



ISSN 1995-2732 (Print), 2412-9003 (Online)
УДК 620.197.3:531.7
DOI: 10.18503/1995-2732-2026-24-1-123-132

ФОТОМЕТРИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНГИБИТОРА КОРРОЗИИ: РОЛЬ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ В ОБЕСПЕЧЕНИИ КАЧЕСТВА АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Шарафиева Р.Р., Денисова Я.В., Сопин В.Ф.

Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия

Аннотация. Актуальность работы. Надежность и долговечность оборудования в сфере нефтегазового машиностроения, имеющей стратегическое значение для экономики России и нефтегазовой отрасли, определяется эффективной защитой от коррозии и ролью ингибиторов. Эффективность ингибирования, в свою очередь, во многом определяется точностью аналитического контроля концентрации ингибитора, осуществляемого, в частности, фотометрическим методом. Однако достоверность результатов подвержена неопределенности измерений, обусловленной различными факторами. В соответствии с ГОСТ ISO/IEC 17025-2019 оценка и учет неопределенности обязательны для испытательных лабораторий, проводящих аналитический контроль. Актуальность работы заключается в предоставлении практических подходов к оценке неопределенности при фотометрическом определении ингибиторов коррозии для обеспечения соответствия нормативным требованиям и повышения качества аналитических результатов. **Цель работы.** Оценивание неопределенности измерения при фотометрическом определении ингибитора коррозии. **Используемые методы.** Для оценки неопределенности использовался метод моделирования. Составлена математическая модель измерения, описывающая взаимосвязь между измеряемой величиной и входными параметрами. Для каждой входной величины были определены значения и приписаны соответствующие законы распределения. **Новизна.** Особенность работы заключается в комплексном анализе процедуры фотометрического определения с идентификацией источников неопределенности на всех этапах измерения с использованием причинно-следственной диаграммы Исикавы. **Результаты.** Идентифицированы и количественно оценены источники неопределенности: по типу А – на основе статистики наблюдений; по типу В – на основе оценки влияния отдельных факторов. Для каждого этапа измерения были рассчитаны относительные стандартные неопределенности. Выведено уравнение для вычисления относительной суммарной стандартной неопределенности. Рассчитана относительная расширенная неопределенность. Для систематизации и наглядного представления результатов был сформирован бюджет неопределенности. **Практическая значимость.** Внедрение результатов работы в практику аналитического контроля ингибиторов в сфере нефтегазового машиностроения и нефтегазовой отрасли позволит обеспечить соответствие требованиям ГОСТ ISO/IEC 17025-2019, повысить достоверность измерений и обеспечить их метрологическое обоснование.

Ключевые слова: долговечность, коррозия, эффективность ингибирования, аналитический контроль, достоверность результатов, причинно-следственная диаграмма, неопределенность, бюджет неопределенности

© Шарафиева Р.Р., Денисова Я.В., Сопин В.Ф., 2026

Для цитирования

Шарафиева Р.Р., Денисова Я.В., Сопин В.Ф. Фотометрическое определение ингибитора коррозии: роль неопределенности измерений в обеспечении качества аналитических исследований и их результатов // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2026. Т. 24. №1. С. 123-132. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-1-123-132>



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.
The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

PHOTOMETRIC DETERMINATION OF A CORROSION INHIBITOR: THE ROLE OF MEASUREMENT UNCERTAINTY IN ENSURING THE QUALITY OF ANALYTICAL STUDIES AND THEIR RESULTS

Sharafieva R.R., Denisova Ya.V., Sopin V.F.

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia

Abstract. Relevance. The reliability and durability of equipment in the field of oil and gas engineering, which is of strategic importance for the Russian economy and the oil and gas industry, is determined by effective corrosion protection and the role of inhibitors. The effectiveness of inhibition, in turn, is largely determined by the accuracy of analytical control of the inhibitor concentration, which is carried out, in particular, by the photometric method. However, the reliability of the results is subject to measurement uncertainty caused by various factors. In accordance with GOST ISO/IEC 17025-2019, the assessment and accounting of uncertainty are mandatory for testing laboratories conducting analytical control. The relevance of this work lies in providing practical approaches to assessing uncertainty in the photometric determination of corrosion inhibitors to ensure compliance with regulatory requirements and improve the quality of analytical results. **Objectives.** The study is aimed at estimating the measurement uncertainty in the photometric determination of a corrosion inhibitor. **Methods Applied.** A modeling approach has been used to estimate the uncertainty. A mathematical measurement model has been developed, describing the relationship between the measured value and the input parameters. Values have been determined for each input value, and corresponding distribution laws have been assigned. **Originality.** The peculiarity of this work is the comprehensive analysis of the photometric determination procedure, which includes the identification of sources of uncertainty at all stages of measurement using the Ishikawa cause-and-effect diagram. **Result.** The uncertainty sources have been identified and quantified: type A based on observation statistics, and type B based on the assessment of the influence of individual factors. The relative standard uncertainties have been calculated for each measurement stage. An equation for calculating the relative total standard uncertainty has been generated. The relative extended uncertainty has been calculated. The uncertainty budget has been formed to systematize and visualize the results. **Practical Relevance.** The implementation of the study results into the practice of analytical control of inhibitors in the field of oil and gas engineering and the oil and gas industry will ensure compliance with the requirements of GOST ISO/IEC 17025-2019, increase the reliability of measurements, and provide their metrological justification.

