калибровщиков необходимо включить раздел «Требования по обеспечению безопасности».

Перечень и способы выполнения работ, которые необходимо провести перед непосредственной процедурой калибровки СИ, учитываются в разделе «Подготовка к процедуре калибровки» (проверка комплектности, внешнего вида СИ, работоспособности и т.д.).

Раздел «Процедура калибровки» обязан включать в себя наименования, а также операции по определению действительных значений метрологических характеристик СИ, описание которых должно содержать в себе наименование определяемой величины, метод калибровки, чертежи, схемы, графики, таблицы и т.д.

Если при проведении калибровки СИ необходимо вести протокол калибровки для записи результатов измерений, это следует указать, и сделать образец протокола в приложении.

Бывает, что обработка результатов измерений осуществляется с помощью определенного ПО. В таком случае необходимо указать разработчика ПО, алгоритмы расчета, блок-схемы и т.д.

Требования к оформлению результатов измерений необходимо включить в раздел «Оформление результатов калибровки», в котором можно описать способ или сочетание способов оформления результатов калибровки (сертификат о калибровке, место и способ нанесения оттиска калибровочного клейма, внесение записи в паспорт, формуляр или другой эксплуатационный документ на средство измерения). Оформление сертификата осуществляется в соответствии с требованиями ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019.

## **1.2 Калибровка**

В настоящее время калибровка – это один из распространенных видов метрологических работ. В соответствии с Законом РФ №102 «Об обеспечении единств измерений» калибровкой принято называть совокупность операций, выполняемых для определения действительных значений метрологических характеристик [7].

Любые СИ, которые не предназначены для применения в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, могут подвергаться калибровке добровольно [2].

Калибровку средств измерений (СИ) имеют право проводить юридические лица и индивидуальные предприниматели, которые аккредитованные в области обеспечения единства измерений.

Обычно калибровка СИ проводится для получения числовых данных, которые характеризуют правильность получаемых результатов измерений при его использовании. Со стороны экономики калибровочные лаборатории заинтересованы в максимально широком признании результатов калибровки, которое обеспечивается с помощью прослеживаемости и предоставления данных о значениях неопределенности результатов измерений [8].

Внедрение калибровки СИ на любом предприятии – значительный шаг в развитии метрологической деятельности как системы управления измерениями по показателям точности (а именно неопределенности измерений), необходимых для конкретных технологий, используемых на предприятии, для обеспечения надлежащего качества и надежности продукции [9].

### **1.3 Оценивание неопределенности измерений**

Обязательной частью калибровки является оценка неопределенности измерений. Результату измерения величины должна сопутствовать некоторая количественная характеристика качества результата измерений, чтобы при использовании данного результата возможно было оценить его достоверность. Без такой информации результаты измерений нельзя сопоставить ни друг с другом, ни со значениями, указанными в технических условиях или стандарте [10]. Это требует наличия простой в применении, понятной и общепризнанной процедуры, позволяющей характеризовать качество результата измерений, а именно оценивать и выражать его неопределенность. Неопределенностью называют неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании измерительной информации [11].

Понятие неопределенности как количественной характеристики является относительно новым в истории измерений, хотя понятия погрешности и анализа погрешностей давно используются в метрологической практике. В настоящее время общепризнанно, что после того, как найдены оценки всех ожидаемых составляющих погрешности и в результат измерения внесены соответствующие поправки, все еще остается некоторая неопределенность в отношении полученного результата, а именно сомнение в том, насколько точно он соответствует значению измеряемой величины [12].

Стандартная неопределенность измерений называют неопределенность измерений, выраженная в виде стандартного отклонения. Неопределенность разделяют на две категории по способу оценивания в зависимости от метода оценивания: по типу А и по типу В.

Оценивание неопределенности измерений по типу А - оценивание составляющей неопределенности измерений путем статистического анализа измеренных значений величины, воспроизводимых при определенных условиях получения результата измерений.

Оценивание неопределенности измерений по типу В - оценивание составляющей неопределенности измерений способами, отличными от оценивания неопределенности измерений по типу А.

Классификация по типам А и В введена только для указания на наличие двух разных способов оценивания составляющих неопределенности и для удобства обсуждения. Ее не следует интерпретировать как различие в природе составляющих неопределенности, полученных разными методами оценивания. Оба способа оценивания основаны на распределении вероятностей, и вне зависимости от способа оценивания составляющие неопределенности количественно характеризуются одним и тем же параметром: дисперсией или стандартным отклонением [13].

Оценку дисперсии  $u^2$  для составляющей неопределенности, оцениваемой по типу А, получают на основе ряда повторных наблюдений, и

она совпадает с известной статистической характеристикой — выборочной дисперсией  $s^2$ . Оценка стандартного отклонения и, представляющая собой положительный квадратный корень из  $u^2$ , совпадает, таким образом, с выборочным стандартным отклонением,  $u = s$ , и для удобства ее иногда называют стандартной неопределенностью типа А. Оценку дисперсии  $u^2$  для составляющей неопределенности, оцениваемой по типу В, получают по имеющейся информации, а оценку стандартного отклонения и иногда называют стандартной неопределенностью типа В.

Таким образом, стандартную неопределенность типа А рассчитывают по плотности распределения, полученной из распределения частот, а стандартную неопределенность типа В — по предполагаемой плотности распределения, отражающей степень уверенности в появлении того или иного события. Оба подхода являются общепринятой интерпретацией понятия вероятности.

Рассмотрим способ оценивания стандартной неопределенности по типу А подробнее.

В большинстве случаев наилучшей оценкой математического ожидания  $\mu_q$  случайным образом изменяющейся величины  $q$ , для которой при постоянных условиях измерения были получены  $n$  независимых наблюдений  $q_k$ , является среднее арифметическое (или просто среднее) значение  $\bar{q}$  из наблюдений  $n$  (формула 1):

$$\bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n q_k \quad (1)$$

Разброс значений в наблюдениях  $q_k$  обусловлен случайными изменениями влияющих величин (случайными эффектами). Выборочную дисперсию  $s^2(q_k)$ , являющуюся оценкой дисперсии  $\sigma^2$  для данного распределения вероятностей величины  $q$ , получают по формуле 2:

$$s^2(q_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2 \quad (2)$$

Положительный квадратный корень  $s(q_k)$  из выборочной дисперсии называют выборочным стандартным отклонением. Эта величина

характеризует изменчивость наблюдений  $q_k$  или, точнее, их разброс относительно среднего значения  $\bar{q}$  [14].

Наилучшей оценкой дисперсии среднего значения  $\sigma^2(\bar{q})$ ,  $\sigma^2(\bar{q}) = \sigma^2/n$  является

$$s^2(q_k) = \frac{s^2(q_k)}{n} \quad (3)$$

Выборочная дисперсия среднего значения  $s^2(\bar{q})$ , и выборочное стандартное отклонение среднего значения  $s(\bar{q})$ , равное положительному квадратному корню из  $s^2(\bar{q})$ , определяют количественно, насколько хорошей оценкой математического ожидания  $\mu_k$  величины  $q$  является  $\bar{q}$ , и могут быть использованы в качестве меры неопределенности  $\bar{q}$ .

Таким образом, стандартную неопределенность  $u(x_j)$  оценки  $x_j = X_j$ , полученную по  $n$  независимым повторным наблюдениям  $X_{j,k}$  входной величины  $X_j$  определяют как  $u(x_j) = s(\bar{X}_j)$  с использованием формулы 3 для оценки  $s(\bar{X}_j)$ . Для удобства  $u^2(x_j) = s^2(\bar{X}_j)$  и  $u(x_j) = s(\bar{X}_j)$  иногда называют соответственно дисперсией типа А и стандартной неопределенностью типа А.

Анализ оценивания неопределенности типа А, показанный выше, не является исчерпывающим. Существует много ситуаций, иногда довольно сложных, требующих применения разных статистических методов. Важным примером является планирование эксперимента, часто основанное на применении метода наименьших квадратов, в целях калибровки для оценки неопределенностей, связанных с кратковременными и долговременными случайными изменениями результатов сличений материальных эталонов с неизвестными размерами единиц величин (например, концевых мер длины, эталонов массы) с эталонами сравнения с известными передаваемыми размерами единиц величин. В таких сравнительно простых измерительных задачах составляющие неопределенности часто можно оценить посредством дисперсионного анализа результатов иерархических экспериментов для заданного числа уровней иерархии [15].



Для оценки  $x_j$  входной величины  $X_j$ , которая не была определена в результате повторных наблюдений, значения оценки дисперсии  $u^2(x_j)$  или стандартной неопределенности  $u(x_j)$  получают в результате обобщения и анализа всей доступной информации о возможной вариативности  $X_j$ . Эта информация необходима для оценки неопределенности по типу В и может включать в себя:

- данные предшествующих измерений;
- полученные опытным или теоретическим путем сведения о свойствах материалов и характеристиках приборов;
- характеристики, заявляемые изготовителем;
- данные, приводимые в свидетельствах о калибровке и других документах;
- неопределенности величин, которые вместе со значениями этих величин приведены в справочниках.

Для удобства оценки  $u^2(x_j)$  и  $u(x_j)$ , полученные таким образом, называют соответственно дисперсией типа В и стандартной неопределенностью типа В.

Правильное использование доступной информации для оценивания стандартной неопределенности типа В требует физической интуиции, основанной на опыте и общих знаниях, которая приходит с накопленной практикой. Следует понимать, что оценка стандартной неопределенности по типу В может быть не менее надежной, чем оценка стандартной неопределенности по типу А, особенно если последняя получена в условиях небольшого числа статистически независимых наблюдений [16].

#### **1.4 Вывод по 1 главе**

Разработка методик калибровки – это одна из первостепенных задач на начальном этапе развития калибровочной деятельности. Необходимо документальное подтверждение для выбора эталонов, состава, объема

измерений, условий проведения работ, диапазонов, установления периодичности калибровки средств измерений и так далее при проведение процедур калибровки [17]. Именно разработка подобных методик может выполняться исходя из соотношения неопределенности результатов измерений и требований калибровки к точности измерений в конкретных условиях [18].

В соответствии с требованиями ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019 обязательной частью калибровки является оценка неопределенности результатов измерений. В зарубежной практике имеется достаточно большой методический материал по расчету неопределенности при калибровке приборов различных видов измерений [19]. Логично предположить, что для дальнейшего развития калибровки необходима гармонизация отечественной и зарубежной литературы и практики применения калибровки как основной формы подтверждения соответствия СИ, эталонов, единиц величин, технических систем и различных устройств [20]. Соответственно, следует вносить изменения в понятия в области калибровки, требования к проведению калибровочных работ, к расчетам неопределенности и т.п.

## Глава 2 Ротаметр. Общие сведения

### 2.1 Особенности конструкции и общие сведения

Ротаметр – прибор (расходомер) для определения объемного расхода жидкости или газа в единицу времени [21].

Ротаметры условно можно поделить на следующие типы:

- металлические ротаметры с преобразованием измеряемой величины в пневматический выходной сигнал (пневматические) (рисунок 1);



Рисунок 1 - Ротаметр пневматический РП

- металлические ротаметры с преобразованием измеряемой величины в электрический выходной сигнал (электрические);
- ротаметры со стеклянной ротаметрической трубкой и местными показаниями (рисунок 2) [22].



