

*Р. Ю. Курносов, Т. И. Чернышова*

## МЕТРОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПРОЦЕДУРЫ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПРИ ОЦЕНКЕ ИХ МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ

*R. Yu. Kurnosov, T. I. Chernyshova*

## METROLOGICAL ANALYSIS OF THE MEASUREMENT PROCEDURE OF ANALOG-DIGITAL CONVERSION IN INFORMATION-MEASURING SYSTEMS IN THE EVALUATION OF THEIR METROLOGICAL RELIABILITY

**А н н о т а ц и я. Актуальность и цели.** Объектом исследования является блок аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительных систем. Предметом исследования является метрологическая надежность блока аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительных систем. Целью работы является получение математического описания метрологической характеристики аналого-цифрового преобразователя на этапе его проектирования для прогнозирования метрологической надежности рассматриваемого блока. **Материалы и методы.** Рассмотрены два подхода к оценке МН АЦП: первый – с применением метода аналитико-вероятностного прогнозирования и второй – с применением метода метрологического анализа, основанного на использовании априорных знаний в виде уравнений измерений и математических моделей объектов, условий и средств измерений. **Результаты.** Использование метода аналитико-вероятностного прогнозирования позволило получить математическую модель основной погрешности одного из ведущих модулей в структуре блока АЦП. Построенная математическая модель позволит рассчитать показатели МН рассматриваемого модуля и в дальнейшем дать вероятностную оценку МН проектируемого блока в целом. Полученное математическое описание погрешности блока с применением уравнений измерений позволяет провести метрологический анализ и расчет основной погрешности исследуемого блока в различные моменты времени предстоящей эксплуатации и в перспективе также оценить показатели МН исследуемого блока. **Выводы.** Построение математических моделей исследуемых метрологических характеристик и проведение метрологического анализа с получением требуемых расчетных соотношений позволяет решить задачу оценки метрологической надежности блока аналого-цифрового преобразования в структуре информационно-измерительных систем.

**A b s t r a c t. Background.** The object of research is the block of the analog-to-digital Converter block in the structure of information and measurement systems. The subject of the study is the metrological reliability of the analog-to-digital Converter block in the structure of information and measurement systems. The purpose of this work is to obtain a mathematical description of the evaluation of the metrological characteristics of an analog-to-digital Converter at the design stage in order to predict the metrological reliability of the block under consideration. Methods. Two approaches to the estimation of ADC MN are considered: the first one us-

ing the method of analytical-probabilistic forecasting and the second one using the method of metrological analysis based on the use of a priori knowledge in the form of measurement equations and mathematical models of objects, conditions and measuring instruments. **Materials and methods.** Two approaches to the estimation of ADC MN are considered: the first one using the method of analytical-probabilistic forecasting and the second one using the method of metrological analysis based on the use of a priori knowledge in the form of measurement equations and mathematical models of objects, conditions and measuring instruments. **Results.** Using the analytical-probabilistic forecasting method, it was possible to obtain a mathematical model of the basic error of one of the leading modules in the ADC block structure. The constructed mathematical model will allow us to calculate the MN indicators of the module under consideration and in the future give a probabilistic assessment of the MN of the designed block as a whole. The obtained mathematical description of the block error with the use of measurement equations allows for metrological analysis and calculation of the total error of the block under study at various times of the upcoming operation and, in the future, also to evaluate the MN indicators of the block under study. **Conclusions.** Construction of mathematical models of the studied metrological characteristics and carrying out metrological analysis with obtaining the required calculation ratios allows us to solve the problem of evaluating the metrological reliability of the analog-to-digital conversion unit in the structure of information and measurement systems.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** аналого-цифровой блок, метрологическая надежность, метрологический ресурс, метрологический анализ, информационно-измерительная система.

**К e y w o r d s:** analog-digital unit, metrological reliability, metrological resource, metrological analysis, information and measurement system.