Keywords: durability, corrosion, inhibition efficiency, analytical control, reliability of results, cause-and-effect diagram, uncertainty, uncertainty budget

For citation

Sharafieva R.R., Denisova Ya.V., Sopin V.F. Photometric Determination of a Corrosion Inhibitor: the Role of Measurement Uncertainty in Ensuring the Quality of Analytical Studies and Their Results. *Vestnik Magnitogorskogo Gosudarstvennogo Tekhnicheskogo Universiteta im. G.I. Nosova* [Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University]. 2026, vol. 24, no. 1, pp. 123-132. <https://doi.org/10.18503/1995-2732-2026-24-1-123-132>

Введение

Эффективная защита от коррозии является ключевым фактором обеспечения безопасной и надежной эксплуатации нефтегазового оборудования в сфере нефтегазового машиностроения и нефтегазовой отрасли. Коррозионные процессы негативно воздействуют на комплекс объектов, задействованных в добыче, подготовке и транспортировке углеводородов. Согласно статистическим данным, коррозия внутренних и наружных металлических поверхностей является одной из основных причин аварий (до 80 %) и отказов нефтегазового оборудования [1-3].

Химическая защита, также известная как ингибиторная, представляет собой широко распространенный метод предотвращения коррозии нефтегазового оборудования [4-6]. Многообразие факторов, влияющих на коррозию в сложных углеводородных средах

(температура, давление, компонентный состав сред, наличие CO_2 , H_2S , механических примесей, содержание воды и других агрессивных компонентов), определяет отсутствие универсального ингибитора и обуславливает широкий ассортимент реагентов, различающихся по составу и механизму действия [7-9].

Эффективность применения ингибиторов коррозии напрямую зависит от их качества, что обуславливает необходимость акцентирования внимания на контроле качества как самих ингибиторов, так и их содержания в технологических средах. Под качеством ингибитора коррозии понимается комплекс взаимосвязанных свойств, обеспечивающих его эффективность и безопасность применения, и способность сохранять эти свойства на протяжении установленного срока эксплуатации [4].

На входном контроле, как правило, осуществляется лабораторная оценка качества ингибиторов по ряду физико-химических показателей, определяющих технологические и противокоррозионные свойства товарной формы продукта. К таким показателям относятся: массовая доля активного вещества, плотность, кинематическая вязкость, температура застывания и др. [4, 10]. Данные параметры позволяют оценить соответствие ингибитора нормативным требованиям и его пригодность для использования в конкретных условиях.

Периодический контроль содержания ингибитора в технологических средах осуществляется также лабораторным путем в рамках реализации программ коррозионного мониторинга. Практическая эффективность применения ингибиторов коррозии напрямую зависит от достоверности и своевременности результатов аналитического контроля за их концентрацией в технологических средах. Нарушение оптимальной концентрации может приводить к снижению защитного эффекта и, как следствие, к активизации коррозионных процессов. Таким образом, эффективная противокоррозионная защита в нефтегазовых системах неразрывно связана с комплексной системой химико-аналитического контроля, включающей входной контроль качества ингибиторов и мониторинг их концентрации в технологических средах. Аналитический контроль содержания ингибитора коррозии является ключевым элементом коррозионного мониторинга, обеспечивающим основу для принятия обоснованных решений о необходимости корректирующих мероприятий. Учитывая прямую зависимость эффективности защиты от точности аналитических данных, важной задачей становится оценка точности методики определения концентрации ингибитора и, как следствие, достоверности получаемых результатов испытаний.

В соответствии с положениями раздела 7.6 стандарта [11], испытательные лаборатории обязаны оценивать и указывать неопределенность измерений в отчетах об испытаниях, что является необходимым условием подтверждения компетентности. Методологической основой для оценки неопределенности являются стандарт [12] и Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM) [13], которые предлагают общий методологический подход к данной задаче. Однако практическое применение указанных руководств сопряжено с трудностями. Выбор составляющих неопределенности и построения адекватной математической модели, отражающей их вклад и взаимозависимости, в сочетании с недостаточной распространенностью компетенций в области теории вероятностей, математического моделирования и статистики, делают эту задачу непростой для многих испытательных лабораторий [14].

Несмотря на отмеченные сложности, концепция неопределенности измерений все активнее внедряется в практику различных отраслей промышленности.

В частности, она внедрена в газовой отрасли, что подтверждается межгосударственными стандартами [15, 16], регламентирующими методы анализа природного газа. Кроме того, активно осуществляется внедрение оценки неопределенности измерений в области контроля качества пищевой продукции [14, 17, 18], клинических лабораторных исследований [19-22], а также в процессе определения физико-механических характеристик материалов [23, 24] и при поверке и калибровке средств измерений [25-27].

В условиях возрастающей значимости концепции неопределенности измерений и в строгом соответствии с требованиями стандарта [11] становится необходимым внедрение оценки неопределенности в процессы контроля нефтепромысловых реагентов. В частности, это касается нормативной базы, регламентирующей методы испытаний ингибиторов коррозии и других химических реагентов, применяемых в нефтегазовой отрасли. Это позволит повысить точность и достоверность аналитических результатов, что является ключевым фактором для обеспечения стабильного и безопасного функционирования технологического оборудования. Более того, метрологически корректные аналитические данные, получаемые с учетом неопределенности измерений, обеспечивают принятие обоснованных управленческих решений, способствующих минимизации рисков аварий и снижению эксплуатационных затрат.

Целью настоящей работы является оценка неопределенности измерения при фотометрическом определении ингибитора коррозии. Реализация поставленной цели направлена на формирование методологических подходов, способствующих повышению качества аналитических исследований и обеспечению соответствия требованиям международных и национальных стандартов в области метрологического обеспечения и контроля качества.

