

МРНТИ 68.75.03  
УДК 339.56  
DOI 10.64513 Smart/2025.2.14

# НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ ИЗМЕРЕНИЙ УРОВНЕМЕРОВ

Есентасов Б.К.

*РГП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», Актобе, Казахстан*

## Аннотация

В данной статье рассматриваются источники и методы оценки неопределённости измерений, возникающие при использовании уровнемеров различных типов. Представлен системный подход к классификации составляющих неопределённости, включая влияющие физические и эксплуатационные факторы. Освещены как теоретические аспекты оценки, основанные на методологии GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement), так и практические примеры расчёта составной неопределённости при измерении уровня жидкостей. Отдельное внимание уделено влиянию неопределённости на точность учётных и технологических операций, а также приведены рекомендации по её снижению. Материал предназначен для специалистов, занимающихся метрологическим обеспечением измерений уровня в промышленности.

**Ключевые слова:** Уровнемер, измерение уровня, неопределённость измерений, составная неопределённость, метрология, калибровка, резервуар, радарный уровнемер, гидростатический метод, погрешность, учёт жидкостей.

## Введение

Современные технологические процессы во многих отраслях промышленности требуют точного и непрерывного контроля уровня жидкостей и сыпучих материалов. Такие измерения являются основой для управления процессами, обеспечения безопасности, расчёта материальных балансов, а также проведения коммерческих и налоговых операций. Независимо от типа используемого уровнемера – будь то радарный, ультразвуковой, гидростатический или иной – точность получаемых данных оказывает прямое влияние на эффективность производства, экологическую безопасность и экономическую обоснованность решений.

В последние десятилетия наблюдается активное развитие систем автоматизированного учёта и диспетчеризации, в которых данные об уровне становятся критически важными. Это особенно актуально для таких сфер, как нефтегазовая отрасль, химическая промышленность, пищевая переработка, водоснабжение, транспортировка и хранение жидких энергоносителей. В этих условиях внимание к метрологическим характеристикам измерительной техники выходит на первый план, и среди них особое место занимает

неопределённость измерений.

Неопределённость измерения представляет собой параметр, характеризующий диапазон значений, в пределах которого с заданной вероятностью находится истинное значение измеряемой величины. В отличие от простой погрешности, она учитывает как случайные, так и систематические компоненты, отражая полный спектр влияющих факторов. Чёткое понимание и корректное выражение неопределённости позволяет не только повысить доверие к измерениям, но и соблюсти международные стандарты в области качества (например, ISO/IEC 17025, ISO 9001).

Цель настоящей статьи – систематизировать подходы к оценке неопределённости измерений, проводимых с использованием уровнемеров, и продемонстрировать их практическое значение на конкретных примерах. В работе рассмотрены классификация уровнемеров, основные источники погрешностей, принципы расчёта составной и расширенной неопределённости согласно методологии GUM, а также даны рекомендации по снижению влияния неопределённости в реальных условиях эксплуатации.

В зависимости от физического принципа действия уровнемеры можно разделить на

следующие основные группы:

Ультразвуковые уровнемеры – измеряют время прохождения ультразвукового сигнала от излучателя до поверхности жидкости и обратно.

Радарные уровнемеры – используют микроволновое излучение, отражённое от поверхности среды.

Гидростатические уровнемеры – измеряют давление столба жидкости, пропорциональное уровню.

Поплавковые уровнемеры – основаны на механическом перемещении поплавка по мере изменения уровня.

Ёмкостные уровнемеры – фиксируют изменение электрической ёмкости в зависимости от уровня.

Каждый тип имеет свою область применения, диапазон измерений, чувствительность к внешним условиям и, как следствие, специфические источники неопределённости.

Оценка неопределённости начинается с идентификации её источников. Их можно разделить на следующие категории: систематические и случайные ошибки.

Систематические ошибки:

Калибровка прибора – отклонения, возникающие из-за недостаточно точного соответствия показаний уровнемера действительным значениям.