Рисунок 2 – Ротаметры с местными показаниями типа РМ

Если ротаметры конкретного типа имеют какие-либо отличительные признаки, то условное обозначение этих ротаметров точнее прописано в ТУ.

Среди известных производителей, помимо отечественных, на рынке можно встретить продукцию «ZYIA», «RotaYokogawa», «Krohne» (рисунок 3), «Сименс», «Джордж Фишер», «GEMU», «Франко Пласт» и другие.



Рисунок 3 - Ротаметр фирмы Krohne

Рассмотри достоинства и недостатки ротаметров (таблица 1).

Таблица 1 - Достоинства и недостатки ротаметров

Достоинства	Недостатки
Широкий диапазон расходов;  Погрешность постоянна в любой точке шкалы;  Равномерно отградуированная шкала;  Изготавливается по простым технологиям из недорогих материалов  Несущественная потеря давления на всем диапазоне измерения	Прибор предусматривает лишь вертикальное положение;  Среда измерений может быть только прозрачной (так как иначе не будет виден поплавков или шкала);  Положение поплавка, а соответственно, значение расхода зависит от плотности измеряемой среды

## 2.2 Устройство и принцип работы

В классическом виде ротаметр состоит из конической трубки, которая расходится вверх (рисунок 4). На трубке имеется шкала. На отечественных ротаметрах обычно шкала выражена в процентах, где отметка 100 соответствует верхнему пределу ротаметра. На зарубежных ротаметрах – в единицах расхода (л/мин, м<sup>3</sup>/ч и т.д.). Внутри трубки свободно снизу вверх перемещается поплавков. Также на ротаметре есть резьбовые штуцеры (на входе и выходе жидкости или газа), которые предназначены для его монтажа в установки, трубопроводы и т.д. Герметичность ротаметра достигается с помощью уплотнительных резиновых прокладок.

Принцип работы ротаметра следующий: поплавков ротаметра под действием потока жидкости или газа вращается и перемещается снизу вверх.

Отметка шкалы ротаметра соответствует определенному расходу, процедурой определения этого расхода называют градуировкой. Поплавок выше, соответственно, площадь вокруг него больше, через которую проходит поток, в следствии расход увеличивается. С помощью градуировочной характеристики можно уравновесить поплавок так (то есть вес поплавка, приходящийся на единицу площади поперечного сечения, будет равен перепаду давления), чтобы его верхний срез соответствовал требуемому расходу [23].

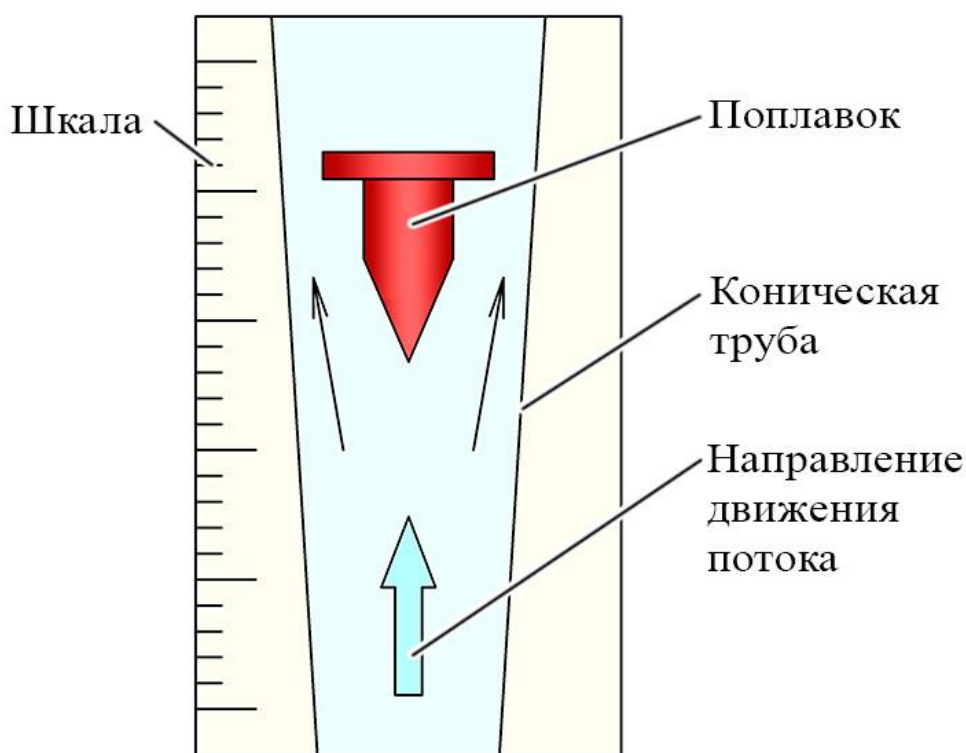


Рисунок 4 - Принцип работы поплавкового ротаметра

Принцип работы пневматического ротаметра своей ротаметрической частью похож на обычный поплавковый ротаметр (смотри выше). Корпус пневматического ротаметра представляет собой прямоточную трубу с присоединительными кольцами на концах. С помощью перемещения сдвоенных магнитов, встроенных в ротаметр и связанных с поплавком, и происходит преобразование этого перемещения в пневматический сигнал.

Ротаметры электрические, принцип действия которых основан также на восприятии динамического напора измеряемого потока, проходящего снизу вверх поплавком в конусе, имеет и электрическую часть. Электрическая часть ротаметра состоит из сердечника, индукционной катушки, двух резисторов. Сердечник перемещается внутри катушки, которые вместе образуют дифференциально-трансформаторный преобразователь.

Ротаметры могут быть различных размеров, благодаря чему можно использовать их как в бытовых условиях, так и в сложных промышленных, где объемы потоков газа или жидкости значительно больше.

### **2.3 Вывод по 2 главе**

Ротаметры имеют широкую сферу применения, например, химическая, энергетическая, фармацевтическая, пищевая, автомобильная, добывающая целлюлозно-бумажная промышленности, машиностроение, строительство, ЖКХ и т.д.

В связи со значительным производством различных типов ротаметров за границей, а также использованием ротаметров, например, в калибровочных лабораториях, ротаметры должны подвергаться калибровке. Осуществляется это с целью определения действительных значений метрологических характеристик, которые требуют заказчики. Ротаметры зарубежного производства так или иначе подвергаются калибровке, потому что не занесены в государственный реестр средства измерений и чаще всего не имеют собственную методику поверки. Соответственно могут подвергаться процедуре калибровки, но исключительно по просьбе заказчика с указанием необходимого межкалибровочного интервала.

## Глава 3 Разработка методики и апробация калибровки ротаметра

### 3.1 Статистический анализ калибровочных работ в ФБУ «Тест - С.-Петербург»

Одной из направлений метрологической деятельности ФБУ «Тест - С.-Петербург» является разработка методик калибровки.

ФБУ «Тест - С.-Петербург» аккредитован в области компетентности в части выполнения калибровочных работ. Свидетельство о регистрации в российской системе калибровки показано на рисунке 5.



Рисунок 5 – Свидетельство о регистрации в РСК



Был проведен анализ оказания калибровочных работ за последние несколько лет в ФБУ «Тест - С.-Петербург», результаты которого представлены на рисунке 6.

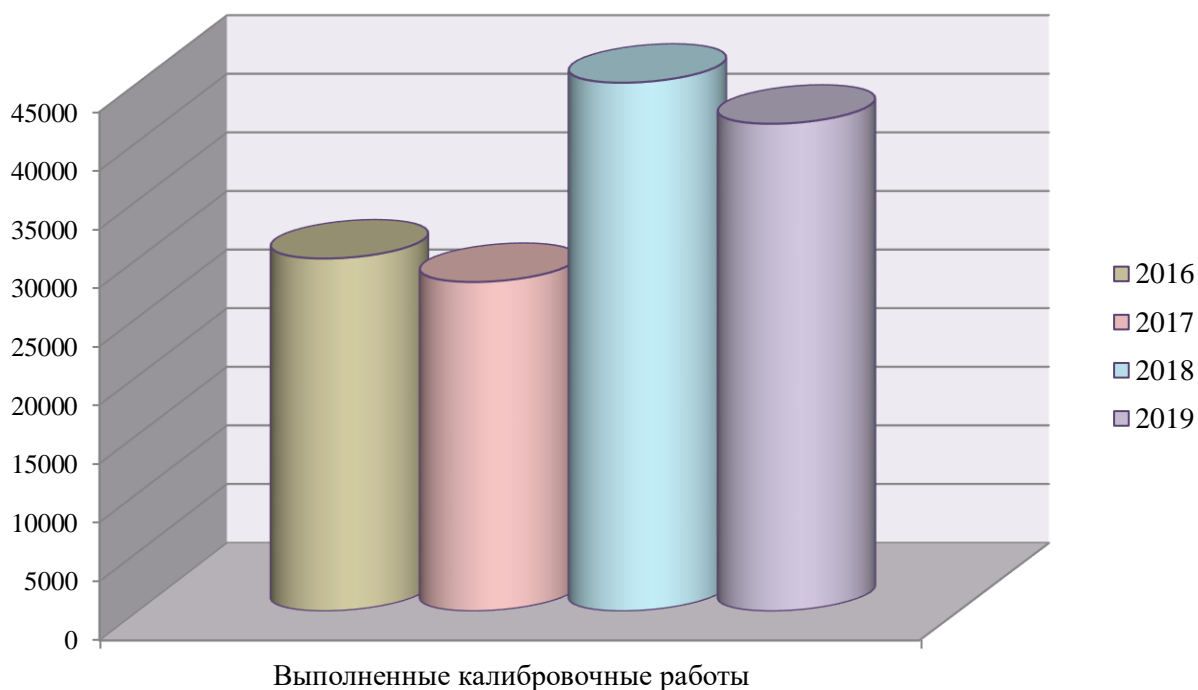


Рисунок 6 - Анализ проведения калибровочных работ в ФБУ «Тест-С.-Петербург»

В результате анализа можем сделать вывод о том, что оказание услуг в области калибровки средств измерений в ФБУ «Тест-С.-Петербург» с каждым годом становится более востребованным, а именно выросло в два раза после 2016 года. В связи с этим возникает необходимость гармонизации нормативной документации.

## **3.2 Оформление методики калибровки**

### **3.2.1 Теоретическая составляющая методики калибровки**

Титульный лист методики калибровки должен соответствовать ГОСТ Р 8.879-2014. Общий вид титульного листа представлен в приложении А.

Вводная часть и область распространения:

«Калибровка средств измерений (СИ) является основным элементом метрологической прослеживаемости измерений, необходимой для обеспечения компетентности калибровочных лабораторий, которые аккредитованы на соответствие стандарту ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2009 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

Данная методика калибровки распространяется на ротаметры (расходомеры постоянного перепада давления), предназначенные для измерения объемного расхода плавноточающихся однородных потоков чистых и слабозагрязненных жидкостей и газов с дисперсными включениями однородных частиц нейтральных к материалам деталей, соприкасающихся с измеряемой средой».