Анализ точности фотометрического определения

Фотометрическое определение ингибитора коррозии, основанное на экстрагировании комплекса ингибитора с индикатором метиловым оранжевым, представляет собой широко используемый метод количественного анализа. Детальное описание данной методики изложено в стандарте [28] и подробно представлено в научной литературе [4], а также в технических условиях, разработанных производителями ингибиторов. Однако регламентирующие документы не содержат информации о неопределенности измерений, ограничиваясь указанием показателя точности в виде границы погрешности при доверительной вероятности 0,95. При этом наблюдается значительное расхождение в оценке данного показателя.

В стандарте [28] для различных технологических сред приводится значение 9,7-9,8 отн.%, в то время как в научной литературе [4] указывается погрешность определения, не превышающая 20 отн.%. Данное расхождение также подчеркивает необходимость

уточнения характеристик точности фотометрического определения.

Методы исследования

Для оценки неопределенности фотометрического определения применен метод моделирования (модельный подход) согласно Руководству [13], который включает выявление источников неопределенности, построение модели измерения, приписывание законов распределения входным величинам, расчет стандартных и последующих суммарной и расширенной неопределенностей.

Исследование источников неопределенности проводили аналитически. Стандартные неопределенности оценивались двумя способами. Неопределенности по типу А рассчитывались на основании статистической обработки результатов серий измерений, что позволяло оценить вклад случайных факторов. Оценка неопределенностей по типу В, обусловленных систематическими факторами и не поддающихся непосредственной статистической обработке, проводилась на основе априорной информации из паспортов

средств измерений, сопроводительной документации на лабораторную посуду и реактивы и т.д. Результаты количественной оценки источников неопределенности по типу В подробно представлены в первой части данного исследования, опубликованной в работе [29].

Результаты исследования и их обсуждение

С целью идентификации источников неопределенности, сопутствующих фотометрическому определению ингибитора коррозии, был проведен комплексный анализ применяемой методики. В качестве первого этапа анализа была разработана структурная схема процесса определения содержания ингибитора фотометрическим методом (рис. 1), которая позволяет наглядно представить последовательность этапов анализа и взаимосвязи между ними.

Для дальнейшего анализа и визуализации причинно-следственных связей между источниками неопределенности и конечным результатом измерения, а также для систематизированного анализа этих источников была построена и использована диаграмма Исикавы (рис. 2).

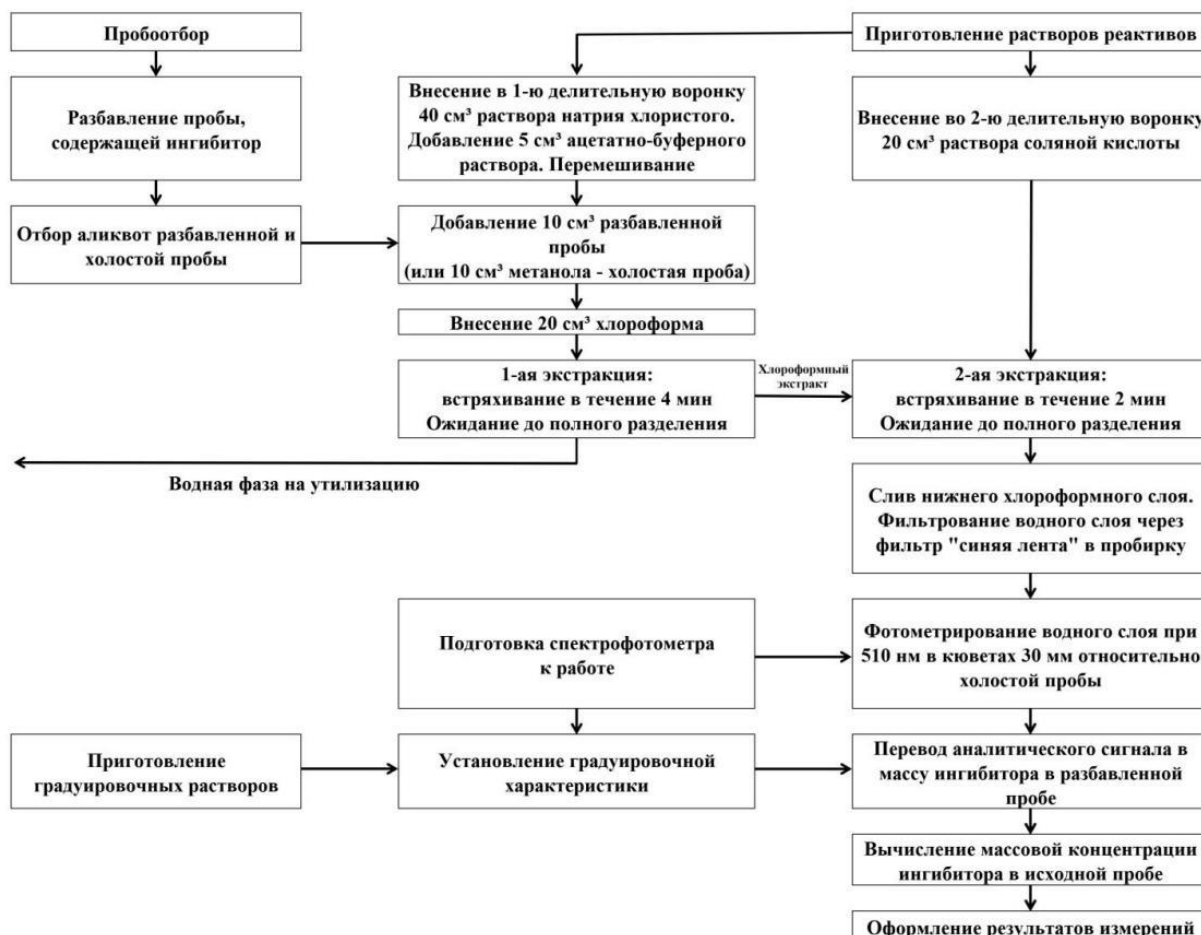


Рис. 1. Последовательность действий при определении ингибитора коррозии фотометрическим методом
Fig. 1. Sequence of actions when determining a corrosion inhibitor by the photometric method