Температурные влияния – изменение скорости звука (в ультразвуковых) или диэлектрической проницаемости (в радарных) при изменении температуры.

Геометрия резервуара – искажения сигнала или неправильный расчёт объёма при некорректном вводе формы резервуара.

Случайные ошибки:

Флуктуации поверхности – движение жидкости, рябь, пульсации.

Электрические шумы и помехи – особенно актуальны для электронных уровнемеров.

Влияние оператора – субъективность при визуальной интерпретации или ручном вводе данных.

### **Методология оценки неопределённости**

Оценка неопределённости измерений является важнейшим элементом метрологического обеспечения и обеспечения достоверности результатов. Согласно международному стандарту ISO/IEC 17025, каждая испытательная или калибровочная лаборатория обязана идентифицировать, оценивать и документировать неопределённость для всех измерений, в которых

она оказывает влияние на результаты.

В качестве методологической базы для оценки неопределённости используется Руководство по выражению неопределённости в измерениях (GUM), в котором представлен универсальный подход к определению и объединению всех источников неопределённости.

Процесс оценки включает несколько ключевых этапов:

Идентификация влияющих факторов. Необходимо определить все возможные источники неопределённости, которые могут повлиять на результат измерения. Это могут быть как технические (точность прибора, калибровка), так и внешние (температура, влажность, вибрации) или организационные (квалификация персонала, методика измерений).

Классификация компонентов неопределённости. Влияющие факторы подразделяются на два основных типа:

Тип А – оценка на основе статистического анализа серии наблюдений.

Тип В – оценка на основе другой информации: паспортные характеристики приборов, сертификаты калибровки, нормативные документы, экспертные оценки и т.п.

Оценка каждой составляющей. Каждому источнику приписывается численное значение стандартной неопределённости, выражающее степень его влияния. Эта оценка должна быть основана на достоверных и верифицированных данных.

Объединение составляющих неопределённости. Все значимые источники объединяются для определения составной стандартной неопределённости. На этом этапе учитываются также коэффициенты чувствительности, если результат измерения зависит от нескольких величин.

Расширение оценки. После получения составной стандартной неопределённости она масштабируется с использованием коэффициента охвата, который определяет доверительный уровень результата. Это позволяет представить итоговую неопределённость в виде интервала, в пределах которого с высокой вероятностью находится истинное значение измеряемой величины.

Документирование и пересмотр. Вся процедура оценки должна быть задокументирована: указываются использованные источники, методы расчёта, допущения и обоснования. При изменении условий, методик или

оборудования необходимо пересматривать и актуализировать оценку неопределённости.

Применение данного подхода обеспечивает прозрачность, воспроизводимость и сопоставимость результатов измерений. Оно также необходимо для демонстрации технической компетентности лаборатории, соответствия международным требованиям и повышения доверия к результатам измерений со стороны потребителей, контролирующих органов и партнёров.

Для более глубокого понимания методики оценки неопределённости в практическом применении, целесообразно рассмотреть типовые примеры расчётов для различных типов уровнемеров. Ниже приводятся качественные описания расчётов, отражающих общий подход без привязки к конкретным числовым данным.

1) Радарный уровнемер в вертикальном резервуаре

В данном случае ключевыми составляющими неопределённости являются:

- нестабильность диэлектрической проницаемости продукта;
- температурное расширение стенок резервуара;
- точность внутренней калибровки прибора;
- отражения от стенок или элементов конструкции внутри резервуара.

Каждый из этих факторов оценивается либо на основании данных производителя (тип В) и по статистике повторных измерений (тип А). После определения стандартных неопределённостей осуществляется их объединение и расчёт расширенной неопределённости для уровня жидкости.

2) Гидростатический уровнемер в подземной ёмкости

Типичными источниками неопределённости будут:

- стабильность датчика давления;
- влияние температуры на плотность жидкости;
- точность положения нуля;
- колебания плотности при изменении температуры окружающей среды.