Методика калибровки разрабатывается в соответствии с требованиями документации, приведенной ниже:

- ГОСТ Р 8.879-2014 Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению;
- ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий;
- ГОСТ 34100.3-2017/ ISO/IEC Guide 98-3:2008 Неопределенность измерения. Часть 3 Руководство по выражению неопределенности измерения;
- ГОСТ 13045-81 Ротаметры. Общие технические условия;
- ГОСТ Р 8.122-99 Государственная система обеспечения единства измерений. Ротаметры. Методика поверки.

Термины и определения, которые будут применены в методике калибровки ротаметров:

- 1) калибровка средств измерений - совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений;

2) действительный расход – объемный расход газа, который проходит через ротаметр при условиях измерений (физический объем, проходящий в единицу времени);

3) метрологические требования - требования к влияющим на результат и показатели точности измерений характеристикам (параметрам) измерений, эталонов единиц величин, стандартных образцов, средств измерений, а также к условиям, при которых эти характеристики (параметры) должны быть обеспечены;

4) методика калибровки средств измерений - документ, регламентирующий процедуру калибровки средств измерений;

5) методика (метод) измерений - совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности;

6) неопределенность – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании известной информации;

7) стандартная неопределенность (измерений) - неопределенность измерений, выраженная в виде стандартного отклонения величины;

8) целевая неопределенность измерений - неопределенность измерений, заранее установленная как верхний предел и принятая исходя из предполагаемого использования результатов измерений;

9) прослеживаемость - свойство эталона единицы величины, средства измерений или результата измерений, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном или национальным первичным;

10) технические требования к средствам измерений - требования, которые определяют особенности конструкции средств измерений (без ограничения их технического совершенствования) в целях сохранения их метрологических характеристик в процессе эксплуатации средств измерений, достижения достоверности результата измерений, предотвращения

несанкционированных настройки и вмешательства, а также требования, обеспечивающие безопасность и электромагнитную совместимость средств измерений;

11) сертификат калибровки - документ, удостоверяющий факт и результаты калибровки средства измерений, который выдается организацией, осуществляющей калибровку.

Далее необходимо перечислить требования неопределенностям измерений, средствам калибровки, прослеживаемости, к условиям проведения калибровки, а также требования к квалификации калибровщиков и по обеспечению безопасности.

### **3.2.2 Технические требования**

Для проведения процедуры калибровки ротаметров всех типов применяют основные и вспомогательные средства, приведенные ниже:

- расходомерные установки для заданного диапазона измерений;
- термометр (ЩД не более 0,1°C и пределами допускаемой ПГ не более 0,2 °С);
- барометр БАММ-1 или М-110;
- термометр ртутный стеклянный;
- манометр (КТ 0,4);
- психрометр МВ-4-2М, М-34-М.

Основные и вспомогательные средства калибровки для ротаметров типа РП:

- манометр (КТ 0,15, с верхним пределом измерений 0,16 МПа (1,6 кгс/см<sup>2</sup>));
- манометр (КТ не ниже 1, с верхним пределом измерений 0,16 МПа (1,6 кгс/см<sup>2</sup>));
- фильтр воздуха;
- стабилизатор давления воздуха.

Средства калибровки для ротаметров типа РЭ:

- регулировочный автотрансформатор ЛАТР (до 300 В);
- вольтметр Э 515 (КТ 0,5);
- милливольтмиллиамперметр (КТ 0,2).

Разрешается использование других средств калибровки, которые обеспечивают заданную точность.

### **3.2.3 Подготовка к калибровке**

Перед непосредственным проведением процедуры калибровки ротаметра необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

- 1) Выдержать ротаметр не менее 3 часов в нерабочем состоянии при температуре окружающей среды  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ;
- 2) Проверить поплавков, факт его наличия, а также отсутствие заедания поплавка в трубке путем поворота ротаметра;
- 3) Установить ротаметр в расходомерную установку;
- 4) Проверить вертикальность ротаметра;
- 5) Проверить герметичность соединений.

Выделим основные пункты процедуры калибровки ротаметров и рассмотрим каждый подробно:

#### **1. Внешний осмотр.**

Внешний вид ротаметра должен соответствовать ГОСТ 13045 или требованиям технической документации [24]:

- отсутствие механических повреждений и дефектов;
- соответствие комплектности ротаметра требованиям технических документов, цифры и отметки шкалы должны быть четкими;
- ЦД шкалы не должна превышать предела допускаемой погрешности ротаметры.

#### **2. Опробование.**

Необходимо пропустить поток поверочной среды (воздуха, жидкости), плавно изменяя расход. Эту операцию проводят на номинальных значениях диапазонов измерений калибруемого ротаметра. Прибор считается

выдержавшим опробование, если поплавков или стрелка двигались без скачков и заеданий.

### 3.2.4 Определение метрологических характеристик

Действительное значение расхода определяют на оцифрованных точках шкалы ротаметра не менее 5 раз (при прямом и обратном ходе). Результаты заносят в таблицу 2.

Таблица 2 - Результаты измерений калибруемого ротаметра

Отметка шкалы	Измеренное значение расхода при прямом ходе, м <sup>3</sup> /ч					Измеренное значение расхода при обратном ходе, м <sup>3</sup> /ч				
	n <sub>1</sub>	x <sub>o11</sub>	x <sub>o12</sub>	x <sub>o13</sub>	x <sub>o14</sub>	x <sub>o15</sub>	x <sub>k11</sub>	x <sub>k12</sub>	x <sub>k13</sub>	x <sub>k14</sub>
n <sub>2</sub>	x <sub>o21</sub>	x <sub>o22</sub>	x <sub>o23</sub>	x <sub>o24</sub>	x <sub>o25</sub>	x <sub>k21</sub>	x <sub>k22</sub>	x <sub>k23</sub>	x <sub>k24</sub>	x <sub>k25</sub>
n <sub>3</sub>	x <sub>o31</sub>	x <sub>o32</sub>	x <sub>o33</sub>	x <sub>o34</sub>	x <sub>o35</sub>	x <sub>k31</sub>	x <sub>k32</sub>	x <sub>k33</sub>	x <sub>k34</sub>	x <sub>k35</sub>
...										

Полученный расход приводим к нормальным условиям по формуле 4:

$$Q_0 = Q \sqrt{(PT_c)/(P_c T)} \quad (4)$$

где  $Q$  – расход воздуха, отсчитываемый по расходомерной установке при указанных ниже  $T$  и  $P$ , если при градуировке объем газа не приведен к условиям по ГОСТ 2939, м<sup>3</sup>/ч;

$P$  - абсолютное давление воздуха на входе ротаметра, которое рассчитывают как сумму избыточного давления воздуха (газа) на входе  $P_{изб}$  и атмосферного давления воздуха  $P_{атм}$ , Па (формула 5):

$$P = P_{\text{изб}} + P_{\text{атм}}; \quad (5)$$

$P_c$  - давление воздуха при условиях по ГОСТ 2939, Па ( $P_c = 101325$  Па);

$T$  - температура воздуха (газа), поступающего в ротаметр, К;

$T_c$  - температура воздуха при условиях по ГОСТ 2939, К; ( $T_c = 293,15$  К) [25].

### **3.2.5 Оценивание неопределенности измерений. Составление схемы бюджета неопределенности**

Обработку результатов измерений и вычисление неопределенности измерений при калибровке, согласно ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3», в общем виде, можно представить в следующей последовательности:

- выражают связь между измеряемой величиной  $Y$  и входными величинами  $X_i$ , от которых она зависит;

- получают оценку  $x_i$  входной величины  $X_i$  на основе статистического анализа ряда наблюдений, в большинстве случаев эту оценку получают как среднее арифметическое значение  $n$  числа измерений;

- оценивают стандартную неопределенность  $u(x_i)$  каждой входной оценки  $x_i$ .

Для каждой входной оценки, полученной из статистического анализа ряда наблюдений, получают оценку стандартной неопределенности типа А, либо другим способом - получают оценку стандартной неопределенности типа В;

- рассчитывают результат измерения, т.е. находят оценку  $y$  измеряемой величины, по функциональной зависимости  $f$ , используя в качестве аргументов  $X_i$  оценки  $x_i$ .

- определяют суммарную стандартную неопределенность  $u_c(y)$  результата измерений  $y$  по стандартным неопределенностям и ковариациям входных оценок;

- определяют расширенную неопределенность измеряемой величины  $U(Y)$ ;

- представляют результат измерения  $y$  вместе с его суммарной стандартной неопределенностью  $u_c(y)$  или расширенной  $U(Y)$ .

Для этого, при проведении многократных измерений рассчитывают среднее арифметическое значение результатов измерений  $\bar{x}_i$  по формуле:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (6)$$

где  $n$  - количество выполненных измерений величины  $x_i$ .

Вычисляют стандартное отклонение измеряемой  $i$ -ой входной величины, по формуле:

$$S = \sqrt{\frac{1}{(n_i-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (7)$$

где  $n_i$  - количество выполненных измерений величины  $x_i$ .

Вычисляют стандартную неопределенность измерения типа A по формуле:

$$u_A(x_i) = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (8)$$

Рассчитывают интервал неопределенности, соответствующий уровню доверия 0,95 в предположении нормального закона распределения результатов измерений по формуле:

$$\varepsilon_k = 2s \quad (9)$$

где границы этого интервала  $(-\varepsilon_i; +\varepsilon_i)$ , в пределах которого возможные значения стандартной неопределенности (формулы 10, 11):

$$u_{min} = u_i(x_i) - \varepsilon_i \quad (10)$$

$$u_{max} = u_i(x_i) + \varepsilon_i \quad (11)$$

В соответствии с этим проверяют, что все результаты измерений не выходят за границы это интервала.



Вычисляют вклад неопределенности  $u(x_i)$  входной величины в неопределенность  $u_i(y)$  измеряемой величины как произведение  $c_i$  коэффициента чувствительности на неопределенность входной величины по формуле 12:

$$u_i(y) = c_i * u(x_i) \quad (12)$$

При прямых измерениях все коэффициенты чувствительности равны 1.

Для определения следующей составляющей неопределенности измерения находим максимальное значение основной абсолютной погрешности эталона (формула 13).

$$\Delta_{\text{э}} = \pm \frac{\delta_{\text{э}} * Q_i}{100}, \quad (13)$$

где  $\delta_{\text{э}}$  – основная абсолютная погрешность эталона,  $Q_i$  – расход, соответствующий определенной точке шкалы.

Стандартная неопределенность для основной абсолютной погрешности ( $\alpha$  – для равномерного закона распределения равно  $\sqrt{3}$ ) вычисляется по формуле 14 [26]:

$$u_{\text{э}} = \frac{\Delta}{\alpha}. \quad (14)$$

Вычисление суммарной неопределенности измеряемой величины  $u_c(y)$  находят по формуле:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i^2} \quad (15)$$

где  $\sum u_i^2$  – сумма всех вкладов неопределенности измерений возведенные в квадрат.

Расширенную неопределенность результата измерений получают путем умножения неопределенности выходной величины (суммарной стандартной неопределенности) на коэффициент охвата [27] (формула 16):

$$U_{pi} = k * u_c(y) \quad (16)$$

где  $k$  - коэффициент охвата для нормального распределения, равный 2 для уровня доверия  $p=0,95$ .

Все полученные результаты измерений представляют в виде бюджета неопределенности (таблица 3), который включает в себя все величины, их оценки вместе с приписанными им стандартными неопределенностями измерения, коэффициентами чувствительности и числами степеней свободы.