$$u_{x_i}^{\text{отн}} = \frac{a \cdot 100}{\sqrt{3}}. \quad (3)$$

$$u_{x_i}^{\text{отн}} = \frac{a \cdot 100}{\sqrt{6}}. \quad (4)$$

Относительные суммарные неопределенности $u^{\text{отн}}$, %, были вычислены с использованием метода квадратичного суммирования стандартных неопределенностей и последующего извлечения квадратного корня.

2. Неопределенность, обусловленная измерением по градуировочной характеристике. Влияние на точность определения концентрации ингибитора оказывает неопределенность, возникающая при построении градуировочной кривой методом наименьших квадратов. Оценка данной стандартной неопределенности осуществлялась с учетом положений [30] согласно формулам (5)-(7).

$$u_m = \frac{S}{b} \sqrt{\frac{1}{N} + \frac{1}{J} + \frac{(m - \bar{m})^2}{\sum_{j=1}^J (m_j - \bar{m})^2}}, \quad (5)$$

где b – угловой коэффициент градуировочной характеристики, рассчитанный по методу наименьших квадратов в соответствии с Р 1323565.2.002-2022 [31]; N – число измерений m при анализе рабочей пробы; J – общее число замеров сигнала при построении градуировочной характеристики; j – индекс, соответствующий номеру измерения при градуировке; m – масса ингибитора, определенная по градуировочной характеристике, мг; m_j – значение массы ингибитора в градуировочных растворах, мг; \bar{m} – среднее значение массы ингибитора в градуировочных растворах, мг.

$$\bar{m} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n}, \quad (6)$$

где n – число градуировочных растворов; i – индекс, соответствующий номеру градуировочного раствора.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^J (A_j - (b_0 + b \cdot m_j))^2}{J - 2}}, \quad (7)$$

где A_j – j -е значение сигнала от градуировочного раствора; b_0 – свободный член градуировочной характеристики, рассчитанный по методу наименьших квадратов.

Относительную стандартную неопределенность, связанную с использованием многоточечной градуировочной характеристики $u_{\text{гх}}^{\text{отн}}$, %, определяли по формуле

$$u_{\text{гх}}^{\text{отн}} = \frac{100 \cdot u_m}{m}. \quad (8)$$

3. Неопределенность, связанная с повторяемостью измерений (влиянием случайных факторов),

проводилась на основе расчета среднеквадратического отклонения (СКО) результатов измерений. Относительная стандартная неопределенность, обусловленная повторяемостью, определялась по формуле

$$u_{\text{повт}}^{\text{отн}} = \frac{100 \cdot u_{\text{повт}}}{\bar{C}} = \frac{100}{\bar{C}} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (C_i - \bar{C})^2}{k \cdot (k - 1)}}, \quad (9)$$

где C_i – единичное значение концентрации ингибитора, мг/дм³; \bar{C} – среднее значение результатов измерений, мг/дм³; k – количество проведенных измерений.

Выявленные источники неопределенности при определении ингибитора фотометрическим методом и результаты их расчета представлены в **таблице**. В конце таблицы представлены значения относительной суммарной стандартной неопределенности, а также результаты расчета и принятые значения относительной расширенной неопределенности. Относительная суммарная неопределенность $u_c^{\text{отн}}$, %, была рассчитана путем суммирования всех стандартных неопределенностей по типу А ($u_A^{\text{отн}}$, %) и по типу В ($u_B^{\text{отн}}$, %), представленных в относительных единицах, согласно формулам

$$u_c^{\text{отн}} = \sqrt{(u_A^{\text{отн}})^2 + (u_B^{\text{отн}})^2}; \quad (10)$$

$$u_c^{\text{отн}} = \sqrt{\begin{aligned} &(u_{\text{с(быф.р)}}^{\text{отн}})^2 + (u_{\text{с(NaCl)}}^{\text{отн}})^2 + (u_{\text{с(HCl)}}^{\text{отн}})^2 + \\ &+(u_{\text{с(осн.р)}}^{\text{отн}})^2 + (u_{\text{с(ст.р)}}^{\text{отн}})^2 + (u_{\text{с(гп.р)}}^{\text{отн}})^2 + (u_{\text{с(разб)}}^{\text{отн}})^2 + \\ &+(u_{\text{с(Vпр)}}^{\text{отн}})^2 + (u_{\text{с(подг)}}^{\text{отн}})^2 + (u_{\text{гх}}^{\text{отн}})^2 + (u_{\text{повт}}^{\text{отн}})^2 \end{aligned}}. \quad (11)$$

Относительная расширенная неопределенность $U^{\text{отн}}$, %, вычислялась как произведение относительной суммарной стандартной неопределенности на коэффициент охвата $k = 2$ (при уровне доверия 0,95%) по формуле

$$U^{\text{отн}} = k \cdot u_c^{\text{отн}}. \quad (12)$$

Заключение

В рамках данной работы проведена оценка неопределенности измерений при фотометрическом определении ингибитора коррозии. Идентифицированы основные источники неопределенности, выполнен расчет стандартных, суммарной и расширенной неопределенностей, выраженных в относительных единицах. Результатом анализа явилась относительная расширенная неопределенность измерений, составившая 23%. Следует отметить, что представленный бюджет неопределенности не является «исчерпывающим» и может быть пересмотрен в дальнейшем с целью включения дополнительных источников неопределенности, таких как разброс результатов анализа в условиях воспроизводимости, нестабильность пробы и растворов ингибитора, а также особенности пробоотбора и др.

