

**К. О. Жаравина, С. В. Лавринов, М. А. Лядов,
Е. В. Петрова, А. Ф. Дресвянников, Н. Н. Колдыбаева**

КАЛИБРОВКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРОПУСКАНИЯ И ОПТИЧЕСКОЙ ПЛОТНОСТИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВТОРИЧНОГО ЭТАЛОНА И АВТОМАТИЗАЦИИ ОБРАБОТКИ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

Ключевые слова: калибровка, оптическая плотность, вторичный эталон, неопределенность измерений, валидация, верификация, автоматическая обработка результатов.

В статье представлены результаты разработки методики калибровки средств измерений коэффициентов направленного пропускания и оптической плотности с применением вторичного эталона. Составлен детализированный алгоритм калибровки, включающий два варианта проведения измерений: с использованием комплекта светофильтров КНС-10.5 (для калибровки средств измерений) и с использованием эталонного спектрофотометра (для калибровки мер). Описан процесс оценки неопределенности измерений по типам А и В, составлены бюджеты неопределенности для номинальных точек диапазона длин волн (300, 400, 780, 2500 нм). Предлагаемая методика апробирована на комплекте светофильтров КНС-10.5. Получены экспериментальные данные по калибровке комплекта светофильтров, рассчитана расширенная неопределенность измерений. Проведена валидация методики методом теоретических изысканий и межлабораторных сравнительных испытаний с участием двух независимых лабораторий. Результаты межлабораторных сличений подтвердили применимость методики. Показана возможность масштабирования облачного решения на другие типы средств измерений (спектрофотометры, фотометры, колориметры) после адаптации справочных данных и расчетных формул. Ключевым результатом работы является реализация автоматизированного сбора, хранения и обработки измерительных данных на базе облачного сервиса Google Sheets и языка сценариев Google Apps Script. Разработанный алгоритм связан с автоматической обработкой результатов через систему триггеров и функций скрипта, что обеспечивает расчет стандартных неопределенностей по типу А и В, суммарной и расширенной неопределенности, а также автоматическое формирование протокола калибровки без участия оператора на расчетных этапах. Использование облачного сервиса позволило сократить время обработки одного комплекта с 25–30 до 6–8 минут и полностью исключить ошибки переноса данных.

**K. O. Zharavina, S. V. Lavrinov, M. A. Lyadov,
E. V. Petrova, A. F. Dresvyannikov, N. N. Koldybayeva**

CALIBRATION OF MEASURING INSTRUMENTS FOR TRANSMITTANCE COEFFICIENTS AND OPTICAL DENSITY USING A SECONDARY STANDARD AND AUTOMATED PROCESSING OF MEASUREMENT DATA

Keywords: calibration, optical density, secondary standard, measurement uncertainty, validation, verification, automatic data processing.

This article presents the results of the development of a calibration method for measuring instruments used to determine directional transmittance coefficients and optical density, using a secondary standard. A detailed calibration algorithm has been developed, including two measurement methods: one using the KNS-10.5 set of optical filters (for calibrating measuring instruments) and the other using a reference spectrophotometer (for calibrating standards). The process of evaluating measurement uncertainty according to types A and B is described, and uncertainty budgets are compiled for nominal points in the wavelength range (300, 400, 780, 2500 nm). The proposed methodology has been tested on the KNS-10.5 set of light filters. Experimental data on the calibration of the set of optical filters were obtained, and the expanded measurement uncertainty was calculated. The methodology was validated using theoretical studies and interlaboratory comparison tests involving two independent laboratories. The results of the interlaboratory comparisons confirmed the applicability of the methodology. The possibility of scaling the cloud-based solution to other types of measuring instruments (spectrophotometers, photometers, colorimeters) after adapting the reference data and calculation formulas has been demonstrated. A key result of this work is the implementation of automated collection, storage, and processing of measurement data based on the Google Sheets cloud service and the Google Apps Script scripting language. The developed algorithm involves the automatic processing of results through a system of triggers and script functions, which enables the calculation of Type A and Type B standard uncertainties, total and expanded uncertainties, as well as the automatic generation of a calibration report without operator intervention during the calculation stages. The use of the cloud service has reduced the processing time for a single data set from 25–30 minutes to 6–8 minutes and completely eliminated data transfer errors.