Условные обозначения:

$X_i$  – входная величина;

$x_i$  - оценка входной величины;

$u(x_i)$  - стандартная неопределенность;

$c_i$  – коэффициент чувствительности;

$u_i(y)$  – вклад неопределенности;

$Y$  – выходная величина;

$y$  – оценка выходной величины;

$u(y)$  – стандартная суммарная неопределенность;

$\nu_{eff}$  – эффективное число степеней свободы

Таблица 3 - Схема бюджета неопределенности

Вход. величина $X_i$	$x_i$	$u(x_i)$	Число степеней свободы	Распределение вероятностей входной величины	$c_i$	$u_i(y)$
$X_1$	$x_1$	$u(x_1)$	$n_i - 1 (\infty)$	Закон	$c_1$	$u_1(y)$
$X_2$	$x_2$	$u(x_2)$	$n_i - 1 (\infty)$	Закон	$c_2$	$u_2(y)$
...	...	...	...	...	...	...
$X_n$	$x_n$	$u(x_n)$	$n_n - 1 (\infty)$	Закон	$c_n$	$u_n(y)$
Вых. величина	Оценка	$u(y)$	Эф. число ст.св.	Уровень доверия	Кэфф. охвата	Расш. неопред.
$Y$	$y$	$u_c(y)$	$\nu_{eff}$	$p = 0,95$	$k$	$U$

Значение чисел степеней стандартных неопределенностей входных величин представлены в таблице 4.

Таблица 4 - Значение чисел степеней стандартных неопределенностей входных величин

Стандартная неопределённость входной величины	$\nu_i$
Типа А, для $n$ измерений	$n - 1$
Типа В, СКО однократных измерений, определенное по ранее проведенным $n$ измерениям	$n - 1$
Типа В, вычисленная через границы, приведенные без указания уровня доверия, например, пределы допускаемой погрешности СИ	$\infty$
Типа В, вычисленная через расширенную неопределенность $U$ и коэффициент охвата, равный коэффициенту Стьюдента для эффективного числа степеней свободы $\nu_{eff}$ и вероятности 0,95	$\nu_{eff}$

Результаты калибровки заносятся в протокол по форме, приведенной в приложении Б.1.

### 3.2.6 Оформление результатов измерений

После заполнения протокола калибровки на ротаметр выдается сертификат о калибровке, который включает в себя все величины, проверяемые в процессе калибровке.

Полный результат измерений включает в себя оценку измеряемой величины и приписанное ей значение расширенной неопределенности с указанием уровня доверия (формула 17) [28]:

$$Y = \bar{x}_i \pm U_p = 0,95 \quad (17)$$

При записи результата следует придерживаться следующих рекомендаций:

- значение расширенной неопределенности указывается не более, чем с двумя значащими цифрами;
- измеренное значение должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и округленная расширенная неопределенность. Например, если  $Q = 1,897456 \text{ м}^3/\text{ч}$  с расширенной неопределенностью  $U = \pm 0,0385 \text{ м}^3/\text{ч}$ , то результат следует записать как  $Q = 1,8974 \pm 0,0385 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

В общем случае, на практике объем информации, необходимый для представления результата измерений, зависит от его предполагаемого использования, однако общий принцип остается неизменным: лучше, чтобы объем информации был избыточным, чем недостаточным.

### **3.3 Применение методики калибровки ротаметров**

#### **3.3.1 Калибровка ротаметра типа РМ**

Для калибровки был предоставлен ротаметр с местными показаниями типа РМ, модификации РМ-0,63ГУЗ с заводским номером №7070884 (рисунок 7), изготовитель ОАО «АПЗ» (г. Арзамас), 1977 года выпуска, принадлежащего СПб ОАО «Красный Октябрь».



Рисунок 7 - Ротаметр РМ-0,63ГУЗ

В соответствии с методикой калибровки, последовательно заполняем протокол калибровки ротаметра.

При проведении калибровки должны соблюдаться следующие условия окружающей среды, которые определяем с помощью измерителя влажности и температуры ТКА-ТВ и барометра рабочего сетевого БРС-1М-1, показанные на рисунке 8 (таблица 5):

Таблица 5 - Условия окружающей среды

Наименование параметра	Требования НД	Измеренные значения
Температура окружающей среды, °С	15...25	21,6
Относительная влажность воздуха, %	30...80	31,8
Атмосферное давление, кПа	97,3...105,3	99,4
Температура калибруемой среды, °С	15...25	22,5



Рисунок 8 - Барометр БРС (слева) и измеритель ТКА-ТВ (справа)

Перечислим оборудование, которое необходимо для калибровки ротаметра типа РМ, соответствующее требованиям нормативной документации (таблица 6). Установка ГКУ-1,6А отечественного производителя и имеет следующий внешний вид (рисунок 9).



Рисунок 9 - Установка грузокольцевая ГКУ-1,6А

Внутри установки находится два мерника: большой и малый, фотоэлектрического преобразователя, пульта управления, электронно-счетного частотомера и узла крепления для приборов.

Принцип действия установки следующий: вращение мерников (малого и большого) происходит под действием груза, за счет этого вытесняется объем воздуха, находящийся в мерниках, в рабочую зону и далее в калибруемый прибор.

Свидетельство о поверке №0018692 от 18 февраля 2020 года продемонстрировано на рисунке 10, а также обратная сторона с метрологическими характеристиками установки – на рисунке 11.

**IPCTI** **ФБУ «ТЕСТ-С.-ПЕТЕРБУРГ»**   
Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области»  
ОСНОВАН В 1999 г.

 Аккредитованная лаборатория в области обеспечения единства измерений  
RA.RU.311483

**СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ**  
№ 0018692 Действительно до "17" февраля 2021 г.

Средство измерений Установка грузокольцевая ГКУ-1,6А,  
наименование, тип, модификация, регистрационный номер в Федеральном информационном фонде по обеспечению единства измерений (регистрационный номер)  
11240-88

средства измерений, зарегистрированного в качестве эталона (при наличии)  
заводской (серийный) номер 4

в составе —

номер знака предыдущей поверки —

поверено см. на обороте  
наименование единиц величин, диапазонов измерений, на которых поверено средство измерений

в соответствии с Инструкция. ГСИ. "Установка грузокольцевая ГКУ-1,6А. Методика поверки",  
наименование или обозначение документа, на основании которого выполнена поверка  
ВНИИР, Казань, 1989 г.

с применением эталонов: Микроманометр жидкостной компенсационный с микрометрическим  
регистрационный номер и (или) наименование, тип, заводской номер,  
винтом МКВ-250, № 21041, 3.1.ZCП.0161.2013, КТ 0,02; Весы электронные GX-600, №14510194,  
разряд, класс или погрешность эталонов, применяемых при поверке  
ПГ±0,2г; Весы электронные GX-6100, №14539639, ПГ±0,2г; Микроманометр жидкостной  
многопредельный ММН-240, №1724, КТ1; Барометр рабочий сетевой БРС-1М-1, № 1103649,  
ПГ±33 Па; Измеритель температуры и влажности ТКА-ТВ, № 20 1014п, ПГ±5%, ПГ±0,5°С  
при следующих значениях влияющих факторов: температура окружающего воздуха 23,0 °С,  
перечень влияющих факторов,  
относительная влажность 38,7 %, атмосферное давление 99,0 кПа  
нормированных в документе на методику поверки, с указанием их значений

**и на основании результатов первичной (периодической) поверки признано пригодным к применению в качестве рабочего эталона 1-го разряда в соответствии с Государственной поверочной схемой для средств измерений объемного и массового расхода газа (приказ № 2825 от 29.12.2018)**  
указывается наименование или обозначение эталона согласно государственной (локальной) поверочной схеме или методике (методиках) поверки

Знак поверки 

Начальник отдела 435  
должность руководителя подразделения или другого уполномоченного лица  
**Поверитель**  
№ 043841

Троцинин Борис Александрович  
фамилия, имя и отчество (при наличии)  
Бадяев Виктор Анатольевич  
фамилия, имя и отчество (при наличии)

Дата поверки "18" февраля 2020 г.

Рисунок 10 - Лицевая сторона свидетельства о поверке установки ГКУ-1,6А



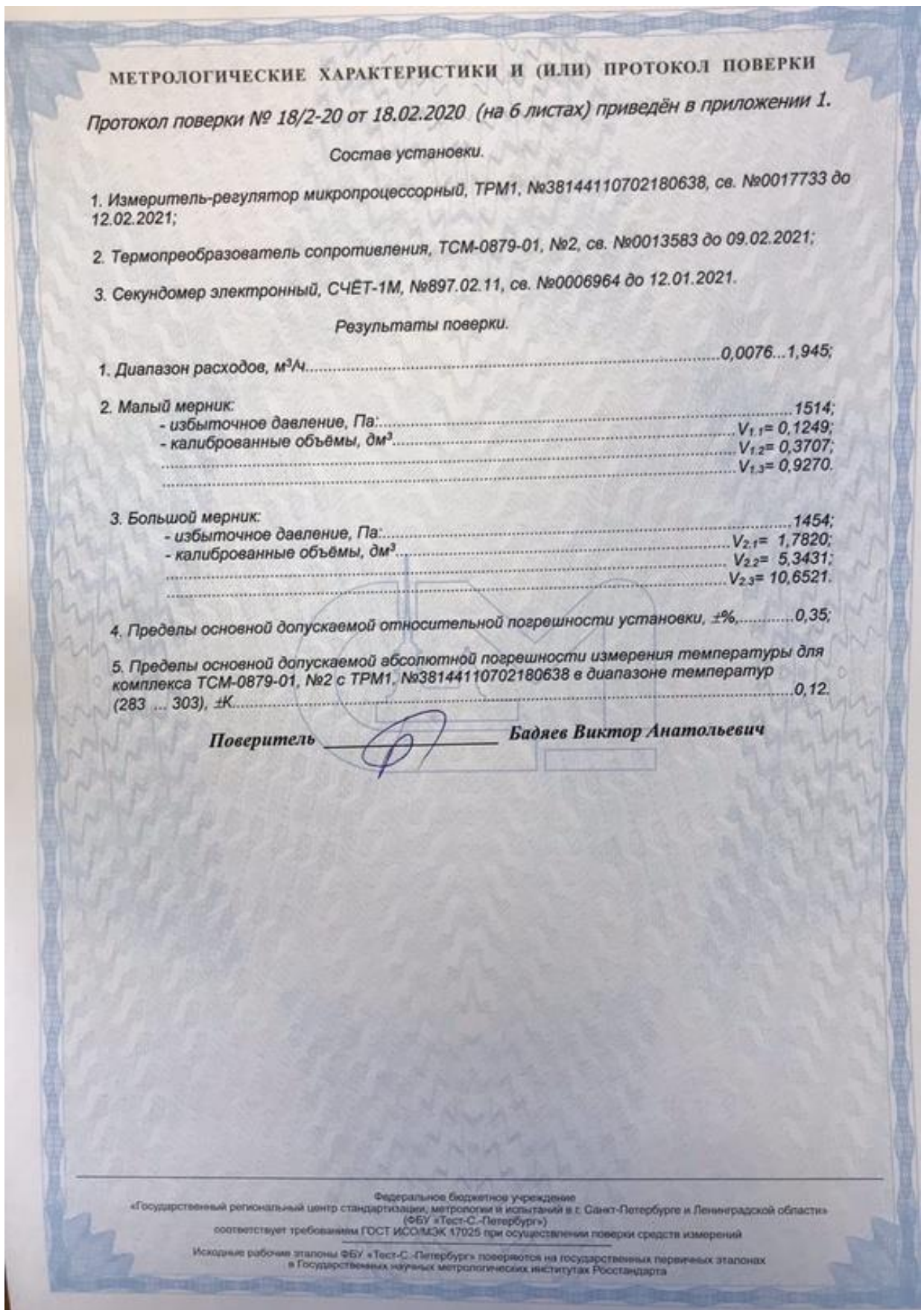


Рисунок 11 - Обратная сторона свидетельства о поверке установки ГКУ-1,6А (метрологические характеристики)

Таблица 6 – Основные и вспомогательные средства калибровки

Наименование, тип, заводской номер	Метрологические характеристики
Установка грузокольцевая ГКУ-1,6А зав.№4, рег.№3.1.ZСП.0185.2013	(0,0076...1,945) м <sup>3</sup> /ч ПГ±0,35%
Барометр рабочий сетевой БРС-1М-1 зав.№1103649	(600...1100) гПа ПГ±0,33 гПа
Измеритель влажности и температуры ТКА-ТВ зав.№20 1014п	(10...98)%, ПГ±5% (0...50) °С, ПГ±0,5%

В соответствии с методикой калибровки приступаем к последовательным операциям калибровки ротаметра.