Таблица. Бюджет неопределенности измерений
Table. Measurement uncertainty budget

Обозначение	Источник неопределенности	Оценка неопределенности типа А/В	Значение относительной стандартной неопределенности, %
$u_{c(\text{буф.р})}^{\text{отн}}$	Приготовление ацетатно-буферного раствора	В	0,65
$u_{c(\text{NaCl})}^{\text{отн}}$	Приготовление раствора натрия хлористого	В	0,18
$u_{c(\text{HCl})}^{\text{отн}}$	Приготовление раствора соляной кислоты	В	0,58
$u_{c(\text{осн.р})}^{\text{отн}}$	Приготовление основного раствора	В	4,7
$u_{c(\text{ст.р})}^{\text{отн}}$	Приготовление стандартного раствора	В	0,41
$u_{c(\text{гр.р})}^{\text{отн}}$	Приготовление градуировочных растворов	В	2,7
$u_{c(\text{разб})}^{\text{отн}}$	Разбавление пробы	В	0,80
$u_{c(\text{Vипр})}^{\text{отн}}$	Отбор аликвот пробы	В	0,85
$u_{c(\text{подг})}^{\text{отн}}$	Подготовка проб к измерению	В	0,99
$u_{\text{ГХ}}^{\text{отн}}$	Установление градуировочной характеристики	А	7,5
$u_{\text{повт}}^{\text{отн}}$	Разброс результатов измерений, полученных в условиях повторяемости	А	6,8
$u_c^{\text{отн}}$	Относительная суммарная стандартная неопределенность, %		11,6
$U^{\text{отн}}$	Относительная расширенная неопределенность, %, при $k=2, p=0,95$		23,2
	ПРИНЯТО		23

В результате проведенной оценки неопределенности фотометрического определения содержания ингибитора коррозии было установлено, что значение относительной расширенной неопределенности $U^{\text{отн}}$, %, демонстрирует большее соответствие значению показателя точности, указанному в научной литературе [4] и значительно превышает границы погрешности $\pm\delta$, отн.%, установленные стандартом [28]. Указанное обстоятельство свидетельствует о том, что действующий показатель точности, регламентированный стандартом [28], возможно, не в полной мере отражает реальную точность фотометрического определения в условиях его практического применения. В связи с этим предлагается пересмотреть подход к нормированию точности в стандарте [28], внедрив в него понятие неопределенности измерений, что позволит повысить достоверность результатов измерений и обеспечить принятие более обоснованных управленческих решений в области контроля эффективности ингибирования.

Прописанная в работе процедура оценки неопределенности измерений может быть адаптирована и внедрена в практику испытательных лабораторий, осуществляющих контроль качества ингибиторов коррозии и других реагентов. Кроме того, полученное значение расширенной неопределенности может служить метрологическим обоснованием для результатов фотометрического определения ингибитора коррозии, что важно для обеспечения достоверности и точности данных в нефтегазовом машиностроении и нефтегазовой отрасли.

Список источников

1. Ежегодные отчеты о деятельности Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору [Электронный ресурс]. URL: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (свободный, дата обращения: 01.09.2025).
2. Ингибиторы углекислотной коррозии: современное состояние исследований и разработок / М.В. Чудакова, К.А. Овчинников, Д.Н. Ульянов и др. // Записки Горного института. 2025. Т. 271. С. 3-21.
3. Выявление причин аварий на объектах нефтегазового машиностроения / Шарафиева Р.Р., Денисова Я.В., Сопин В.Ф. // Проблемы машиностроения: современные технологии обработки, материалы, машины, агрегаты: материалы Всероссийской науч.-техн. конф. Махачкала: Дагестанский гос. техн. ун-т, 2024. С. 216-219.
4. Лестев А.Е., Ившин Я.В. Защита нефтегазового оборудования ингибиторами коррозии. Методы испытаний эффективности и физико-химических параметров ингибиторов коррозии: учеб.-метод. пособие. Казань: Изд-во КНИТУ, 2022. 92 с.
5. Downhole corrosion inhibitors for oil and gas production – a review / Askari M., Aliofkhaezrai M., Jafari R. et al. // Applied Surface Science Advances. 2021, vol. 6, 100128. DOI:10.1016/j.apsadv.2021.100128
6. Гайзуллин А.Д., Вагапов Р.К., Запелалов Д.Н. Технологические аспекты применения ингибиторной защиты от коррозии на газовых месторождениях // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2025. № 2 (146). С. 85-92.
7. Коррозия и защита нефтепромышленного оборудования: учеб. пособие / Маркин А.Н., Ткачева В.Э., Дресвян-