Введение

Измерительная информация служит основой для принятия решений о качестве продукции, при внедрении систем качества [1]. Только достоверность и соответствующая точность результатов измерений обеспечивает правильность принимаемых решений на всех

уровнях управления. Получение недостоверной информации приводит к неверным решениям, снижению качества продукции, возможным авариям [2].

На точность измерений оказывает влияние большое количество факторов, в том числе внешних. Для обеспечения точности на предприятиях проводится

поверка и, все более широко, калибровка средств измерений. Калибровка обеспечивает метрологическую прослеживаемость и доверие к результатам. Однако, нехватка методик калибровки вынуждает использовать методики поверок, не соответствующие требованиям международной аккредитации. Для международного признания результатов калибровки ГОСТ ISO/IEC 17025 [3] требует оценивать неопределенность измерений, что и предусмотрено методиками калибровки.

В практике метрологических испытаний и калибровок значительная часть операций по сбору и обработке результатов измерений по-прежнему выполняется вручную либо с использованием разрозненных программных средств. Результаты часто фиксируются на бумажных носителях или в локальных электронных таблицах, что затрудняет их систематизацию, повышает вероятность ошибок при переносе данных и осложняет статистическую обработку.

В условиях цифровизации лабораторной деятельности одной из задач становится использование доступных облачных сервисов для автоматизации отдельных этапов метрологических работ. Облачные платформы обеспечивают централизованный сбор, первичную обработку и визуализацию данных без развёртывания собственной серверной инфраструктуры.

Средства измерения коэффициента пропускания и оптической плотности широко используются для определения качества различной продукции, а значит, их пригодность требует метрологического подтверждения. Однако, отсутствие некоторых средств измерений в Федеральной государственной информационной системе «АРШИН» делает поверку невозможной, обуславливая необходимость калибровки и разработки соответствующих методик [4]. В настоящее время ввиду отсутствия специальных методик, калибровка средств измерений коэффициентов направленного пропускания и оптической плотности производится по алгоритмам поверки, не учитывающим особенности процесса калибровки, который может отличаться от поверки, как в сторону упрощения, так и в сторону усложнения процедуры [5]. Растущие требования к точности измерений приводят к увеличению числа и частоты использования вторичных эталонов (ВЭТ), поверяемых первичными эталонами метрологических институтов [6]. Ограниченное количество первичных эталонов и рост числа вторичных делают применение последних в качестве средства калибровки все более актуальным.

Разработка методики калибровки средств измерений коэффициентов направленного пропускания и оптической плотности с применением вторичного эталона, создание алгоритма оценки неопределенности измерений с автоматизацией сбора и первичной обработки результатов метрологических испытаний, направленного на снижение влияния человеческого фактора и сокращение временных затрат является целью данной работы.

Результаты эксперимента и их обсуждение

Для реализации методики калибровки средств измерений коэффициента пропускания и оптической

плотности в качестве вторичного эталона (ВЭТ) используется Государственный вторичный эталон единиц спектрального коэффициента направленного пропускания в диапазоне значений от 0,01 до 0,99 и спектральной оптической плотности в диапазоне значений от 0,01 до 2,00 Б в диапазоне длин волн от 0,2 до 2,5 мкм. Он предназначен для воспроизведения, передачи и хранения единицы спектрального коэффициента направленного пропускания (СКНП) в диапазоне значений от 0,01 до 0,99 и единицы спектральной оптической плотности в диапазоне значений от 0,01 до 2,00 Б в диапазоне длин волн от 0,2 до 2,5 мкм [7].

Таблица 1 — Метрологические требования к средствам измерений

Table 1 — Metrological Requirements for Measuring Instruments

Группа средств измерений	Диапазон измерений	Неопределенность
Наборы мер коэффициента пропускания и оптической плотности	(1-99)% КПП в диапазоне длин волн от 200 до 2500 нм	$U_{0,95}=0,3\%$ $U_{0,95}=0,1\text{нм}$
	(0,01-2,00) Б	$U_{0,95} = (0,43 \cdot U_{\text{кпп}}) / \text{КП}$ Р
Средства измерений оптической плотности и коэффициента пропускания	(1-99)% КПП в диапазоне длин волн от 200 до 2500 нм	$U_{0,95}=0,3\%$ $U_{0,95}=0,1\text{нм}$
	(0,01-2,00) Б	$U_{0,95} = (0,43 \cdot U_{\text{кпп}}) / \text{КП}$ Р

К средствам измерений предъявляются метрологические требования, приведенные в таблице 1. Данные составлены, исходя из диапазонов измерений и значений расширенной неопределенности, приведенных в области аккредитации. Неопределенность, указанная в таблице, является минимальной возможной в любой точке диапазона, оценка неопределенности результатов измерений является обязательной процедурой [8-11].