### Введение

Важнейшим показателем качества средств измерений, и в том числе информационно-измерительных систем (ИИС), является метрологическая надежность (МН), характеризующаяся способностью измерительных средств сохранять во времени метрологические характеристики (МХ) в пределах установленных норм при эксплуатации, техническом обслуживании и хранении.

Как известно, метрологическая надежность блоков, составляющих измерительный канал (ИК) информационно-измерительных систем, в конечном итоге однозначно определяет МН ИИС в целом. В современной структуре измерительного канала информационно-измерительных систем важное место занимает аналого-цифровой преобразователь (АЦП), который характеризуется высокой точностью, сложностью и важностью выполняемых функций [1]. Вопрос оценки показателей метрологической надежности данного блока является весьма важным для оценки МН ИИС в целом. Показателем метрологической надежности аналого-цифрового преобразователя в структуре информационно-измерительных систем является вероятность сохранения метрологической исправности в произвольный момент времени эксплуатации метрологический ресурс (МР), определяемый временем пересечения реализаций нестационарного случайного процесса изменения во времени МХ границ поля допуска [2, 9].

Определение указанных показателей метрологической надежности упомянутого выше блока и информационно-измерительных систем в целом на стадии их проектирования однозначно предполагает проведение метрологического анализа (МА), основанного на формировании аналитического описания исследуемых метрологических характеристик [4–7]. Как правило, в качестве исследуемых МХ, позволяющих определить искомый показатель МН аналогового блока (АБ), выступают относительная и абсолютная погрешности проектируемого блока [8]. Поэтому метрологический анализ направлен на определение требуемых математических соотношений для расчета погрешности рассматриваемого аналогового блока в процессе предстоящей эксплуатации. Очевидно, основным путем оценки метрологической надежности аналоговых блоков в рассматриваемых условиях является математическое моде-

лирование измерительной процедуры аналого-цифрового преобразователя, составляющей функциональную основу рассматриваемого блока. Расчет показателей метрологической надежности аналогового блока информационно-измерительных систем предполагает применение метрологического анализа на основе математического моделирования при реализации метода аналитико-вероятностного прогнозирования МН [9, 10]. Указанный метод основан на последовательном математическом моделировании выходной характеристики проектируемого блока, нормируемой метрологической характеристики, а также моделировании нестационарного случайного процесса изменения во времени исследуемой метрологической характеристики.

### Материал и методика

Рассмотрим подход к оценке МН АЦП с применением метода аналитико-вероятностного прогнозирования. Структура АЦП представлена на рис. 1. Анализ представленной схемы АЦП, проведенный в работе [1], показал, что МН всего блока будет определяться МН аналоговых модулей, составляющих ИК: входной высокочастотной цепи, буферного усилителя и преобразователя напряжение-частота. Проведенные в работе [1] исследования показали, что основным модулем, имеющим доминирующее влияние на МН АЦП в целом, является модуль преобразования.

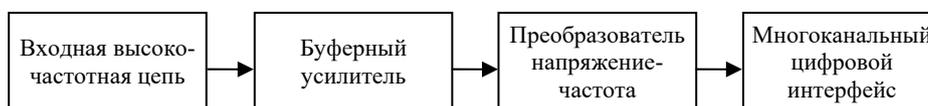


Рис. 1. Структура АЦП

Использование метода аналитико-вероятностного прогнозирования для оценки МР этого модуля предполагает:

- последовательное осуществление математического моделирования рассматриваемого модуля на основе анализа его структурной схемы;
- математическое моделирование основной относительной погрешности  $\delta$  представляющей исследуемую МХ для данного блока;
- статистическое моделирование исследуемой МХ в различных временных сечениях области предстоящей эксплуатации модуля;
- построение ММ изменения во времени исследуемой МХ определяемой функцией временного изменения математического ожидания МХ  $m_\delta(t)$  и функциями  $\Psi_{\pm\sigma}(t)$ , которые с учетом нормального закона распределения МХ и правилу «трех сигм» с доверительной вероятностью  $P = 0,997$  характеризуют изменение границ отклонения возможных значений исследуемой МХ от среднего значения

$$\begin{cases} m_\delta(t); \\ \Psi_{\pm}(t) = m_\delta(t) \pm c\sigma_\delta(t), \end{cases} \quad (1)$$