- ников А.Ф., Ахметова А.Н. Казань: Изд-во КНИТУ, 2022. 188 с.
8. Ингибиторы коррозии для защиты технологического оборудования нефтепромышленности, эксплуатируемого в сероводородсодержащих средах / Леонтьева М.Е., Агаркова М.О., Демидова Ю.В. и др. // Известия высших учебных заведений. Серия: Химия и химическая технология. 2025. Т. 68. № 7. С. 6-19. DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7213
 9. Ходус А.С., Бурков П.В. Механизмы коррозии и методы ингибиторной защиты оборудования нефтегазовой отрасли // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2024. Т. 14. № 4. С. 348-355. DOI: 10.28999/2541-9595-2024-14-4-348-355
 10. Маркин А.Н., Бриков А.В. Стратегия химизации крупных нефтегазодобывающих предприятий России // Нефтепромысловое дело. 2019. № 3. С. 64-69. DOI: 10.30713/0207-2351-2019-3-64-69
 11. ГОСТ ISO/IEC 17025-2019. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. М.: Стандартинформ, 2021. 25 с.
 12. ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008. Неопределенность измерения. Ч. 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. М.: Стандартинформ, 2018. 104 с.
 13. Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. ISO, Switzerland, 1993. 101 p.
 14. Оценка неопределенности измерения при определении кислотности молока методом с применением индикатора фенолфталеина / Хамханова Д.Н., Дамдинсурэн Э., Дарбакова Н.В., Сундарон Э.М. // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления. 2025. № 2 (97). С. 30-38. DOI 10.53980/24131997_2025_2_30
 15. ГОСТ 31371.7-2020. Газ природный. Определение состава методом газовой хроматографии с оценкой неопределенности. Ч. 7. Методика измерений молярной доли компонентов. М.: Стандартинформ, 2020. 39 с.
 16. ГОСТ 31369-2021 (ISO 6976:2016). Газ природный. Вычисление теплоты сгорания, плотности, относительной плотности и числа Воббе на основе компонентного состава. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 43 с.
 17. Оценка неопределенности измерений при определении содержания жира в молоке. Стандартный метод / Д.Н. Хамханова, Н.В. Митыпова, Ф.П. Балдынова, Э. Дамдинсурэн // Контроль качества продукции. 2023. № 7. С. 33-37.
 18. Оценка неопределенности измерения при определении содержания жира в молоке. Метод с использованием анализатора типа «Клевер-2» / Д.Н. Хамханова, Н.В. Митыпова, Ф.П. Балдынова, Э. Дамдинсурэн // Контроль качества продукции. 2023. № 8. С. 38-42.
 19. Оценка неопределенности результатов измерений при определении потери в массе при высушивании биологических лекарственных препаратов / Фадейкина О.В., Воробаев А.А., Давыдов Д.С., Волкова Р.А. // Биопрепараты. Профилактика, диагностика, лечение. 2023. Т. 23. № 3-1. С. 452-462. DOI: 10.30895/2221-996X-2023-23-3-1-452-462
 20. Мельникова О.А., Дедюхина А.В., Мельников М.Ю. Методика определения неопределенности при калибровке ВЭЖХ на примере кофеина // Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики. 2024. № 5. С. 47-58. DOI: 10.24412/2312-2935-2024-5-47-58
 21. Чуновкина А.Г. Оценка неопределенности измерений при установлении метрологической прослеживаемости результатов клинических исследований биологических проб. Лабораторная служба. 2020. № 9 (3). С. 32-40. DOI: 10.17116/labs2020903132
 22. Оценка неопределенности измерений в лабораторной медицине / Чуновкина А.Г., Тумилович А.А., Степанов А.В. и др. // Измерительная техника. 2022. № 7. С. 69-74. DOI: 10.32446/0368-1025it.2022-7-69-74
 23. Троеглазова А.В. Оценка неопределенности методики сорбционно-фотометрического определения содержания рения (VII) // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2022. № 2. С. 24-31.
 24. Алексеев А.В., Якимович П.В. Оценка бюджетов неопределенности при анализе никеля методами ИСП-МС и масс-спектрометрии высокого разрешения с тлеющим разрядом // Вестник Московского университета. Сер. 2. Химия. Т. 63. № 4. С. 283-293.
 25. Разработка процедуры оценивания неопределенности результатов измерений весов лабораторных электронных / М.Н. Белая, Е.Ф. Бариева, М. Коршунова и др. // Наука и бизнес: пути развития. 2025. № 4 (166). С. 141-145.
 26. Хан С.Г., Федоренко И.А. Методы оценивания неопределенности медицинских измерений и их применение при калибровке средств измерений // Биомедицинская радиоэлектроника. 2024. Т. 27. № 2. С. 75-79. DOI: 10.18127/j15604136-202402-10
 27. Мишура Т.П. Точностные характеристики средств измерений силы переменного электрического тока в соответствии с концепцией неопределенности // Актуальные проблемы экономики и управления. 2024. № 4 (44). С. 3-6.
 28. СТО Газпром 9.3-004-2009. Защита от коррозии. Методика выполнения измерений массовой концентрации азотсодержащих ингибиторов коррозии в жидких углеводородах, пластовой воде и водометанольных растворах. М.: ООО «Газпром экспо», 2009. 23 с.
 29. Шарафиева Р.Р., Денисова Я.В., Соико А.И. Оценка неопределенности измерений при контроле азотсодержащих ингибиторов коррозии // Наука и технологии трубопроводного транспорта нефти и нефтепродуктов. 2025. Т. 15. № 3. С. 280-288. DOI: 10.28999/2541-9595-2025-15-3-280-288
 30. QUAM:2012.P1-RU. Руководство ЕВРАХИМ/СИТАК CG4. Количественное описание неопределенности в аналитических измерениях. 3-е изд. 165 с.
 31. Р 1323565.2.002-2022. Государственная система обеспечения единства измерений. Алгоритмы построения градуировочных характеристик средств измерений состава веществ и материалов и оценивание их погрешностей (неопределенностей). Оценка погрешности (неопределенности) линейных градуировочных характеристик при использовании метода наименьших квадратов. М.: Российский институт стандартизации, 2023. 16 с