В процессе калибровки устанавливается соотношение между показаниями средств измерений (СИ) и соответствующими измеренными значениями величины с указанием неопределенности измерений.

Калибровка проводится при следующих условиях:

- температура окружающего воздуха (20 ± 5) °С;
- относительная влажность воздуха (30-80) %;
- атмосферное давление (84-106) кПа.

Возможно два варианта проведения измерений: определение действительных значений коэффициента пропускания (оптической плотности) при калибровке СИ и определение действительных значений коэффициента пропускания (оптической плотности) при калибровке меры.

Калибровка проводится с помощью комплекта светофильтров КНС-10.5. Комплект светофильтров КНС-10.5 состоит из трех наборов мер спектрального

коэффициента направленного пропускания (СКНП): восьми нейтральных светофильтров (№ 1–8), пяти светофильтров (№ 1, 9–12), четыре из которых имеют специальное напыление, и набора мер минимумов и максимумов поглощения из цветного стекла ПС7 и монокристалла НГГ (неодим-галлиевого граната) [12].

В средства калибровки дополнительно включен комплект светофильтров типа КНС-10.2. Светофильтры типа КНС-10.2 предназначены для использования в качестве рабочего эталона спектрального коэффициента пропускания при поверке (калибровке) фотометрической шкалы и шкалы длин волн фотометров и спектрофотометров [13].

Для определения точностных характеристик прибора в части установки требуемой длины волны, а также для обеспечения прослеживаемости коэффициента пропускания и оптической плотности был использован светофильтр из монокристалла НГГ (неодим-галлиевого граната). НГГ откалиброван по длинам волн и имеет определенный спектр для отдельных длин волн [13].

В первом случае калибровка проводится с помощью комплекта светофильтров КНС-10.5 на рабочих длинах волн анализатора [14]. Устанавливают светофильтры (меры) в измерительный канал анализатора и проводят измерение оптической плотности (спектрального коэффициента направленного пропускания) для выбранной длины волны. Данную операцию проводят не менее трех раз. Схема при оценке неопределенности измерений при калибровке средств измерений (СИ) оптической плотности представлена на рисунке 1.



Рис. 1 - Процедура расчета неопределенности измерений при калибровке средств измерений (СИ) оптической плотности

Fig. 1 - Procedure for Calculating Measurement Uncertainty During the Calibration of Optical Density Measuring Instruments (MI)

Модельное уравнение при калибровке СИ оптической плотности можно представить в виде формулы:

$$\Delta = (X_c + \Delta_c) - (X_s + \Delta_s),$$

где Δ_c - дискретность калибруемого СИ, % (Б, нм); X_c - измеренное значение, % (Б, нм); Δ_s - расширенная неопределенность из сертификата эталонной меры, % (Б, нм); X_s - значение оптической плотности (коэффициента пропускания) эталонной меры, % (Б, нм).

Суммарная стандартная неопределенность измерения систематической погрешности калибруемого СИ, рассчитывается по формуле, % (Б, нм):

$$u(\Delta) = \sqrt{u_A^2(\bar{x}_c) + u_B^2(x_s) + u_B^2(\Delta_c) + u_B^2(\theta)},$$

где $u_A^2(\bar{x}_c)$ - стандартная неопределенность, связанная с наблюдаемой изменчивостью показаний калибруемого СИ, оцениваемая по типу А при выполнении многократных измерений, % (Б, нм); $u_B^2(x_s)$ - стандартная неопределенность отсчета калибруемого СИ,

в предположении о равномерном законе распределения, % (Б, нм); $u_B^2(\Delta_c)$ - стандартная инструментальная неопределенность эталонной меры, полученная из значений расширенной неопределенности $U(X_s)$ и коэффициента охвата k_s указанных в сертификате калибровки меры, % (Б, нм); $u_B^2(\theta)$ - стандартная неопределенность дрейфа нуля эталонной меры, % (Б, нм).