- 1) Внешний осмотр – соответствует п.9.1 методики калибровки.
- 2) Опробование – соответствует п.9.2 методики калибровки.
- 3) Определение метрологических характеристик.

Располагаем ротаметр в установку и снимаем показания в каждой оцифрованной точке шкалы ротаметра (0, 20, 40, 60, 80, 100) по 5 раз при прямом и обратном ходах. Записываем показания в таблицы 7 и 8.

Таблица 7 - Измеренные значения при прямом ходе

Отметка шкалы, дел	Объем мерника, дм <sup>3</sup>	Измеренный расход при прямом ходе, м <sup>3</sup> /ч				
0	0,3707	0,0445	0,0430	0,0423	0,0443	0,0447
20	0,9270	0,1674	0,1596	0,1524	0,1518	0,1604
40	1,7820	0,2744	0,2629	0,2517	0,2732	0,2866
60	5,3431	0,3871	0,3941	0,3793	0,3943	0,3794
80	5,3431	0,4929	0,5184	0,5036	0,4927	0,5191
100	5,3431	0,6453	0,6452	0,6433	0,6444	0,6454

Таблица 8 - Измеренные значения при обратном ходе

Отметка шкалы, дел	Объем мерника, дм <sup>3</sup>	Измеренный расход при обратном ходе, м <sup>3</sup> /ч				
		0	0,3707	0,0454	0,0443	0,0455
20	0,9270	0,1578	0,1669	0,1589	0,1592	0,1651
40	1,7820	0,2499	0,2618	0,2984	0,2730	0,2729
60	5,3431	0,3875	0,3785	0,3870	0,3865	0,3800
80	5,3431	0,5049	0,5191	0,4919	0,5189	0,5187
100	5,3431	0,6450	0,6454	0,6438	0,6440	0,6452

Находим среднее значение расхода при прямом и обратном ходах по формуле 6 и записываем их в таблицу. Рассчитаем расход и неопределенность для точки 20.

$$Q_{\text{ПХ}20} = \frac{0,1674 + 0,1596 + 0,1524 + 0,1518 + 0,1604}{5} = 0,1583 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$Q_{\text{ОХ}20} = \frac{0,1578 + 0,1669 + 0,1589 + 0,1592 + 0,1651}{5} = 0,1616 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

А также приводим значения расхода к нормальным условиям по формуле 4 методики поверки.

Нам известны следующие величины:

$T_c = 293,15 \text{ К}$  - температура воздуха при условиях по ГОСТ 2939;

$P_c = 101325 \text{ Па}$  - давление воздуха при условиях по ГОСТ 2939;

$P_{\text{изб м}} = 1514 \text{ Па}$  - избыточное давление установки в малом мернике;

$P_{\text{изб б}} = 1454 \text{ Па}$  - избыточное давление установки в большом мернике;

$T = 295,65 \text{ К}$  - температура воздуха (газа), поступающего в ротаметр;

$P_{\text{атм}} = 99400 \text{ Па}$  - атмосферное давление воздуха.

Приведем полученный расход к нормальным условиям по формуле 1 методики калибровки:

$$Q_{\text{ПХ}20} = 0,1583 \sqrt{\frac{(100914 * 293,15)}{101325 * 295,65}} = 0,1573 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

$$Q_{\text{ОХ}20} = 0,1616 \sqrt{\frac{(100914 * 293,15)}{101325 * 295,65}} = 0,1606 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Находим стандартный расход в точке, который равен среднему арифметическому между расходами при прямом и обратном ходах.

$$Q_{20} = \frac{0,1573 + 0,1606}{2} = 0,1590 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Заносим полученные данные в таблицу 9.

Таблица 9 - Результаты измерений

Отметка шкалы, дел	Расход $Q_{\text{ПХ}}$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	Расход $Q_{\text{ОХ}}$ , $\text{м}^3/\text{ч}$	Расход, приведенный к норм. усл., $\text{м}^3/\text{ч}$
0	0,0435	0,0442	0,0438
20	0,1573	0,1606	0,1590
40	0,2681	0,2695	0,2688
60	0,3844	0,3815	0,3830
80	0,5021	0,5075	0,5048
100	0,6407	0,6406	0,6407

После приведение значения расхода к нормальным условиям, перейдем к расчету неопределенности измерений.

### 3.3.2 Расчет неопределенности измерений

Для расчета неопределенности измерений расхода нам понадобятся следующие данные (таблица 10):

Таблица 10 - Исходные данные для расчета неопределенности измерений

Наименование параметра	Значения параметра
Максимальный расход $Q_{max}$ , м <sup>3</sup> /ч	0,6407
Максимальная оцифрованная отметка шкалы	100
Минимальная оцифрованная отметка шкалы	0
Число делений, l	100
Относительная погрешность эталона $\delta_0$ , %	0,35

Определяем составляющие суммарной неопределенности измерения расхода:

1. Рассчитываем стандартное отклонение по формуле 7:

$$S_{20} = \sqrt{\frac{(0,1573 - 0,1590)^2 + (0,1606 - 0,1590)^2}{9}} = 0,00076 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

2. Вычисляем стандартную неопределенность измерения типа А по формуле 8 для точки 20:

$$u_p = \frac{0,00076}{\sqrt{3}} = 0,00044 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

3. Интервал неопределенности находим по формулам 9-11:

$$\varepsilon_{20k} = 2 * 0,00076 = 0,00152 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Тогда границы этого интервала  $(-\varepsilon_i ; +\varepsilon_i)$ , в пределах которого возможные значения стандартной неопределенности  $(-0,00108; 0,00196)$  м<sup>3</sup>/ч:

$$u_{20min} = 0,00044 - 0,00152 = -0,00108 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

$$u_{20max} = 0,00044 + 0,00152 = 0,00196 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

4. Вклад неопределенности составит:

$$u_{20}(y) = 1 * 0,00044 = 0,00044 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

5. Границы допускаемой абсолютной погрешности эталона в точке 20 вычисляются следующим образом:

$$\Delta_{\text{э}} = \frac{\delta_{\text{э}} * Q_{20}}{100} = \frac{0,35 * 0,1590}{100} = 0,00056 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

6. Стандартная неопределенность для основной погрешности эталона:

$$u_{\text{э}} = \frac{\Delta_{\text{э}}}{\sqrt{3}} = \frac{0,00056}{\sqrt{3}} = 0,00032 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

7. Суммарная стандартная неопределенность высчитывается по формуле 9 методики калибровки.

$$u_c = \sqrt{u_p^2 + u_{\text{э}}^2} = \sqrt{0,00044^2 + 0,00032^2} = 0,00054 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

8. Расширенная неопределенность результата измерения для доверительной вероятности 0,95 и коэффициента охвата 2 по формуле 10 равна:

$$U = 2 * 0,00054 = \pm 0,00109 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}$$

Аналогичным путем рассчитываем неопределенность для каждой отметки шкалы. Полученные данные заносим в таблицу 11.

Таблица 11 - Результаты определения метрологических характеристик и неопределенностей измерений

Отметка шкалы, дел	Стандартный прив. расход, м <sup>3</sup> /ч	Стандартные неопределенности, м <sup>3</sup> /ч		Расширенная неопределенность U при P=0,95 и k=2, м <sup>3</sup> /ч
		$u_p$	$u_{\text{э}}$	
0	0,0438	0,00009	0,00009	$\pm 0,00026$
20	0,1590	0,00044	0,00032	$\pm 0,00109$
40	0,2688	0,00019	0,00054	$\pm 0,00115$
60	0,3830	0,00040	0,00077	$\pm 0,00174$

80	0,5048	0,00073	0,00102	$\pm 0,00250$
100	0,6407	0,00001	0,00129	$\pm 0,00259$

Результаты измерений и расчетов сгруппируем в одну таблицу, которая будет использована на оборотной стороне сертификата о калибровке ротаметра в разделе «действительные метрологические характеристики» (таблица 12).

Таблица 12 - Результаты калибровки ротаметра

Отметка шкалы, дел	Стандартный прив. расход, м <sup>3</sup> /ч	Расширенная неопределенность U при P=0,95 и k=2, м <sup>3</sup> /ч
0	0,0438	$\pm 0,00026$
20	0,1590	$\pm 0,00109$
40	0,2688	$\pm 0,00115$
60	0,3830	$\pm 0,00174$
80	0,5048	$\pm 0,00250$
100	0,6407	$\pm 0,00259$

После проведения калибровки был составлен протокол калибровки (рисунок 12) и выдан сертификат о калибровке ротаметра с указанием величин, проверенных в процессе калибровки (рисунок 13, 14).



ФБУ "ТЕСТ-С.-ПЕТЕРБУРГ", св-во о регистрации в РСК № 001438, срок действия до 11.01.2021 г.  
190103, г. Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д.1

Ротаметры. Методика калибровки МК. ФБУ "Тест-С.-Петербург", 2020 г.

ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 "Неопределенность измерений", ВНИИМ, 2011 г.