References

- Annual report on the activities of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision Service. Available at: https://www.gosnadzor.ru/public/annual_reports/ (Accessed on September 01, 2025).
- Chudakova M.V., Ovchinnikov K.A., Ulyanov D.N. et al. Inhibitors of carbon dioxide corrosion: current state of research and development. *Zapiski Gornogo Instituta* [Journal of Mining Institute]. 2025;271:3-21. (In Russ.)
- Sharafieva R.R., Denisova Ya.V., Sopin V.F. Identification of causes of accidents at oil and gas engineering facilities. *Problemy mashinostroeniya: sovremennye tekhnologii obrabotki, materialy, mashiny, agregaty. Materialy Vserossiyskoy nauch.-tekhn. konferentsii* [Problems of mechanical engineering: modern processing technologies, materials, machinery, units. Proceedings of the All-Russian Scientific and Technical Conference]. Makhachkala: Dagestan State Technical University, 2024, pp. 216-219. (In Russ.)
- Lestev A.E., Ivshin Ya.V. Zashchita neftegazovogo oborudovaniya ingibitorami korrozii. *Metody ispytaniy effektivnosti i fiziko-khimicheskikh parametrov ingibitorov korrozii: uchebno-metodicheskoe posobie* [Protection of oil and gas equipment with corrosion inhibitors. Methods for testing the effectiveness and physicochemical parameters of corrosion inhibitors: study guide]. Kazan: Publishing House of KNITU, 2022, 92 p. (In Russ.)
- Askari M., Aliofkhaezai M., Jafari R. et al. Downhole corrosion inhibitors for oil and gas production – a review. *Appl. Surf. Sci. Adv.* 2021;6:100128. DOI:10.1016/j.apsadv.2021.100128
- Gayzullin A.D., Vagapov R.K., Zapevalov D.N. Technological aspects of applying corrosion inhibitor protection at gas fields. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa* [Equipment and Technologies for the Oil and Gas Complex]. 2025;(2(146)):85-92. (In Russ.)
- Markin A.N., Tkacheva V.E., Dresvyannikov A.F., Akhmetova A.N. *Korroziya i zashchita neftepromyslovogo oborudovaniya: uchebnoe posobie* [Corrosion and protection of oilfield equipment: textbook]. Kazan: Publishing House of KNITU, 2022, 188 p. (In Russ.)
- Leontieva M.E., Agarkova M.O., Demidova Yu.V. et al. Corrosion inhibitors for protection of oilfield equipment operating in hydrogen sulfide environments. *Izvestiya vyzshikh uchebnykh zavedenii. Seriya khimiya i khimicheskaya tekhnologiya* [News of Higher Educational Institutions. Chemistry and Chemical Technology]. 2025;68(7):6-19. (In Russ.) DOI: 10.6060/ivkkt.20256807.7213
- Khodus A.S., Burkov P.V. Corrosion mechanisms and inhibitor protection methods for oil and gas industry equipment. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefii i neftiproduktov* [Science and Technology of Pipeline Transport of Oil and Oil Products]. 2024;14(4):348-355. (In Russ.) DOI: 10.28999/2541-9595-2024-14-4-348-355
- Markin A.N., Brikov A.V. Strategy of chemicalization of large oil and gas enterprises in Russia. *Neftepromyslovoe delo* [Oilfield Business]. 2019;(3):64-69. (In Russ.) DOI: 10.30713/0207-2351-2019-3-64-69
- State standard GOST ISO/IEC 17025-2019. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. Moscow: Standartinform Publishing House, 2021, 25 p. (In Russ.)
- State standard GOST 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008. Uncertainty of measurement. Part 3. Guide to the expression of uncertainty in measurement. Moscow: Standartinform Publishing House, 2018, 104 p. (In Russ.)
- Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement: First edition. ISO, Switzerland, 1993, 101 p.
- Khamkhanova D.N., Damdinsuren E., Darbakova N.V., Sundaron E.M. Estimation of measurement uncertainty in milk acidity determination using phenolphthalein indicator method. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo Gosudarstvennogo Universiteta Tekhnologii i Upravleniya* [Bulletin of East-Siberian State University of Technology and Management]. 2025;(2(97)):30-38. (In Russ.) DOI: 10.53980/24131997_2025_2_30
- State standard GOST 31371.7-2020. Natural gas. Determination of composition by gas chromatography with uncertainty evaluation. Part 7. Measurement methods for molar fraction of components. Moscow: Standartinform Publishing House, 2020, 39 p. (In Russ.)
- State standard GOST 31369-2021 (ISO 6976:2016). Natural gas. Calculation of calorific value, density, relative density and Wobbe index based on component composition. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2021, 43 p. (In Russ.)
- Khamkhanova D.N., Mitypova N.V., Baldynova F.P., Damdinsuren E. Estimation of measurement uncertainty in fat content determination in milk. *Standard method. Kontrol Kachestva Produktsii* [Product Quality Control]. 2023;(7):33-37. (In Russ.)
- Khamkhanova D.N., Mitypova N.V., Baldynova F.P., Damdinsuren E. Estimation of measurement uncertainty in fat content determination in milk by Clover-2 analyzer method. *Kontrol Kachestva Produktsii* [Product Quality Control]. 2023;(8):38-42. (In Russ.)
- Fadeykina O.V., Voropaev A.A., Davydov D.S., Volkova R.A. Estimation of uncertainty of measurement results for mass loss determination upon drying of biological medicinal products. *Biopreparaty. Profilaktika, diagnostika, Llechenie* [Biological Preparations. Prevention, Diagnosis, Treatment]. 2023;23(3-1):452-462. (In Russ.) DOI: 10.30895/2221-996X-2023-23-3-1-452-462
- Melnikova O.A., Dedyukhina A.V., Melnikov M.Yu. Procedure for estimation of uncertainty in HPLC calibration on the example of caffeine. *Sovremennye problemy zdoravookhraneniya i meditsinskoy statistiki* [Modern problems of healthcare and medical statistics]. 2024;(5):47-58. DOI: 10.24412/2312-2935-2024-5-47-58
- Chunovkina A.G. Estimation of measurement uncertainty in establishing metrological traceability of clinical biological sample test results. *Laboratornaya sluzhba* [Laboratory Service]. 2020;(9(3)):32-40. (In Russ.) DOI: 10.17116/labs2020903132
- Chunovkina A.G., Tumilovich A.A., Stepanov A.V. et al. Estimation of measurement uncertainty in laboratory medicine. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement techniques]. 2022;(7):69-74. (In Russ.) DOI: 10.32446/0368-1025it.2022-7-69-74
- Troglazova A.V. Uncertainty estimation of sorption-photometric method for rhenium (VII) content determina-