где  $c$  – постоянный коэффициент, выбираемый в зависимости от заданного уровня доверительной вероятности;  $\sigma_\delta(t)$  – среднеквадратическое отклонение МХ в произвольные моменты времени эксплуатации.

Математическая модель вида (1) позволяет рассчитать требуемые показатели МН: вероятность сохранения метрологической исправности и метрологический ресурс.

Построим математическую модель функционирования модуля преобразователя на основе анализа его структурной схемы, представленной на рис. 2, с применением методов расчетов электрических цепей. Работа представленного преобразователя напряжение-частота основана на принципе баланса зарядов. Ток  $I_{вх}$ , который пропорционален входному напряжению, поступает на резистор  $R_1$ , при этом заряжая конденсатор  $C$ . По мере заряда конденсатора напряжение с выхода операционного усилителя возрастает. Пройдя через ноль по входу операционного усилителя, происходит срабатывание компаратора  $K$  и при этом формируется одиночный импульс с определенной длительностью  $t_{OS}$ , и в период прохождения импульса замыкается

ключ  $S$ . За данный промежуток времени ток  $(I_{\text{оп}} - I_{\text{вх}})$  проходит через конденсатор. Остаточное значение заряда, накопившегося в конденсаторе, за время прохождения импульса будет определяться  $(I_{\text{оп}} - I_{\text{вх}})t_{\text{OS}}$ , когда ключ разомкнут конденсатор  $C$  накапливает энергию и возвращается к исходному значению. Впоследствии снова срабатывает компаратор в соответствии с описанным выше циклом. Таким образом, накопленный заряд в конденсаторе равен полученному заряду на каждом этапе:

$$(I_{\text{оп}} - I_{\text{вх}})t_{\text{OS}} = I_{\text{вх}} \left( \frac{1}{f_{\text{вых}}} - t_{\text{OS}} \right), \quad (2)$$

где  $f_{\text{вых}}$  – выходная частота;  $I_{\text{оп}}$  – источник опорного тока.

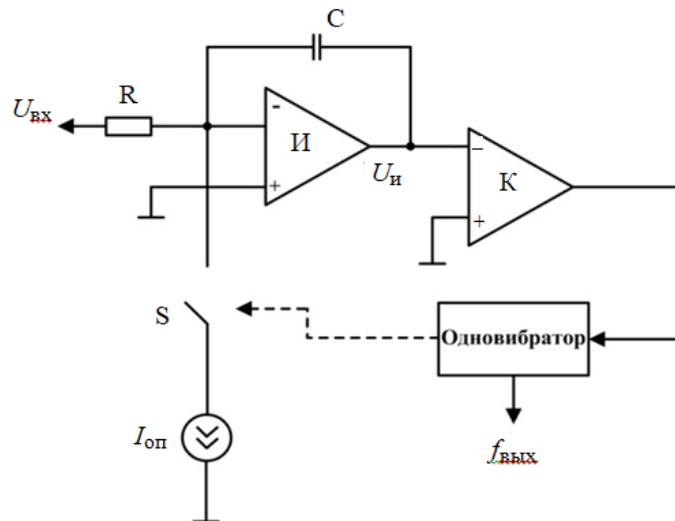


Рис. 2. Структура преобразователя напряжение-частота

Для исследования МР преобразователя вначале получим зависимость выходной частоты преобразователя от входного напряжения.