Дополнительно учитывается влияние не идеальности формы резервуара на объёмные расчёты. Для полной оценки необходима информация из поверки прибора, температурные зависимости и регулярный контроль.

3) Ультразвуковой уровнемер на открытом резервуаре

На открытых резервуарах источниками неопределённости могут быть:

- колебания уровня от ветра или вибрации;
- нестабильность скорости звука в воздухе (зависит от температуры, влажности);
- загрязнение отражающей поверхности;
- углы установки излучателя.

После оценки всех составляющих производится их объединение с использованием формул корневого суммирования, что даёт общее значение стандартной неопределённости.

Оценка неопределённости является не только технической процедурой, но и важным элементом управления качеством и рисками. В контексте уровнемеров она позволяет:

- принимать обоснованные решения по выбору приборов и методик;
- контролировать стабильность технологических процессов;
- обосновывать достоверность данных при коммерческом учёте;
- снижать риски несоответствия нормативным требованиям;
- демонстрировать компетентность в рамках аккредитации по ISO/IEC 17025.

Правильное управление неопределённостью позволяет оптимизировать процессы, избежать завышенной точности (и затрат) там, где она не требуется, и усилить контроль в критичных зонах. Это особенно важно в отраслях с высокими требованиями к безопасности, экологическим стандартам и точности отчётности.

## Заключение

Оценка неопределённости измерений уровнемеров является неотъемлемой частью современного метрологического подхода. В статье показано, что источники неопределённости многообразны и зависят как от физических характеристик среды и резервуара, так и от особенностей прибора и условий эксплуатации.

Применение методологии, основанной на GUM и ISO/IEC 17025, позволяет системно и обоснованно оценить совокупную неопределённость и использовать эти данные для повышения надёжности измерений. Практическое значение такой оценки выражается в более точных расчётах, снижении коммерческих и технических рисков, а также в росте доверия со стороны регуляторов и потребителей.

Будущие исследования могут быть направлены на разработку автоматизированных

систем оценки неопределённости, интегрированных в измерительные комплексы, а также на создание типовых методик оценки для различных отраслей и условий эксплуатации уровнемеров. 96 с.

### Список источников

1. ГОСТ ISO/IEC 17025–2019. Государственная система обеспечения единства измерений. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий. — М.: Стандартиформ, 2019. — 33 с.
2. JCGM 100:2008. Оценивание данных измерений. Руководство по выражению неопределенности измерения (GUM). — Женева: ИСО, 2008. — 120 с.
3. ГОСТ 8.417–2002. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин. — М.: Изд-во стандартов, 2002. — 15 с.
4. СТ РК 2.1–2018. Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Термины и определения. — Астана: Комитет технического регулирования и метрологии МИНТ РК, 2018. — 20 с.
5. ГОСТ ISO/IEC Guide 98-4–2023. Неопределенность измерений. Часть 4. Роль неопределенности при оценке соответствия. — М.: Стандартиформ, 2023. — 24 с.
6. ГОСТ 8.010–2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Методики выполнения измерений. Основные положения. — М.: Стандартиформ, 2013. — 16 с.
7. РМГ 91–2019. Государственная система обеспечения единства измерений. Использование понятий «погрешность измерения» и «неопределенность измерений». Общие принципы. — М.: Росстандарт, 2019. — 13 с.
8. СТ РК 2.184–2010. Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Оценка неопределенности при калибровке/поверке средств измерений. — Астана: КТРМ РК, 2010. — 22 с.
9. СТ РК 2.317–2015. Государственная система обеспечения единства измерений Республики Казахстан. Выражение неопределенности и достоверности результатов измерений. — Астана: КТРМ РК, 2015. — 18 с.
10. Марков Е. А. Практическое руководство по оценке неопределённости измерений. — М.: Стандарты и качество, 2017. —