Всего листов: 1 Лист: 1

ПРОТОКОЛ № 85 от 17.04.2020

калибровка ротаметра с метками показывающим типом РМ, мод. РМ-0,63 ГУЗ ам. № 7070884

готовитель: ОАО "АПЗ им. П. И. Платошкин" год выпуска 1977

принадлежащего СПб ОАО "Красный Октябрь"

**Условия калибровки**

Наименование параметра	Требования НД	Измеренные значения
Температура окружающей среды, °С	15...25	21,6
Относительная влажность воздуха, %	30...80	31,8
Атмосферное давление, кПа	97,3...105,3	99,4
Температура поверх. воздуха, °С	15...25	22,5

Калибровочная среда - воздух

**Средства калибровки**

Наименование, тип, заводской номер	Метрологические характеристики
Установка грузомощная ГКУ-1,6А №4, рег. №3.1.ЗСП.0185.2013	(0,0076...1,945) м³/ч, ПП±0,35%
Барометр рабочий сетевой БРС-1М-1 №1103649	(600...1100) гПа, ПП±0,33 гПа
Измеритель влажности и температуры ТКА-ТВ №20 1014п	(10...98)%; ПП±5%; (0...50) °С; ПП±0,5%

**Результаты измерений**

1. Внешний осмотр: соответствует.
2. Опробование: соответствует.
3. Определение метрологических характеристик:

Отметка шкалы, дел.	Показания эталона, м³/ч			Стандартные неопределенности, м³/ч		Расширенная неопределенность U при P=0,95 и k=2, м³/ч
	П.Х.	О.Х.	Средн. пр. из знач.	$u_p$	$u_c$	
0	0,0435	0,0442	0,0438	0,00009	0,00009	± 0,00026
20	0,1573	0,1606	0,1590	0,00044	0,00032	± 0,00109
40	0,2681	0,2695	0,2688	0,00019	0,00054	± 0,00115
60	0,3844	0,3815	0,3830	0,00040	0,00077	± 0,00174
80	0,5021	0,5075	0,5048	0,00073	0,00102	± 0,00250
100	0,6407	0,6406	0,6407	0,00001	0,00129	± 0,00259

**4. Результаты калибровки**

Отметка шкалы, дел.	Станд. прик. раскод, м³/ч	Расширенная неопределенность U при P=0,95 и k=2, м³/ч
0	0,0438	± 0,00026
20	0,1590	± 0,00109
40	0,2688	± 0,00115
60	0,3830	± 0,00174
80	0,5048	± 0,00250
100	0,6407	± 0,00259

**Заключение:**

На основании результатов калибровки СИ был выдан сертификат о калибровке

№ 20-14430 от 17.04.2020

Зачислено (квитанция) 353/3298

Поверитель  Гремлюкина Т.Е.

Рисунок 12 - Протокол калибровки ротаметра





ФГУП «ВНИИМС»  
исполнительный орган РСК

Федеральное бюджетное учреждение  
«Государственный региональный центр стандартизации, метрологии  
и испытаний в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области»  
(ФБУ «Тест-С.-Петербург»)



190103, г. Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д.1

№ 001438, срок действия до 11.01.2021  
номер и срок действия Свидетельства о регистрации в РСК

## СЕРТИФИКАТ КАЛИБРОВКИ № 20-14430

Дата калибровки **"17" апреля 2020 г.**

Наименование, тип, заводской номер СИ **Ротаметр с местными показаниями  
типа РМ, модификации РМ-0,63ГУЗ, зав. № 7070884**

Заказчик **СПб ОАО "Красный Октябрь", ИНН 7830002462**  
наименование юридического (физического) лица, ИНН,

Методика калибровки **"Ротаметры. Методика калибровки МК." ФБУ "Тест-СПб", 2020 г.**  
юридический адрес  
наименование, номер, кем утверждена

Условия проведения калибровки **температура окружающего воздуха 21,6 °С,**  
относительная влажность 31,8 %, атмосферное давление 99,4 кПа  
приводят перечень влияющих факторов,  
нормированных в документе на методику калибровки, с указанием их значений

Доказательство прослеживаемости измерений **Установка грузокольцевая ГКУ-1,6А №4,**  
3.1.ZСП.0185.2013, ПГ ±0,35%, св-во №0018692 от 18.02.21 г.  
сведения об используемых при калибровке эталонах,  
№№ и даты свидетельств о поверке (калибровке)

Дополнительная информация **см. на обороте, рекомендуемая дата следующей калибровки**  
**16.04.2021**  
приложения к Сертификату о калибровке (протоколы, градуировочные таблицы,  
отчеты - указывается количество страниц), рекомендуемый межкалибровочный интервал.



**Инженер по метрологии Гремякина Т.Е.**  
Должность, Ф.И.О. лица проводившего калибровку

Подпись

**Начальник отдела 435 Троцинин Б.А.**  
Должность, Ф.И.О. лица, утверждающего Сертификат о калибровке

Подпись

№ 082599



Рисунок 13 - Сертификат о калибровке ротаметра №7070884 (лицевая сторона)

**РЕЗУЛЬТАТЫ КАЛИБРОВКИ**  
(действительные значения метрологических характеристик)

<i>Отметка шкалы, деление</i>	<i>Стандартный расход, м<sup>3</sup>/ч</i>	<i>Расширенная неопределённость, м<sup>3</sup>/ч, при доверительной вероятности P=0,95 и коэффициенте охвата k = 2</i>
0	0,0438	± 0,00026
20	0,1590	± 0,00109
40	0,2688	± 0,00115
60	0,3830	± 0,00174
80	0,5048	± 0,00250
100	0,6407	± 0,00259

*Калибровка проводилась по воздуху.  
Стандартный расход приведён к условиям:  
- температура 293,15 К;  
- абсолютное давление 101325 Па.*

**Инженер по метрологии Гремякина Т.Е.**

*Должность, Ф.И.О. лица проводившего калибровку*

*Подпись*

**"17" апреля 2020 г.**

Федеральное бюджетное учреждение «Государственный региональный центр стандартизации, метрологии и испытаний в г. Санкт-Петербурге и Ленинградской области» (ФБУ «Тест-С.-Петербург») соответствует требованиям ГОСТ ИСО/МЭК 17025 при осуществлении поверки средств измерений

Исходные рабочие эталоны ФБУ «Тест-С.-Петербург» поверяются на государственных первичных эталонах в Государственных научных метрологических институтах Росстандарта

Рисунок 14 - Сертификат о калибровке ротаметра №7070884 (оборотная сторона)

Составляем бюджет неопределенности измерений в соответствии с требованиями методики калибровки ротаметра (таблица 13).

Таблица 13 - Схема бюджета неопределенности измерений

Вход. величина	$u(x_i)$	Число степеней свободы	Распределени е вероятностей входной величины	$c_i$	$u_i(y)$
0,0438	0,00009	4	Равномерный	0,00009	0,00026
0,1590	0,00044	4	Равномерный	0,00044	0,00109
0,2688	0,00019	4	Равномерный	0,00019	0,00115
0,3830	0,00040	4	Равномерный	0,00040	0,00174
0,5048	0,00073	4	Равномерный	0,00073	0,00250
0,6407	0,00001	4	Равномерный	0,00001	0,00259

### 3.4 Вывод по 3 главе

Была составлена методика калибровки для ротаметров различных типов. Структурный вид методики следующий:

1. Нормативные ссылки.
2. Термины и определения.
3. Операции и средства калибровки.
4. Технические требования.
5. Требования безопасности.
6. Требования к квалификации калибровщиков.
7. Условия калибровки.
8. Подготовка к работе.
9. Проведение калибровки.
10. Оформление результатов измерений.

Методика калибровки опробована на ротаметре с местными показаниями типа РМ, модификации РМ-0,63ГУЗ № 7070884 (калибровочная среда – воздух).

Все пункты методики соблюдены, операции (таблица 13) при калибровке ротаметра успешно выполнены.

Таблица 14 - Операции из методики калибровки

№	Наименование операции	№ пункта методики
1	2	3
1	Внешний осмотр	9.1
2	Опробование	9.2
3	Определение метрологических характеристик	9.3
4	Расчет неопределенности измерений	9.4
5	Оформление результатов измерений	10

По результатам калибровки ротаметра был составлен протокол №85 и выдан сертификат о калибровке №20-14430 от 17.04.2020, которые представлены на рисунках 12, 13, 14.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение процедур калибровки в настоящее время становится все более актуальным. Поэтому развитие калибровки в любой метрологической службе как в системе управления измерениями на предприятии по показателям точности (неопределенности измерений) необходимо для того, чтобы обеспечить качество и надежность продукции.

Для широкого развития калибровки в качестве основной формы подтверждения соответствия средств измерений, эталонов единиц величин, систем и устройств с измерительными функциями, средств испытаний, контроля и регулирования, применяемых в том числе в сфере государственного регулирования, целесообразно внести необходимые изменения в действующее законодательство. А также в первую очередь, на мой взгляд, гармонизировать отечественную и зарубежную литературу и нормативную документацию и разрабатывать новые методики калибровки и методики оценивания неопределенности измерений при калибровках СИ.

Целью моей магистерской диссертации было разработать методику калибровки для ротаметров в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению».

Для реализации данной цели были осуществлены следующие задачи:

- сбор, изучение и анализ нормативной документации;
- изучение и анализ общих сведений о ротаметрах, их технических характеристиках и конструктивных особенностях;
- изучение требований к методикам калибровки в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014;
- разработка методики калибровки ротаметра в соответствии с ГОСТ Р 8.879-2014;
- проведение снятия показаний ротаметра;

- обработка результатов измерений в соответствии с методикой калибровки ротаметров;
- оценивание неопределенности измерений в соответствии с методикой калибровки ротаметров.

В результате данной работы была составлена и опробована методика калибровки «Ротаметры. Методика калибровки. МК», которая в полном объеме представлена в приложении Б.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Sandrin Tranchard. New edition of ISO/IEC 17025 just published. [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: <https://www.iso.org/news/ref2250.html>.
2. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» [Текст] от 26.06.2008 № 102-ФЗ // Собрание законодательства Российской Федерации. 2008. № 26. Ст. 3021
3. Нефедьев Д.И. Актуальность калибровки измерительных систем в рабочих условиях эксплуатации. [Текст] / Нефедьев Д.И., Ординарцева Н.П. – Москва, 2015. – 5 с.
4. Международный словарь по метрологии: основные и общие понятия и соответствующие термины: пер. с англ. и фр. / Всерос. науч. - исслед. ин-т метрологии им. Д. И. Менделеева, Белорус. гос. ин-т метрологии. Изд. 2-е, испр. — СПб.: НПО «Профессионал», 2010.
5. ГОСТ ИСО/МЭК 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий - Введ.2012.01.01. - Мкс.:Стандартинформ,2012.-36 с.
6. ГОСТ Р 8.879-2014. Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению. – Москва: Стандартинформ, 2015. – 8 с.
7. Кукушкин А.В. Необходимость в расчете неопределенности при калибровке средств измерений [Текст] / Кукушкин А.В. – Рязань, 2019. – 2 с.
8. Sun, Ne-Zheng, Sun, Alexander. Model Calibration and Parameter Estimation. – USA: Springer, 2015. – 184 с.
9. Микитчак А.Ю. Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Метрология [Текст] / Микитчак А.Ю., Снежко А.А. Процедура калибровки методики калибровки средств измерений. – Красноярск, 2017. – с. 812-814.