Входной ток  $I_{\text{вх}}$  пропорционален входному напряжению

$$I_{\text{вх}} = U_{\text{вх}} / R_1. \quad (3)$$

Произведем преобразования выражения (2) и с учетом  $I_{\text{вх}}$  получим

$$f_{\text{вых}} = \frac{I_{\text{вх}}}{I_{\text{оп}}} \frac{1}{t_{\text{OS}}}. \quad (4)$$

С учетом (3) уравнение (4) примет вид

$$f_{\text{вых}} = \frac{U_{\text{вх}}}{R_1 I_{\text{оп}}} \frac{1}{t_{\text{OS}}}. \quad (5)$$

Параметры источника опорного тока определяются резистивными элементами  $R_6$ ,  $R_7$  и задают рабочую точку для транзистора. Выражение, которое описывает работу данного источника, можно представить в виде выражения

$$I_{\text{оп}} = \frac{2U_{\text{п}} \frac{R_7}{R_6 + R_7} + U_{\text{БЭ}}}{R_8}, \quad (6)$$

где  $U_{\text{п}}$  – напряжение питания схемы (в данном случае  $\pm 15$  В);  $U_{\text{БЭ}}$  – напряжение падения на  $(p-n)$ -переходе транзистора VT2 ( $\approx 0,7$  В).

Длительность импульса одновибратора в основном определяется постоянной времени цепочки  $C_3R_3$

$$t_{OS} = C_3R_3 \ln \left[ \left( 1 + \frac{R_5}{R_4} \right) \left( 1 + \frac{U_{VD1}}{U_{OYmax}} \right) \right], \quad (7)$$

где  $U_{VD1}$  – напряжение падения на открытом диоде ( $\approx 0,7$  В);  $U_{OYmax}$  – максимальное выходное напряжение ОУ.

С учетом (6) и (7) преобразуем выражение (5) и запишем зависимость выходной частоты преобразователя от входного напряжения:

$$f_{вых} = \frac{U_{вх}}{R_1 \frac{U_{п} \frac{2R_7}{R_6 + R_7} + U_{БЭ}}{R_8}} \frac{1}{C_3R_3 \ln \left[ \left( 1 + \frac{R_5}{R_4} \right) \left( 1 + \frac{U_{VD1}}{U_{OYmax}} \right) \right]}. \quad (8)$$

Нормируемая МХ исследуемого преобразователя вычисляется по формуле

$$\delta = \frac{f_{вых.изм} - f_{вых.расч}}{f_{вых.расч}}, \quad (9)$$

где  $f_{вых.изм}$ ,  $f_{вых.расч}$  – измеренное и рассчитанное значения выходной частоты.

Условие сохранения метрологической исправности записывается в виде

$$|\delta(t)| < |\delta_{доп.}| \quad (10)$$

Зависимость напряжения от частоты имеет линейный характер. С учетом этого выражение для определения коэффициента преобразования можно записать в виде

$$K_p = \frac{1}{R_1 \frac{U_{п} \frac{2R_7}{R_6 + R_7} + U_{БЭ}}{R_8}} \frac{1}{C_3R_3 \ln \left[ \left( 1 + \frac{R_5}{R_4} \right) \left( 1 + \frac{U_{VD1}}{U_{OYmax}} \right) \right]}. \quad (11)$$

Окончательно математическая модель нормируемой МХ модуля преобразования имеет следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \delta = \frac{K_{pном} - K_p(t)}{K_{pном}}; \\ K_p = \frac{1}{R_1 \frac{U_{п} \frac{2R_7}{R_6 + R_7} + U_{БЭ}}{R_8}} \frac{1}{C_3R_3 \ln \left[ \left( 1 + \frac{R_5}{R_4} \right) \left( 1 + \frac{U_{VD1}}{U_{OYmax}} \right) \right]}. \end{array} \right. \quad (12)$$

Полученная математическая модель основной относительной погрешности проектируемого модуля в дальнейшем используется для формирования базы данных по изменению во времени исследуемой МХ в процессе предстоящей эксплуатации с применением процедуры статистического моделирования согласно работе [1]. Результатом рассматриваемой процедуры будет являться математическая модель изменения во времени МХ вида (1), которая позволяет оценить требуемые показатели МН рассматриваемого модуля преобразования на этапе его проектирования. Учитывая доминирующую роль этого модуля в структуре АЦП, в дальнейшем по значениям полученных показателей МН можно оценить МН АЦП в целом.