В рамках данного способа были определены номинальные точки диапазона длин волн; для этих точек составлены бюджеты неопределенности для каждого из средств калибровки и оформлен протокол о валидации методики. Номинальными точками были выбраны 300 нм, 400 нм, 780 нм, 2500 нм, так как они охватывают начало и конец рабочего диапазона, а также включают наиболее используемые длины волн при поверке и калибровке. Для 1 светофильтра (90% КПП) и 12 светофильтров (1% КПП) был составлен бюджет неопределенности в точке 400 нм (табл. 2, 3).

Во втором случае калибровка проводится с помощью эталонного СИ (спектрофотометра) на рабочих длинах волн анализатора. Устанавливают светофильтры (меры) в измерительный канал анализатора и проводят измерение оптической плотности (спектрального коэффициента направленного пропускания) для выбранной длины волны. Данную операцию также проводят не менее трех раз.

Таблица 2 – Бюджет неопределенности для 1 светофильтра в точке 400 нм

Table 2 – Uncertainty budget for 1 optical filter at 400 nm

Входная величина	Значение входной величины	Стандартная неопределенность	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
$X_s, \%$	91,86	0,10	1	0,10
$X_c, \%$	91,81	0,10	2	0,21
$\Delta_c, \%$	0,10	0,03		

Таблица 3 – Бюджет неопределенности для 12 светофильтров в точке 400 нм

Table 3 – Uncertainty budget for 12 optical filters at 400 nm

Входная величина	Значение входной величины	Стандартная неопределенность	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
$X_s, \%$	5,21	0,10	1	0,10
$X_c, \%$	5,15	0,10	2	0,21
$\Delta_c, \%$	0,10	0,03		

Схема при оценке неопределенности измерений при калибровке светофильтров представлена на рисунке 2.

В этом случае модельное уравнение при калибровке светофильтров можно представить в виде

$$\Delta = (X_c) - (X_s + \Delta_s)$$

где X_c - измеренное значение, % (Б, нм); Δ_s - расширенная неопределенность из сертификата эталонного

СИ, % (Б, нм); X_s – значение оптической плотности (коэффициента пропускания) эталонного СИ, % (Б, нм).



Рис. 2 - Процедура расчета неопределенности измерений при калибровке светофильтров

Fig. 2 - Procedure for Calculating Measurement Uncertainty During the Calibration of Light Filters

Суммарная стандартная неопределенность измерения систематической погрешности калибруемого СИ указана в формуле, % (Б, нм):

$$u(\Delta) = \sqrt{u_A^2(\bar{x}_c) + u_B^2(x_s)},$$

где $u_A^2(\bar{x}_c)$ – стандартная неопределенность, связанная с наблюдаемой изменчивостью показаний калибруемого СИ, оцениваемая по типу А при выполнении многократных измерений, % (Б, нм); $u_B^2(x_s)$ – стандартная инструментальная неопределенность эталонного СИ, полученная из значений расширенной неопределенности $U(X_s)$ и коэффициента охвата k_s указанных в сертификате калибровки эталонного СИ, % (Б, нм).

В отличие от предыдущего случая, здесь не учитывается вклад дискретности, так как у калибруемой меры ее нет. Бюджет неопределенности 1 и 12 светофильтров приведены в табл. 4 и 5.

Таблица 4 – Бюджет неопределенности для 1 светофильтра в точке 400 нм

Table 4 – Uncertainty budget for 1 optical filter at 400 nm

Входная величина	Значение входной величины	Стандартная неопределенность	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
$X_s, \%$	91,86	0,10	1	0,10
$X_c, \%$	91,86	0,10	2	0,19

Таблица 5 – Бюджет неопределенности для 12 светофильтров в точке 400 нм

Table 5 – Uncertainty budget for 12 optical filters at 400 nm

Входная величина	Значение входной величины	Стандартная неопределенность	Коэффициент чувствительности	Вклад неопределенности
$X_s, \%$	5,21	0,10	1	0,10
$X_c, \%$	5,21	0,10	2	0,19

В настоящее время одним из ключевых требований, предъявляемым к современным методикам калибровки, является не только их формальное описание с помощью последовательности операций, но и реализация механизмов, минимизирующих участие оператора на этапах расчёта и документирования результатов [16-19].

В ходе разработки методики калибровки выявлена значительная доля рутинных операций при многократных измерениях: регистрация показаний прибора, перенос значений в электронные таблицы, расчёт средних арифметических значений, стандартных отклонений и последующее формирование бюджетов неопределённости. Выполнение данных операций вручную существенно повышает трудозатраты, а также вероятность возникновения ошибок в расчетах, опечаток, потери связи между измеренным значением и условиями эксперимента, что является критичным для проведения калибровки [18-19].