10. Гулова О.А. Международный научный журнал «Инновационная наука» [Текст] / Гулова О.А., Шушкевич Т.В. // Выражение неопределенности результатов измерений. – Таганрог, 2016. – 4 с.
11. ГОСТ 34100.3-2017/ ISO/IEC Guide 98-3:2008. Неопределенность измерения. Часть 3 Руководство по выражению неопределенности измерения. - Москва: Стандартинформ, 2017. – 103 с.
12. Калайда Т.А. Успехи в химии и химической технологии [Текст] / Калайда Т.А., Графушин Р.В. // Информационный подход для расчета неопределенности измерения – Москва, 2017. – с. 61-63.
13. ГОСТ Р ИСО 21748-2012. Статистические методы. Руководство по использованию оценок повторяемости, воспроизводимости и правильности при оценке неопределенности измерений. – Москва: Стандартинформ, 2014. – 34 с.
14. Циркунова Н.А. Успехи в химии и химической технологии [Текст] / Циркунова Н.А., Полякова Л.В. // Анализ факторов, влияющих на изменчивость результатов измерений согласно ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002. - Москва, 2017. – с. 28-30.
15. Ершов И.А. Динамика систем, механизмов и машин [Текст] / Ершов И.А. Современные технологии калибровки средств измерений электрических величин. – Томск, 2018. – с. 22-28.
16. ГОСТ Р ИСО 5725-3-2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 3. Промежуточные показатели прецизионности стандартного метода измерений. - Москва: Изд-во стандартов, 2002. – 28 с.
17. Гаврилов Б.М. Развитие деятельности по калибровке средств измерений. Доклад рабочей группы. [Текст] / Гаврилов Б.М., Генкина Р.И., Горчев А.И. и др. – СПб, РСПП, 2016. – 16 с.
18. Calibration guide EURAMET/cg/20/v.01. Calibration of Climatic Chambers Requirements for the Accreditation of Calibration Laboratories. June 2010.



19. Кукушкин А.В. Оценка неопределенности в соответствии с P50.1109-2016 «Политика ИЛАК в отношении неопределенности при калибровках» [Текст] / Кукушкин А.В. – Рязань, 2019. – 3 с.
20. Горелкин Н.С. Совершенствование метрологического обеспечения лаборатории авиационной метрологии ООО «Аэропорт Емельяново» на основе оценки достоверности результатов калибровки [Текст] / Горелкин Н.С., Ткаченко К.Ю., Жирнова Е.А. – Красноярск, 2017. – с. 436-437.
21. Артемьев Э.А. Ротаметр с цифровым выходом [Текст] // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2007. – с. 60-63.
22. ГОСТ Р 8.122-99. Государственная система обеспечения единства измерений. Ротаметры. Методика поверки. – Москва: Изд-во стандартов, 1981. – 11 с.
23. Пеннер В.А. Устройства для учета расходов газа [Текст] / Пеннер В.А., Андреева К.Е. – Омск, 2014. – с. 195-197.
24. ГОСТ 13045-81. Ротаметры. Общие технические условия. – Москва: Изд-во стандартов, 1981. – 14 с.
25. ГОСТ 2939-63. Газы. Условия для определения объема. – Москва: Изд-во стандартов, 1963. – 3 с.
26. Захаров И.П. Оценивание неопределенности при проведении метрологических работ. [Текст] / Захаров И.П., Сергиенко М.П., Чепела В.Н., Никитин Д.С. – Харьков, 2008. – 48 с.
27. Danilov, A. A. Modeling Using Multivariate Hybrid Regression Analysis Method / A. A. Danilov, N. P. Ordinartseva. - Proceedings of IEEE East-West Design & Test Symposium (EWDTS'2013). - Rostovon-Don, Russia, 2013, September 27-30. - P. 365- 367.
28. Danilov, A. A. Calibration method of measuring instruments in operating conditions / A. A. Danilov, Yu. V. Kucherenko, M. V. Berzhinskaya, N. P. Ordinartseva. – International Conference “Advanced Matematical and

Computational Tools in Metrology and Testing (AMCTM 2014)". – D. I. Mendeleev Institute for Metrology (VNIIM). – St. Petersburg, Russia, 9 and 10-12 September, 2014.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А.

Титульный лист методики калибровки по ГОСТ Р 8.879-2014

<b>Согласовано:*</b>	<b>Утверждено:</b>
Руководитель предприятия-заказчика	Руководитель предприятия, разработавшего методику калибровки
<b>МЕТОДИКА КАЛИБРОВКИ</b>	
_____	
наименование калибруемых средств измерений	
МК .....01-XX**	
Разработчик: _____	
Количество страниц _____	
г. Москва 20XX** г.	

Рисунок А.115 - Титульный лист методики калибровки

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б



ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕГИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И  
ИСПЫТАНИЙ В Г. САНКТ-ПЕТЕРБУРГ И ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ»  
(ФБУ "ТЕСТ-С.-ПЕТЕРБУРГ")

190103, г. Санкт-Петербург, ул. Курляндская, д. 1  
Аттестат аккредитации RA.RU.311483 от 29.12.2015 г.

### РОТАМЕТРЫ

Методика калибровки

МК

УТВЕРЖДАЮ

Зам.генерального директора  
ФБУ «Тест - С.-Петербург»

Павлов Р.В.

РАЗРАБОТАЛ

инженер по метрологии  
ФБУ «Тест - С.-Петербург»

Гремячкина Т.Е.

Санкт-Петербург

2020 г.

Калибровка средств измерений (СИ) является основным элементом метрологической прослеживаемости измерений, необходимой для обеспечения компетентности калибровочных лабораторий, аккредитованных на соответствие стандарту ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2009 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

Настоящая методика калибровки распространяется на ротаметры (расходомеры постоянного перепада давления), предназначенные для измерения объемного расхода плавноточающихся однородных потоков чистых и слабозагрязненных жидкостей и газов с дисперсными включениями однородных частиц нейтральных к материалам деталей, соприкасающихся с измеряемой средой.

## **1. Нормативные ссылки**

ГОСТ Р 8.879-2014 «Государственная система обеспечения единства измерений. Методика калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению».

ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2019 «Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий».

ГОСТ 34100.3-2017/ ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3 Руководство по выражению неопределенности измерения».

ГОСТ 13045-81 «Ротаметры. Общие технические условия».

ГОСТ Р 8.122-99 «Государственная система обеспечения единства измерений. Ротаметры. Методика поверки».

## **2. Термины и определения**

1) калибровка средств измерений - совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических характеристик средств измерений;

2) действительный расход – объемный расход газа, проходящий через ротаметр при условиях измерений (физический объем, проходящий в единицу времени);

3) метрологические требования - требования к влияющим на результат и показатели точности измерений характеристикам (параметрам) измерений, эталонов единиц величин, стандартных образцов, средств измерений, а также к условиям, при которых эти характеристики (параметры) должны быть обеспечены;

4) методика калибровки средств измерений - документ, регламентирующий процедуру калибровки средств измерений;

5) методика (метод) измерений - совокупность конкретно описанных операций, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с установленными показателями точности;

6) неопределенность (измерения) – неотрицательный параметр, характеризующий рассеяние значений величины, приписываемых измеряемой величине на основании используемой информации;

7) стандартная неопределенность (измерений) - неопределенность измерений, выраженная в виде стандартного отклонения величины;

8) целевая неопределенность измерений - неопределенность измерений, заранее установленная как верхний предел и принятая исходя из предполагаемого использования результатов измерений;

9) прослеживаемость - свойство эталона единицы величины, средства измерений или результата измерений, заключающееся в документально подтвержденном установлении их связи с государственным первичным эталоном или национальным первичным;

10) технические требования к средствам измерений - требования, которые определяют особенности конструкции средств измерений (без ограничения их технического совершенствования) в целях сохранения их метрологических характеристик в процессе эксплуатации средств измерений, достижения достоверности результата измерений, предотвращения

несанкционированных настройки и вмешательства, а также требования, обеспечивающие безопасность и электромагнитную совместимость средств измерений;

11) сертификат калибровки - документ, удостоверяющий факт и результаты калибровки средства измерений, который выдается организацией, осуществляющей калибровку.

### 3. Операции и средства калибровки

При проведении калибровки должны выполняться следующие операции и применяться оборудования указанные в таблице Б.1.

Таблица Б.1 - Операции и средства калибровки

№	Наименование операции	№ пункта методики	Средства калибровки и их характеристики
1	2	3	4
1	Внешний осмотр	9.1	Визуально
2	Опробование	9.2	Расходомерные установки для заданного диапазона измерений;
3	Определение метрологических характеристик	9.3	См. п.4 методики калибровки
4	Расчет неопределенности измерений	9.4	Расчет
5	Оформление результатов измерений	10	Обработка расчетов

#### **4. Технические требования**

Для проведения процедуры калибровки ротаметров всех типов применяют основные и вспомогательные средства, приведенные ниже:

- расходомерные установки для заданного диапазона измерений;
- термометр (ЩД не более 0,1°С и пределами допускаемой ПГ не более 0,2 °С);
- барометр БАММ-1 или М-110;
- термометр ртутный стеклянный;
- манометр (КТ 0,4);
- психрометр МВ-4-2М, М-34-М.

Основные и вспомогательные средства калибровки для ротаметров типа РП:

- манометр (КТ 0,15, с верхним пределом измерений 0,16 МПа (1,6 кгс/см<sup>2</sup>));
- манометр (КТ не ниже 1, с верхним пределом измерений 0,16 МПа (1,6 кгс/см<sup>2</sup>));
- фильтр воздуха;
- стабилизатор давления воздуха.

Средства калибровки для ротаметров типа РЭ:

- регулировочный автотрансформатор ЛАТР (до 300 В);
- вольтметр Э 515 (КТ 0,5);
- милливольтмиллиамперметр (КТ 0,2).

Разрешается использование других средств калибровки, которые обеспечивают заданную точность.

#### **5. Требования безопасности**

При проведении калибровки должны быть обеспечены требования безопасности, указанные в эксплуатационных документах на основные и вспомогательные средства калибровки.



## 6. Требования к квалификации калибровщиков

К проведению калибровки допускают специалистов из числа сотрудников организаций, аккредитованных на право проведения калибровки, в соответствии с действующим законодательством РФ, изучивших настоящую методику калибровки, руководство по эксплуатации на средства калибровки и калибруемые ротаметры.

Перед проведением операций калибровки калибровщик должен пройти специальную подготовку, инструктаж по технике безопасности и иметь удостоверение на право проведения работ и эксплуатации поверочной установки.

## 7. Условия калибровки

При проведении калибровки должны соблюдаться следующие условия (таблица Б.2):

Таблица Б.2 - Условия калибровки

Наименование параметра	Требуемый диапазон
Температура окружающей среды, °С	15...25
Относительная влажность, %	30...80
Атмосферное давление, кПа	97,3...105,3

## 8. Подготовка к работе

Перед процедурой калибровки ротаметра необходимо выполнить следующие подготовительные работы:

- 1) Выдержать ротаметр не менее 3 часов в нерабочем состоянии при температуре окружающей среды  $(20 \pm 5)$  °С;
- 2) Проверить поплавок, факт его наличия, а также отсутствие заедания поплавка в трубке путем поворота ротаметра;
- 3) Установить ротаметр в расходомерную установку;

4) Проверить вертикальность ротаметра;  
5) Проверить герметичность соединений.  
6) Ротаметры с электрическим выходным сигналом соединить с вторичным прибором, включить в сеть и выдержать во включенном состоянии в течение времени, указанного в эксплуатационной документации на СИ;

7) ротаметр с пневматическим выходным сигналом следует подключить источник питания сжатым воздухом давлением 0,14 МПа к штуцеру «ВХОД», к штуцеру «ВЫХОД» — образцовый манометр класса точности 0,15. Проверить герметичность мест соединений пневмосистемы мыльной пеной или по падению давления в магистрали, которое не должно изменяться при выдержке в течение не менее 5 мин.