Другим подходом к решению задачи оценки МН проектируемых АЦП в структуре ИИС является применение метрологического анализа, основанного на использовании априорных

знаний в виде уравнений измерений и математических моделей объектов, условий и средств измерений [3]. Проведение МА дает возможность сформировать формализованное описание процедуры аналого-цифрового преобразования, исходя из функционального назначения рассматриваемого блока и определения этапов соответствующих последовательных преобразований в нем. Здесь используется существующий в математической метрологии принцип получения формализованного описания процедуры измерений путем проведения исследований измерений от простых к сложным.

Рассмотрим описание процедуры аналого-цифрового преобразования. Уравнение измерений для этой процедуры имеет вид

$$u_j^* = R_{\text{сч}} R_{\text{м}} R_{\text{к}} R_{\text{д}} u_j^*(t), \quad (13)$$

где  $R_{\text{д}}$ ,  $R_{\text{к}}$ ,  $R_{\text{сч}}$ ,  $R_{\text{м}}$  – операторы дискретизации, квантования, считывания и масштабирования соответственно;  $u_j$  – результат измерения входного сигнала  $u_j$ .

Аналого-цифровое преобразование можно рассматривать как измерительную процедуру, содержащую необходимый минимум измерительных преобразований: масштабирование, дискретизацию и квантование. Тогда уравнение измерений примет вид

$$u_j^* = R_{\text{м}} R_{\text{к}} R_{\text{д}} u_j^*(t). \quad (14)$$

С учетом аппарата математической метрологии [3], основанного на использовании разложения абсолютной погрешности измерения на компоненты основных элементарных преобразований в АЦП, можно получить оценку полной погрешности с учетом указанных трех основных компонент.

Абсолютная погрешность из-за отличия реализуемого коэффициента масштабирования (нормализации)  $a_j$  от номинального  $a_{\text{н}}$  ( $\Delta a_j = a_j - a_{\text{н}}$ ):

$$\Delta_a u_j^* = a_j u_j / a_{\text{н}} - u_j = \Delta a_j u_j / a_{\text{н}}, \quad (15)$$

где  $a_j$  и  $a_{\text{н}}$  – реализуемый и номинальный коэффициенты масштабирования (нормализации);  $u_j$  – истинное значение измеряемой величины;  $\alpha$ ,  $\Delta t_{\text{д}}$  – параметры дискретизации и  $q$  – рядность квантования.

Абсолютная погрешность из-за отличия дискретизации от гипотетической:

$$\Delta_{\text{д}} u_j^* = a_j u_j (1 - e^{-\alpha \Delta t_{\text{д}}}) / a_{\text{н}} - a_j u_j / a_{\text{н}} = -e^{-\alpha \Delta t_{\text{д}}} a_j u_j / a_{\text{н}}. \quad (16)$$

Абсолютная погрешность из-за отличия идеального равномерного квантования от гипотетического:

$$\Delta_{\text{к}} u_j^* = E \left[ a_j u_j (1 - e^{-\alpha \Delta t_{\text{д}}}) / \Delta_{\text{к}}^{\text{н}} u + 1/2 \right] \Delta_{\text{к}}^{\text{н}} u / a_{\text{н}} - a_j u_j (1 - e^{-\alpha \Delta t_{\text{д}}}) / a_{\text{н}}, \quad (17)$$

где  $\Delta_{\text{к}}^{\text{н}}$  – идеальный интервал квантования.