Для устранения указанных недостатков предложено автоматизировать процесс калибровки с использованием облачного сервиса Google Sheets и встроенного языка сценариев Google Apps Script [20]. Выбор которого обусловлен следующими факторами:

- отсутствие необходимости развёртывания собственной серверной инфраструктуры;
- возможность централизованного сбора данных с автоматической временной меткой;
- достаточная для метрологических задач точность вычислений (числа с плавающей запятой двойной точности) и т.п.

Разработанный алгоритм автоматизированной калибровки включает последовательность этапов, представленных на рис. 3.

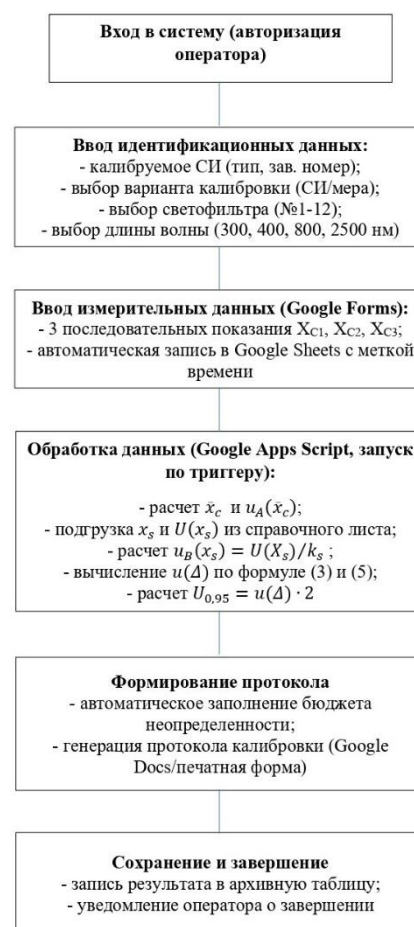


Рис. 3 – Алгоритм автоматизированной калибровки

Fig. 3 – Automated Calibration Algorithm

Каждый этап алгоритма инициирует выполнение соответствующей функции в среде Google Apps Script. В частности, после завершения ввода трёх измерений через веб-форму срабатывает триггер onFormSubmit, который автоматически:

- идентифицирует тип калибровки (СИ или мера) по выбранному варианту;
- подгружает из справочного листа эталонные значения X_s и расширенную неопределённость $U(X_s)$;
- вычисляет стандартные неопределённости по типу А и В;
- рассчитывает суммарную стандартную и расширенную неопределённость.

В этом случае исключается этап ручного переноса промежуточных результатов в калькулятор или отдельную таблицу — все вычисления выполняются централизованно в облачной среде с фиксацией каждой операции в логе изменений. Это соответствует требованиям ГОСТ Р 8.879-2014 о документировании промежуточных результатов и прослеживаемости вычислений при калибровке.

На выходе программы автоматически формируется протокол калибровки в формате, пригодном для печати или электронного подписания. При этом в протокол включаются не только итоговые значения расширенной неопределённости, но и все составляющие бюджета, что исключает необходимость ручного заполнения шаблонов.

Таким образом, предложенный подход реализует сквозную автоматизацию от ввода первичных данных до получения итогового документа, что особенно важно при серийной калибровке однотипных средств измерений. По данным апробации на комплекте КНС-10.5, доля ручных операций сокращена на 85%, а общее время обработки одного комплекта — с 25–30 минут до 6–8 минут.

Валидацию методики калибровки средств измерений коэффициента пропускания и оптической плотности проводили двумя способами: оценивание неопределённости измерений, связанной с результатами измерений, на основании понимания теоретических принципов метода и опыта его реализации при отборе образцов или проведении испытаний и межлабораторные сличения [1,15].

Валидацию и верификацию разработанной методики проводили путем межлабораторных сравнительных испытаний с участием двух независимых испытательных лабораторий.

Выводы

Представленный подход к калибровке средств измерений коэффициентов направленного пропускания и оптической плотности позволяет точно оценить метрологические характеристики приборов и мер и обеспечивает цепь метрологической прослеживаемости. Операции по калибровке были реализованы в полном объеме.