- tion. *Vestnik Voronezhskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* [Bulletin of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy]. 2022;(2):24-31. (In Russ.)
24. Alekseev A.V., Yakimovich P.V. Uncertainty budget assessment for nickel analysis by ICP-MS and high-resolution glow discharge mass spectrometry. *Vestnik Moskovskogo Universiteta. Seriya 2. Khimiya* [Moscow University Bulletin. Series 2. Chemistry]. 2022;63(4):283-293. (In Russ.)
 25. Belaya M.N., Barieva E.F., Korshunova M. et al. Development of procedure for uncertainty estimation of laboratory electronic balance measurement results. *Nauka i biznes: puty razvitiya* [Science and business: ways of development]. 2025;(4(166)):141-145. (In Russ.)
 26. Khan S.G., Fedorenko I.A. Methods for estimation of uncertainty in medical measurements and their application in measurement instruments calibration. *Biomeditsinskaya radioelektronika* [Biomedical radioelectronics]. 2024;27(2):75-79. (In Russ.) DOI: 10.18127/j15604136-202402-10
 27. Mishura T.P. Accuracy characteristics of means for measuring alternating electric current force according to the uncertainty concept. *Aktualnye problemy ekonomiki i upravleniya* [Current Problems of Economics and Management]. 2024;(4(44)):3-6. (In Russ.)
 28. Standard STO Gazprom 9.3-004-2009. Corrosion protection. Procedure for measuring mass concentration of nitrogen-containing corrosion inhibitors in liquid hydrocarbons, formation water and water-methanol solutions. Moscow: Gazprom Expo, 2009, 23 p. (In Russ.)
 29. Sharafieva R.R., Denisova Ya.V., Soyko A.I. Uncertainty evaluation of measurements in the control of nitrogen-containing corrosion inhibitors. *Nauka i tekhnologii truboprovodnogo transporta nefii i nefteproduktov* [Science and technologies of pipeline transport of oil and petroleum products]. 2025;15(3):280-288. (In Russ.) DOI: 10.28999/2541-9595-2025-15-3-280-288.
 30. QUAM:2012.P1-RU. EURACHEM/SITAC CG4 Guide. Quantitative Description of Uncertainty in Analytical Measurements. 165 p.
 31. P 1323565.2.002-2022. State system for ensuring the uniformity of measurements. Algorithms for constructing calibration characteristics of measuring instruments for the composition of substances and materials and estimation of their errors (uncertainties). Estimation of the error (uncertainty) of linear calibration characteristics using the least squares method. Moscow: Russian Institute of Standardization, 2023, 16 p. (In Russ.).

Поступила 03.10.2025; принята к публикации 18.11.2025; опубликована 31.03.2026
Submitted 03/10/2025; revised 18/11/2025; published 31/03/2026

Шарафиева Регина Рафгатовна – соискатель, кафедра аналитической химии, сертификации и менеджмента качества,
Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия.
Email: regina94sh19@gmail.com. ORCID 0009-0009-9699-7434

Денисова Яна Владимировна – кандидат экономических наук, доцент кафедры аналитической химии, сертификации и менеджмента качества,
Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия.
Email: yana-denisova@inbox.ru. ORCID 0000-0003-1242-6909

Сопин Владимир Федорович – доктор химических наук, профессор кафедры аналитической химии, сертификации и менеджмента качества,
Казанский национальный исследовательский технологический университет, Казань, Россия.
Email: vlad_sopin24@rambler.ru. ORCID 0000-0002-9112-2550

Regina R. Sharafieva – degree-seeking applicant, Department of Analytical Chemistry, Certification and Quality Management,
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.
Email: regina94sh19@gmail.com. ORCID 0009-0009-9699-7434

Yana V. Denisova – PhD (Eng.), Associate Professor, Department of Analytical Chemistry, Certification and Quality Management,
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.
Email: yana-denisova@inbox.ru. ORCID 0000-0003-1242-6909

Vladimir F. Sopin – DrSc (Eng.), Professor, Department of Analytical Chemistry, Certification and Quality Management,
Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia.
Email: vlad_sopin24@rambler.ru. ORCID 0000-0002-9112-2550