Таким образом, на основании выражений (15)–(17) аналитическое описание, определяющее абсолютную погрешность процедуры аналого-цифрового преобразования, имеет вид

$$\Delta u_j^* = \Delta_a u_j^* + \Delta_{\text{д}} u_j^* + \Delta_{\text{к}} u_j^*. \quad (18)$$

### Результаты

Полученные с применением выбранных подходов априорные знания используются для формализованного представления исследуемой МХ. Выражение (18) представляет математическое описание, позволяющее провести расчет абсолютной погрешности исследуемого блока в различные моменты времени предстоящей эксплуатации и в конечном итоге аналогично выражению (12) провести оценку выбранных показателей МН исследуемого блока на этапе его проектирования.

### Заклучение

Таким образом, построение математических моделей исследуемых метрологических характеристик, проведение метрологического анализа с получением требуемых расчетных соотношений в конечном итоге позволяет решить задачу оценки метрологической надежности блока аналого-цифрового преобразования в структуре информационно-измерительных систем.

### Библиографический список

1. Чернышова, Т. И. Математическое моделирование метрологических характеристик при оценке метрологической надежности электронных измерительных средств / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносков, М. А. Каменская, // Вестник Тамбовского государственного технологического университета. – 2019. – Т. 25, № 2. – С. 180–189. – DOI 10.17277/vestnik.2019.02.pp.180-189.
2. Екимов, А. В. Надежность средств измерительной техники / А. В. Екимов, М. И. Ревяков. – Ленинград : Энергоатомиздат, 1986. – 208 с.
3. Коровайцев, А. А. Информационно-энтропийный подход к оценке метрологического ресурса средств измерений / А. А. Коровайцев, М. И. Ломакин, А. В. Сухов // Измерительная техника. – 2014. – № 6. – С. 14–18.
4. Селиванова, З. М. Оценка надежности информационно-измерительной системы теплофизических свойств материалов при воздействии дестабилизирующих факторов / З. М. Селиванова, Т. А. Хоан // Надежность и качество сложных систем. – 2016. – № 4. – С. 13–19.
5. Чернышова, Т. И. Применение методов математического моделирования при оценке метрологической надежности блока аналого-цифрового преобразователя / Т. И. Чернышова, Р. Ю. Курносков // Вестник Тамбовского государственного технологического университета – 2017. – Т. 23, № 4. – С. 589–594.
6. Чернышова, Т. И. Методы и информационно-измерительные системы неразрушающего контроля теплофизических свойств материалов и изделий : монография / Т. И. Чернышова, В. Н. Чернышов. – Санкт-Петербург : Экспертные решения, 2016 – 384 с.
7. Голиков, Д. О. Микроволновый метод и измерительная система неразрушающего контроля теплофизических характеристик строительных материалов / Д. О. Голиков, А. В. Чернышов, М. В. Жарикова // Проблемы техногенной безопасности и устойчивого развития : сб. науч. ст. молодых ученых, аспирантов и студентов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – Вып. II. – С. 230–234.
8. Чернышов, В. Н. Метод и система оперативного контроля теплофизических характеристик строительных материалов / В. Н. Чернышов, А. В. Чернышов, Д. О. Голиков // Контроль. Диагностика. – 2010. – № 11. – С. 34–41.
9. Цветков, Э. И. Метрология. Модели объектов, процедур и средств измерений. Метрологический анализ. Метрологический синтез / Э. И. Цветков. – Санкт-Петербург : Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. – 293 с.
10. Шевчук, В. П. Моделирование метрологических характеристик интеллектуальных измерительных приборов и систем / В. П. Шевчук. – Москва : Физматлит, 2013. – 320 с.