Посредством процедур валидации и верификации подтверждена пригодность разработанной методики к применению. Получены удовлетворительные результаты оценки, указывающие на эффективность предложенных методов калибровки и возможность

использования методики для калибровки средств измерений коэффициентов направленного пропускания и оптической плотности.

Впервые для данного типа калибровок осуществлена автоматизация сбора, хранения и обработки измерительных данных на базе общедоступного облачного сервиса Google Sheets и языка сценариев Google Apps Script. Разработанный алгоритм включает идентификацию СИ, ввод трёхкратных измерений через веб-форму, автоматический расчёт неопределённостей типов А и В, суммарной и расширенной неопределённости, а также формирование протокола калибровки.

Практическое применение облачного инструмента при калибровке комплекта светофильтров КНС-10.5 показало сокращение времени обработки одного комплекта с 25–30 минут до 6–8 минут, полное исключение ошибок переноса данных и обеспечение централизованного хранения результатов с привязкой к дате и оператору. Указанные преимущества подтверждают эффективность предлагаемого подхода. Прорекламирована возможность масштабирования предложенного облачного решения на другие типы средств измерений (спектрофотометры, фотометры, колориметры) после соответствующей адаптации справочных данных и расчётных формул.

Литература

1. Ардышева, А.А. Необходимые условия достоверности измерений/ А.А. Ардышева, С.В. Солдатов. - Текст: электронный // Киберленинка: научная электронная библиотека. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neobhodimye-usloviya-dostovernosti-izmereniy> (дата обращения: 02.05.2026).
2. Павлова, Т.В. Оценка показателей качества методики определения влажности сыпучих веществ и материалов методом взвешивания/ Т.В. Павлова, Н.И. Мовчан. - Текст: электронный // Киберленинка: научная электронная библиотека. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pokazateley-kachestva-metodiki-opredeleniya-vlazhnosti-sypuchih-veschestv-i-materialov-metodom-vzveshivaniya/viewer> (дата обращения: 02.05.2026).
3. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий [Текст]. - Введ. 2019-09-01. - М.: Стандартинформ, 2021. - 32 с.
4. Кузнецова, Е.А. Особенности калибровки средств измерений давления/ Е.А.Кузнецова, Н.А.Вихарева. - Текст: электронный// Киберленинка: научная электронная библиотека. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-kalibrovki-sredstv-izmereniy-davleniya> (дата обращения: 02.05.2026).
5. Лавринов, С.В. Разработка методики калибровки газоанализаторов для определения содержания компонентов в газовых средах/ С.В. Лавринов, Е.В. Петрова, Р.Г. Романова // Вестник технологического университета. - 2024. - Т. 27, № 10. - С. 69.
6. Об эталонах единиц величин, используемых в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений: Постановление Правительства РФ от 23 сентября 2010 г. № 734 // Собрание законодательства Российской Федерации. - 2010. - № 40. - Ст. 5066.
7. Об утверждении Государственной поверочной схемы для средств измерений спектральных, интегральных, ре-