Примечание - Средства калибровки и калибруемый ротаметр подготавливают к работе в соответствии с инструкцией по эксплуатации.

## **9. Проведение калибровки**

### **9.1 Внешний осмотр**

Внешний вид ротаметра должен соответствовать ГОСТ 13045 или требованиям технической документации:

- отсутствие механических повреждений и дефектов;
- соответствие комплектности ротаметра требованиям технических документов, цифры и отметки шкалы должны быть четкими;
- ЦД шкалы не должна превышать предела допускаемой погрешности ротаметры.

### **9.2 Опробование**

Необходимо пропустить поток поверочной среды (воздуха, жидкости), плавно изменяя расход. Эту операцию проводят на номинальных значениях диапазонов измерений калибруемого ротаметра. Прибор считается выдержавшим опробование, если поплавков или стрелка двигались без скачков и заеданий.

### 9.3 Определение метрологических характеристик

Калибровку ротаметров проводят на оцифрованных отметках шкалы. Действительное значение расхода определяют по 5 раз при прямом и обратном ходах поплавка. Результаты заносятся в таблицу Б.3.

Таблица Б.3 - Запись результатов измерений

Отметка шкалы	Измеренное значение расхода при прямом ходе, м <sup>3</sup> /ч					Измеренное значение расхода при обратном ходе, м <sup>3</sup> /ч				
	$x_{o11}$	$x_{o12}$	$x_{o13}$	$x_{o14}$	$x_{o15}$	$x_{k11}$	$x_{k12}$	$x_{k13}$	$x_{k14}$	$x_{k15}$
$n_1$	$x_{o11}$	$x_{o12}$	$x_{o13}$	$x_{o14}$	$x_{o15}$	$x_{k11}$	$x_{k12}$	$x_{k13}$	$x_{k14}$	$x_{k15}$
$n_2$	$x_{o21}$	$x_{o22}$	$x_{o23}$	$x_{o24}$	$x_{o25}$	$x_{k21}$	$x_{k22}$	$x_{k23}$	$x_{k24}$	$x_{k25}$
$n_3$	$x_{o31}$	$x_{o32}$	$x_{o33}$	$x_{o34}$	$x_{o35}$	$x_{k31}$	$x_{k32}$	$x_{k33}$	$x_{k34}$	$x_{k35}$
...										

### 9.4 Расчет неопределенности измерений

Обработку результатов измерений и вычисление неопределенности измерений при калибровке, согласно ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3», в общем виде, можно представить в следующей последовательности:

- выражают связь между измеряемой величиной  $Y$  и входными величинами  $X_i$ , от которых она зависит;
- получают оценку  $x_i$  входной величины  $X_i$  на основе статистического анализа ряда наблюдений, в большинстве случаев эту оценку получают как среднее арифметическое значение  $n$  числа измерений;
- оценивают стандартную неопределенность  $u(x_i)$  каждой входной оценки  $x_i$ .

Для каждой входной оценки, полученной из статистического анализа ряда наблюдений, получают оценку стандартной неопределенности типа А, либо другим способом - получают оценку стандартной неопределенности типа В;

- рассчитывают результат измерения, т.е. находят оценку  $y$  измеряемой величины, по функциональной зависимости  $f$ , используя в качестве аргументов  $X_i$  оценки  $x_i$ .

- определяют суммарную стандартную неопределенность  $u_c(y)$  результата измерений  $y$  по стандартным неопределенностям и ковариациям входных оценок;

- определяют расширенную неопределенность измеряемой величины  $U(Y)$ ;

- представляют результат измерения  $y$  вместе с его суммарной стандартной неопределенностью  $u_c(y)$  или расширенной  $U(Y)$ .

Для этого, при проведении многократных измерений рассчитывают среднее арифметическое значение результатов измерений  $\bar{x}_i$  по формуле 1:

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (1)$$

где  $n$  - количество выполненных измерений величины  $x_i$ .

Вычисляют стандартное отклонение измеряемой  $i$ -ой входной величины, по формуле 2:

$$S = \sqrt{\frac{1}{(n_i-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}_i)^2} \quad (2)$$

где  $n_i$  - количество выполненных измерений величины  $x_i$ .

Вычисляют стандартную неопределенность измерения типа А по формуле 3:

$$u_A(x_i) = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Рассчитывают интервал неопределенности, соответствующий уровню доверия 0,95 в предположении нормального закона распределения результатов измерений по формуле 4:

$$\varepsilon_k = 2s \quad (4)$$

где границы этого интервала  $(-\varepsilon_i; +\varepsilon_i)$ , в пределах которого возможные значения стандартной неопределенности (формулы 6, 7):

$$u_{min} = u_i(x_i) - \varepsilon_i \quad (6)$$

$$u_{max} = u_i(x_i) + \varepsilon_i \quad (7)$$

В соответствии с этим проверяют, что все результаты измерений не выходят за границы это интервала.

Вычисляют вклад неопределенности  $u(x_i)$  входной величины в неопределенность  $u_i(y)$  измеряемой величины как произведение  $c_i$  коэффициента чувствительности на неопределенность входной величины по формуле 8:

$$u_i(y) = c_i * u(x_i) \quad (8)$$

При прямых измерениях все коэффициенты чувствительности равны 1.

Для определения следующей составляющей неопределенности измерения находим максимальное значение основной абсолютной погрешности эталона (формула 9).

$$\Delta_{\varepsilon} = \pm \frac{\delta_{\varepsilon} * Q_i}{100}, \quad (9)$$

где  $\delta_{\varepsilon}$  – основная абсолютная погрешность эталона,  $Q_i$  - расход, соответствующий определенной точке шкалы.

Стандартная неопределенность для основной абсолютной погрешности ( $\alpha$  – для равномерного закона распределения равно  $\sqrt{3}$ ) вычисляется по формуле 10:

$$u_{\varepsilon} = \frac{\Delta}{\alpha}. \quad (10)$$

Вычисление суммарной неопределенности измеряемой величины  $u_c(y)$  находят по формуле 11:

$$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i^2} \quad (11)$$

где  $\sum u_i^2$  – сумма всех вкладов неопределенности измерений возведенные в квадрат.

Расширенную неопределенность результата измерений получают путем умножения неопределенности выходной величины (суммарной стандартной неопределенности) на коэффициент охвата (формула 12):

$$U_{pi} = k * u_c(y) \quad (12)$$

где  $k$  - коэффициент охвата для нормального распределения, равный 2 для уровня доверия  $p=0,95$ .

#### 9.5 Составление бюджета неопределенности

Все полученные результаты измерений представляют в виде бюджета неопределенности (таблица Б.4). Бюджет включает в себя список всех входных величин, их оценок вместе с приписанными им стандартными неопределенностями измерения, коэффициентами чувствительности и числами степеней свободы.

Условные обозначения:

$X_i$  – входная величина;

$x_i$  - оценка входной величины;

$u(x_i)$  - стандартная неопределенность;

$c_i$  – коэффициент чувствительности;

$u_i(y)$  – вклад неопределенности;

$Y$  – выходная величина;

$y$  – оценка выходной величины;

$u(y)$  – стандартная суммарная неопределенность;

$\nu_{eff}$  – эффективное число степеней свободы

Таблица Б.4 - Схема бюджета неопределенности

Вход. величина $X_i$	$x_i$	$u(x_i)$	Число степеней свободы	Распределение вероятностей входной величины	$c_i$	$u_i(y)$
$X_1$	$x_1$	$u(x_1)$	$n_i - 1 (\infty)$	Закон	$c_1$	$u_1(y)$
$X_2$	$x_2$	$u(x_2)$	$n_i - 1 (\infty)$	Закон	$c_2$	$u_2(y)$
...	...	...	...	...	...	...
$X_n$	$x_n$	$u(x_n)$	$n_n - 1 (\infty)$	Закон	$c_n$	$u_n(y)$
Вых. величина	Оценка	$u(y)$	Эф. число ст.св.	Уровень доверия	Коэф. охвата	Расш. неопред.
$Y$	$y$	$u_c(y)$	$\nu_{eff}$	$p = 0,95$	$k$	$U$

Значение чисел степеней стандартных неопределенностей входных величин представлены в таблице Б.5.

Таблица Б.5 - Значение чисел степеней стандартных неопределенностей входных величин

Стандартная неопределённость входной величины	$\nu_i$
Типа А, для $n$ измерений	$n - 1$
Типа В, СКО однократных измерений, определенное по ранее проведенным $n$ измерениям	$n - 1$
Типа В, вычисленная через границы, приведенные без указания уровня доверия, например, пределы допускаемой погрешности СИ	$\infty$
Типа В, вычисленная через расширенную неопределенность $U$ и коэффициент охвата, равный коэффициенту Стьюдента для эффективного числа	$\nu_{eff}$

## 10. Оформление результатов измерений

Результаты калибровки заносятся в протокол по форме, приведенной в приложении Б.1.

После заполнения протокола калибровки на ротаметр выдается сертификат о калибровке, который включает в себя все величины, проверяемые в процессе калибровке.

Полный результат измерений включает в себя оценку измеряемой величины и приписанное ей значение расширенной неопределенности с указанием уровня доверия:

$$Y = \bar{x}_l \pm U_p = 0,95 \quad (11)$$

При записи результата следует придерживаться следующих рекомендаций:

- значение расширенной неопределенности указывается не более, чем с двумя значащими цифрами;
- измеренное значение должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и округленная расширенная неопределенность. Например, если  $Q = 1,897456 \text{ м}^3/\text{ч}$  с расширенной неопределенностью  $U = \pm 0,0385 \text{ м}^3/\text{ч}$ , то результат следует записать как  $Q = 1,8974 \pm 0,0385 \text{ м}^3/\text{ч}$ .

В общем случае, на практике объем информации, необходимый для представления результата измерений, зависит от его предполагаемого использования, однако общий принцип остается неизменным: лучше, чтобы объем информации был избыточным, чем недостаточным.



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б.1

Наименование организации, проводившая калибровку, св-во о  
регистрации в РСК, адрес организации

Ротаметры. Методика калибровки МК. ФБУ "Тест - С.-Петербург", 2020 г.  
ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 "Неопределённость  
измерения", ВНИИМ, 2011 г.

Всего листов: 1 Лист: 1

**ПРОТОКОЛ № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_**

калибровки \_\_\_\_\_ зав.№ \_\_\_\_\_ изготовитель \_\_\_\_\_

год выпуска \_\_\_\_\_ принадлежащего \_\_\_\_\_

### Условия калибровки

Наименование параметра	Требования НД	Измеренные значения
Температура окружающей среды, °С		
Относительная влажность воздуха, %		
Атмосферное давление, кПа		
Температура калибруемой среды, °С		

Калибровочная среда –

Наименование, тип, заводской номер	Метрологические характеристики

### Результаты измерений

1. Внешний осмотр: \_\_\_\_\_
2. Опробование: \_\_\_\_\_
3. Определение метрологических характеристик (указывается таблица с результатами измерений и вычислений).
4. Результаты калибровки (создается таблица итоговых данных).

### Заключение

На основании результатов калибровки СИ был выдан сертификат о калибровке \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Поверитель \_\_\_\_\_ (ФИО)