### References

1. Chernyshova T. I., Kurnosov R. Yu., Kamenskaya M. A. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Tambov State Technological University]. 2019, vol. 25, no. 2, pp. 180–189. DOI 10.17277/vestnik.2019.02.pp.180-189. [In Russian]
2. Ekimov A. V., Revyakov M. I. *Nadezhnost' sredstv izmeritel'noy tekhniki* [The reliability of measuring instruments]. Leningrad: Energoatomizdat, 1986, 208 p. [In Russian]
3. Korovaytsev A. A., Lomakin M. I., Sukhov A. V. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measurement technology]. 2014, no. 6, pp. 14–18. [In Russian]
4. Selivanova Z. M., Khoan T. A. *Nadezhnost' i kachestvo slozhnykh sistem* [Reliability and quality of complex systems]. 2016, no. 4, pp. 13–19. [In Russian]
5. Chernyshova T. I., Kurnosov R. Yu. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Tambov State Technological University]. 2017, vol. 23, no. 4, pp. 589–594. [In Russian]
6. Chernyshova T. I., Chernyshov V. N. *Metody i informatsionno-izmeritel'nye sistemy nerazrushayushchego kontrolya teplofizicheskikh svoystv materialov i izdeliy: monografiya* [Methods and information-measuring systems for non-destructive testing of thermophysical properties of materials and products: monograph]. Saint-Petersburg: Ekspertnye resheniya, 2016, 384 p. [In Russian]
7. Golikov D. O., Chernyshov A. V., Zharikova M. V. *Problemy tekhnogennoy bezopasnosti i ustoychivogo razvitiya: sb. nauch. st. molodykh uchenykh, aspirantov i studentov* [Problems of technogenic safety and

sustainable development: collection of scientific articles of young scientists, postgraduates and students]. Tambov: Izd-vo GOU VPO «TGTU», 2011, iss. II, pp. 230–234. [In Russian]

8. Chernyshov V. N., Chernyshov A. V., Golikov D. O. *Kontrol'. Diagnostika* [Control. Diagnostics]. 2010, no. 11, pp. 34–41. [In Russian]
9. Tsvetkov E. I. *Metrologiya. Modeli ob"ektov, protsedur i sredstv izmereniy. Metrologicheskii analiz. Metrologicheskii sintez* [Metrology. Models of objects, procedures, and measuring instruments. Metrological analysis. Metrological synthesis]. Saint-Petersburg: Izd-vo SPbGETU «LETI», 2014, 293 p. [In Russian]
10. Shevchuk V. P. *Modelirovanie metrologicheskikh kharakteristik intellektual'nykh izmeritel'nykh priborov i sistem* [Modeling of metrological characteristics of intelligent measuring devices and systems]. Moscow: Fizmatlit, 2013, 320 p. [In Russian]

---

**Курносков Роман Юрьевич**

старший преподаватель,  
кафедра конструирования радиоэлектронных  
и микропроцессорных систем,  
Тамбовский государственный  
технический университет  
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 116)  
E-mail: romankurnosov@yandex.ru

**Kurnosov Roman Yur'evich**

senior lecturer,  
sub-department of design of radio-electronic  
and microprocessor systems,  
Tambov State Technical University  
(116 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

**Чернышова Татьяна Ивановна**

доктор технических наук, профессор,  
кафедра конструирования радиоэлектронных  
и микропроцессорных систем,  
Тамбовский государственный  
технический университет  
(Россия, г. Тамбов, ул. Советская, 116)  
E-mail: dekan\_chti@mail.ru

**Chernyshova Tat'yana Ivanovna**

doctor of technical sciences, professor,  
sub-department of design of radio-electronic  
and microprocessor systems,  
Tambov State Technical University  
(116 Sovetskaya street, Tambov, Russia)

---

**Образец цитирования:**

Курносков, Р. Ю. Метрологический анализ измерительной процедуры аналого-цифрового преобразования в информационно-измерительных системах при оценке их метрологической надежности / Р. Ю. Курносков, Т. И. Чернышова // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2020. – № 3 (33). – С. 25–32. – DOI 10.21685/2307-5538-2020-3-3.