- дуцированных коэффициентов направленного пропускания, диффузного и зеркального отражений и оптической плотности в диапазоне длин волн от 0,2 до 20,0 мкм: Приказ Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 ноября 2018 г. № 2517 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: официальный сайт / АО «Кодекс». - URL: <https://docs.cntd.ru/document/553849921> (дата обращения: 15.05.2026).
8. ГОСТ Р 8.879-2014 ГСИ. Методики калибровки средств измерений. Общие требования к содержанию и изложению [Текст]. - Введ. 2015-09-01. - М.: Стандартинформ, 2019. - 11 с.
 9. ГОСТ 34100.1-2017 Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения [Текст]. - Введ. 2018-09-01. - М.: Стандартинформ, 2018. - 30 с.
 10. ГОСТ 34100.3-2017 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения [Текст]. - Введ. 2018-09-01. - М.: Стандартинформ, 2018. - 118 с.
 11. Данилов А.А. Практические вопросы калибровки измерительного оборудования в деятельности испытательной лаборатории // Законодательная и прикладная метрология. - 2022. - №4. - С. 30-33.
 12. Комплект светофильтров КНС 10.5 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://all-pribors.ru/opisanie/65272-16-kns-10-5-74239>, свободный.
 13. Комплект светофильтров КНС 10.2 [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/47691-11.pdf>, свободный.
 14. Зверев, В. А. Оптические материалы. Часть 1. Учебное пособие для конструкторов оптических систем и приборов / В. А. Зверев, Е. В. Кривопустова, Т. В. Точилина. - Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2009. - 244 с.
 15. Голубкова Е.В., Комина И.Г., Чиканцева Е.И. Валидация и верификация методик измерений: мнения и взгляды. Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2023; 89(2(II)): 77-80. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-2-II-77-80>.
 16. Сулаберидзе В.Ш. Тенденции развития метрологического обеспечения измерительных систем с учетом усложнения их функциональности / В. Ш. Сулаберидзе, А. Г. Чуновкина, А. Н. Пронин и др. // Эталоны. Стандартные образцы. - 2025. - Т. 21, № 4. - С. 124-138.
 17. Меньшиков, А. Д. Метрологическое обеспечение в рамках реализации программы "Цифровая экономика Российской Федерации" / А. Д. Меньшиков // Главный метролог. - 2020. - № 1(112). - С. 56-59.
 18. Меньшиков, А. Д. Автоматизация поверки, калибровки - повышение производительности / А. Д. Меньшиков // Главный метролог. - 2021. - № 4(121). - С. 26-30.
 19. Кирющенко, А. Н. Автоматизация процессов поверки и калибровки средств измерений в современных лабораториях / А. Н. Кирющенко, А. Д. Меньшиков // Компетентность. - 2024. - № 5. - С. 39-41.
 20. [vlazhnosti-sypuchih-veschestv-i-materialov-metodom-vzveshivaniya/viewer](https://viewer.vestnik-techno.ru) (accessed May 2, 2026).
 3. GOST ISO/IEC 17025-2019 General Requirements for the Competence of Testing and Calibration Laboratories [Text]. - Effective 09/01/2019. - Moscow: Standardinform, 2021. - 32 pp.
 4. Kuznetsova, E.A. Features of the Calibration of Pressure Measuring Instruments / E.A. Kuznetsova, N.A. Vikhareva. - Text: electronic // Cyberleninka: Scientific Electronic Library. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/osobennosti-kalibrovki-sredstv-izmereniy-davleniya> (accessed: May 2, 2026).
 5. Lavrinov, S.V. Development of a Calibration Method for Gas Analyzers to Determine the Content of Components in Gaseous Media / S.V. Lavrinov, E.V. Petrova, R.G. Romanova // Bulletin of the Technological University. - 2024. - Vol. 27, No. 10. - p. 69.
 6. On Standards for Units of Measurement Used in the Field of State Regulation to Ensure the Uniformity of Measurements: Resolution of the Government of the Russian Federation No. 734 of September 23, 2010 // Collection of Legislation of the Russian Federation. - 2010. - No. 40. - Art. 5066.
 7. On the Approval of the State Verification Scheme for Measuring Instruments of Spectral, Integral, and Reduced Coefficients of Direct Transmission, Diffuse and Specular Reflection, and Optical Density in the Wavelength Range from 0.2 to 20.0 μm: Order of the Federal Agency for Technical Regulation and Metrology No. 2517 of November 27, 2018 // Electronic Repository of Legal and Regulatory-Technical Documents: Official Website / JSC "Codex." - URL: <https://docs.cntd.ru/document/553849921> (accessed May 15, 2026).
 8. GOST R 8.879-2014 GSI. Calibration procedures for measuring instruments. General requirements for content and presentation [Text]. - Effective 09/01/2015. - Moscow: Standardinform, 2019. - 11 pp.
 9. GOST 34100.1-2017 Measurement uncertainty. Part 1. Introduction to guidelines for expressing measurement uncertainty [Text]. - Effective 2018-09-01. - Moscow: Standardinform, 2018. - 30 pp.
 10. GOST 34100.3-2017 Measurement Uncertainty. Part 3. Guidance on the Expression of Measurement Uncertainty [Text]. - Effective 2018-09-01. - Moscow: Standardinform, 2018. - 118 pp.
 11. Danilov, A.A. Practical Issues of Calibrating Measuring Equipment in the Activities of a Testing Laboratory // Legislative and Applied Metrology. - 2022. - No. 4. - pp. 30-33.
 12. KNS 10.5 Light Filter Set [Electronic resource] - Access mode: <https://all-pribors.ru/opisanie/65272-16-kns-10-5-74239>, free access.
 13. KNS 10.2 Light Filter Set [Electronic resource] - Access mode: <https://www.ktopoverit.ru/prof/opisanie/47691-11.pdf>, free access.
 14. Zverev, V. A. Optical Materials. Part 1. A Textbook for Designers of Optical Systems and Instruments / V. A. Zverev, E. V. Krivopustova, T. V. Tochilina. - Saint Petersburg: ITMO University, 2009. - 244 pp.
 15. Golubkova, E. V., Komina, I. G., Chikantseva, E. I. Validation and Verification of Measurement Methods: Opinions and Perspectives. Plant Laboratory. Materials Diagnostics. 2023; 89(2(II)): 77-80. <https://doi.org/10.26896/1028-6861-2023-89-2-II-77-80>.
 16. Sulaberidze, V. Sh. Trends in the Development of Metrological Support for Measurement Systems, Taking into Account the Increasing Complexity of Their Functionality / V. Sh. Sulaberidze, A. G. Chunovkina, A. N. Pronin, et al. // Etalons. Standard Samples. - 2025. - Vol. 21, No. 4. - pp. 124-138.
 17. Menshikov, A. D. Metrological Support within the Framework of the "Digital Economy of the Russian Federation"