### References

1. GOST ISO/IEC 17025–2019. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories. — Moscow: Standartinform, 2019. — 33 p.
2. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data — Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM). — Geneva: ISO, 2008. — 120 p.
3. GOST 8.417–2002. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Units of measurement. — Moscow: Standards Publishing, 2002. — 15 p.
4. ST RK 2.1–2018. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements of the Republic of Kazakhstan. Terms and definitions. — Astana: Committee for Technical Regulation and Metrology of the Ministry of Industry and New Technologies of the Republic of Kazakhstan, 2018. — 20 p.
5. GOST ISO/IEC Guide 98-4–2023. Uncertainty of measurement — Part 4: Role of measurement uncertainty in conformity assessment. — Moscow: Standartinform, 2023. — 24 p.
6. GOST 8.010–2013. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Measurement procedures. Basic provisions. — Moscow: Standartinform, 2013. — 16 p.
7. RMG 91–2019. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements. Use of the concepts "measurement error" and "measurement uncertainty". General principles. — Moscow: Rosstandart, 2019. — 13 p.
8. ST RK 2.184–2010. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements of the Republic of Kazakhstan. Evaluation of uncertainty during calibration/verification of measuring instruments. — Astana: KTRM RK, 2010. — 22 p.
9. ST RK 2.317–2015. State System for Ensuring the Uniformity of Measurements of the Republic of Kazakhstan. Expression of uncertainty and reliability of measurement results. — Astana: KTRM RK, 2015. — 18 p.
10. Markov E. A. Practical Guide to the Evaluation of Measurement Uncertainty. — Moscow: Standards and Quality Publishing, 2017. — 96 p.

**Есентасов Б.К.**

*«Қазақстан стандарттау және метрология институты» РМК, Ақтөбе, Қазақстан*

## **ДЕҢГЕЙ ӨЛШЕГІШТЕРДІҢ ӨЛШЕУ БЕЛГІСІЗДІГІ**

### **Аңдатпа**

Бұл мақалада түрлі деңгейөлшегіштерді қолдану кезінде туындайтын өлшеу белгісіздігінің көздері мен оларды бағалау әдістері қарастырылады. Белгісіздік компоненттерін жүйелі түрде жіктеу тәсілі ұсынылады, соның ішінде физикалық және пайдалану факторларының әсері көрсетіледі. GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) әдістемесіне негізделген теориялық аспектілермен қатар, сұйықтық деңгейін өлшеу кезінде жиынтық белгісіздікті есептеу мысалдары келтіріледі. Белгісіздіктің өндірістік және есептік операциялардың дәлдігіне әсері бөлек қарастырылады, сондай-ақ оны төмендету бойынша ұсыныстар берілген. Материал өнеркәсіптегі деңгей өлшеулерін метрологиялық қамтамасыз етумен айналысатын мамандарға арналған.

**Түйін сөздер:** Деңгей өлшегіш, деңгей өлшеу, өлшеу белгісіздігі, жиынтық белгісіздік, метрология, калибрлеу, резервуар, радарлы деңгей өлшегіш, гидростатикалық әдіс, қате, сұйықтықты есепке алу.

**Yessentassov B.K.**

*«Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology» RSE, Aktobe, Kazakhstan*

## **MEASUREMENT UNCERTAINTY OF LEVEL GAUGES**

### **Abstract**

This article examines the sources and evaluation methods of measurement uncertainty associated with various types of level gauges. A systematic approach to classifying the components of uncertainty is presented, including the influence of physical and operational factors. Both theoretical aspects, based on the GUM (Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement) methodology, and practical examples of calculating combined uncertainty in liquid level measurement are discussed. Special attention is given to the impact of uncertainty on the accuracy of accounting and technological operations, along with recommendations for its reduction. The material is intended for professionals involved in the metrological support of level measurement in industry.

**Key words:** Level gauge, level measurement, measurement uncertainty, combined uncertainty, metrology, calibration, tank, radar level gauge, hydrostatic method, error, liquid accounting.