References

1. Ardycheva, A.A. Necessary Conditions for Measurement Reliability / A.A. Ardycheva, S.V. Soldatova. - Text: electronic // Cyberleninka: Scientific Electronic Library. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/neobhodimye-usloviya-dostovernosti-izmereniy> (accessed May 2, 2026).
2. Pavlova, T.V. Evaluation of Quality Indicators for the Method of Determining the Moisture Content of Bulk Substances and Materials by Weighing / T.V. Pavlova, N.I. Movchan. - Text: electronic // Cyberleninka: Scientific Electronic Library. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-pokazateley-kachestva-metodiki-opredeleniya>

Program / A. D. Menshikov // Chief Metrologist. – 2020. – No. 1(112). – pp. 56–59.

18. Menshikov, A. D. Automation of Verification and Calibration—Increasing Productivity / A. D. Menshikov // Chief Metrologist. – 2021. – No. 4(121). – pp. 26–30.

19. Kiryushchenkov, A. N. Automation of Verification and Calibration Processes for Measuring Instruments in Modern Laboratories / A. N. Kiryushchenkov, A. D. Menshikov // Competence. – 2024. – No. 5. – pp. 39–41.

© **К. О. Жаравина** – магистрант кафедры Аналитической химии, сертификации и менеджмента качества (АХСМК), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, kzharavina@list.ru; **С. В. Лавринов** – ведущий инженер по метрологии отдела Измерений физико-химических величин ФБУ «ЦСМ Татарстан», Казань, Россия, lsv@tatcsm.ru; **М. А. Лядов** – инженер по метрологии I категории отдела измерений физико-химических величин ФБУ «ЦСМ Татарстан», zss@tatcsm.ru; **Е. В. Петрова** – д.х.н., зав. кафедрой АХСМК, КНИТУ, Petrova_EV@kstu.ru; **А. Ф. Дресвянников** – д.х.н., профессор кафедры АХСМК, КНИТУ, alfedr@kstu.ru; **Н. Н. Колдыбаева** – начальник отдела Измерений физико-химических величин ФБУ «ЦСМ Татарстан», fh@tatcsm.ru.

© **K. O. Zharavina** – Master-student at the Department of Analytical Chemistry, Certification and Quality Management (ACCQM), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, kzharavina@list.ru; **S. V. Lavrinov** – Lead Engineer of the Department of Measurements of Physicochemical Quantities (MPQ), the State Regional Center of Standardization, Metrology and Testing in the Tatarstan Republic (TATCSM), Kazan, Russia, lsv@tatcsm.ru; **M. A. Lyadov** – Engineer of the 1st category of the MPQ department, TATCSM, zss@tatcsm.ru; **E. V. Petrova** – Doctor of Sciences (Chemical Sci.), Head of the ACCQM department, KNRTU, petrovaekv@corp.knrtu.ru; **A. F. Dresvyannikov** – Doctor of Sciences (Chemical Sci.), Professor of the ACCQM department, KNRTU, a.dresvyannikov@mail.ru; **N. N. Koldybayeva** – Head of the MPQ department, TATCSM, fh@tatcsm.ru.

Дата поступления рукописи в редакцию – 01.06.26.

Дата принятия рукописи в печать – 18.06.26.