

# Измерение параметров ЭКБ. Концептуальные основы установления и реализации обязательных метрологических требований

В. Быканов, к. т. н.<sup>1</sup>, М. Есакова<sup>2</sup>, А. Тупицина<sup>3</sup>

УДК 621.37 | ВАК 2.2.4

Обеспечение качественного обоснования и установления метрологических требований при разработке электронной компонентной базы является главной целью развития системы обеспечения единства измерений на предприятиях радиоэлектронной промышленности. В статье рассматриваются вопросы, освещающие актуальную тему – модернизацию отраслевой системы стандартов по ключевому направлению метрологического обеспечения процессов жизненного цикла изделий радиоэлектроники.

**В** последние годы в России принимаются значительные меры по созданию современной отечественной электронной компонентной базы (ЭКБ) не только для радиоэлектронной аппаратуры вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), но и для других стратегически значимых объектов государственного и общепромышленного назначения.

Технические характеристики (ТХ) ЭКБ определяют качество их функционирования. Контроль и измерение ТХ ЭКБ осуществляются методами инструментального контроля, которые должны быть определены в нормативно-технической документации (НТД), реализующей обязательные метрологические требования к измерениям ТХ ЭКБ.

Исследования ФГБУ «ВНИИР» позволили определить более 800 технических характеристик ЭКБ и номенклатурный перечень контрольной измерительной аппаратуры с основными ТХ для метрологического обеспечения (МО) разработки и производства современной ЭКБ. Но в связи с отсутствием, к сожалению, в действующей НТД унификации МО разработки, испытаний и производства ЭКБ, синтезирование единых требований как для оборонной, так и для народно-хозяйственной продукции является приоритетом [1].

Совершенствование МО деятельности предприятий отражено в ключевом направлении «Отраслевые стандарты» [2], которое включает в себя руководящие нормативно-методические документы по анализу и оценке технических решений выбора ТХ, подлежащих измерению, установление норм точности и обеспечение методиками и средствами измерений (МИ, СИ) и обеспечение своевременного обоснования и качественно-установления метрологических требований в тактико-техническом задании (техническом задании) (ТТЗ, ТЗ) на разработку перспективной ЭКБ. Своевременное выполнение предприятиями обязательной метрологической экспертизы (ОМЭ) и метрологической экспертизы технической документации на этапах создания изделий и проведения их испытаний, а также метрологическое сопровождение процесса жизненного цикла (ЖЦ) изделия ЭКБ в целом.

МО процессов ЖЦ современной ЭКБ на предприятиях радиоэлектронной отрасли предполагает реализацию законодательства Российской Федерации в трех областях: техническое регулирование (ТР), обеспечение единства измерений (ОЕИ) и стандартизация, что составляет основу для эффективного регулирования МО.

Схема их взаимодействия отражена диаграммой Венна и представлена на рис. 1.

Однако, проведя анализ разного уровня классификации НТД, определено, что понятие «Метрологическое обеспечение» и его концепция, сформулированные в конце двадцатого века, устарели и не соответствует законодательству РФ [3, 4, 5].

<sup>1</sup> ФГБУ «ВНИИР», старший научный сотрудник отдела метрологии, bykanov@vniir-m.ru.

<sup>2</sup> ФГБУ «ВНИИР», начальник отдела метрологии, esakova@vniir-m.ru.

<sup>3</sup> ФГБУ «ВНИИР», ведущий специалист отдела метрологии, nazarkina@vniir-m.ru.



**Рис. 1.** Отношение законодательных областей РФ

Следует отметить, что применяемая сегодня для изделий радиоэлектроники система общих технических требований (СОТТ) по МО состоит из требований для ВВСТ, включая системы и комплексы (образцы) ВВСТ.

Основные требования МО СОТТ предъявляются к конкретным образцам разрабатываемых ВВСТ. В процессе разработки и производства ЭКБ большую значимость представляет измерение их параметров. Но отсутствие в настоящее время системы стандартизации в части МО процессов ЖЦ ЭКБ и задания метрологических требований в процессе разработки ЭКБ (ССМО) представляет собой сложность соблюдения установленных норм.

Например, одним из требований МО, связанных с качеством измерений ТХ ЭКБ, является оценка точности и достоверности измерений физических величин [6], которая определяется через погрешность и неопределенность измерений. Стоит подчеркнуть, что единство измерений определяется, как состояние измерений, при которых их результаты выражены в допущенных к применению в РФ единицах величин, а показатели точности измерений (ПТИ) не выходят за установленные границы [4]. Между тем, понятие данных терминов не раскрыто в НТД.

Точность измерений может быть выражена двумя способами [7]: оцениванием характеристик погрешности результата измерений и вычислением неопределенности измерений.

В отечественной метрологической практике, говоря об оценивании погрешности, как разности между результатом измерений и истинным значением измеряемой величины, подразумевают оценивание ее характеристик, что разъясняется в [8].

Неопределенность измерения выражает тот факт, что для измеряемой величины и результата ее измерения нет единственного значения, а есть интервал значений, где находится искомый результат измерений, который с учетом достаточно надежной апостериорной информации согласуется с имеющимися данными и с различной степенью уверенности может быть приписан измеряемой величине. Поэтому понятию «неопределенность измерения» следует приписать философское толкование, основанное на невозможности точного определения истинного значения измеряемой величины. Таким образом, существующее руководство [9] ориентировано на метрологов, выполняющих работы на высших уровнях поверочных схем.

В производственной практике преобладают априорные оценки качества измерений, основной способ оценивания которых – разработка МИ и их аттестация до того, как измерения состоялись. Но концепция неопределенности не адаптирована к сложным процедурам при разработке ЭКБ, выполняемым на основе измерений, таких как: допусковый контроль, испытания, диагностирование, управление и т.п. Следовательно, в НТД необходимо установление регламентирующих требований.

В связи с вышесказанным назрела необходимость разработки ССМО для предприятий, осуществляющих деятельность в области ведения Департамента радиоэлектронной промышленности Министерства промышленности и торговли Российской Федерации, включающей концептуальные основы установления и реализации обязательных метрологических требований к измерениям параметров ЭКБ.

**Таблица 1.** Процедура оценивания характеристик погрешности результата измерений

|                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Погрешность                                              | $\xi = y - y_{ист} \Leftrightarrow y = y_{ист} + \xi$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| Модель погрешности                                       | $\xi$ – случайная величина с плотностью распределения вероятностей $p(x; E, \sigma^2, \dots)$ , где $E$ – математическое ожидание, $\sigma^2$ – дисперсия                                                                                                                                                                                                                     |
| Характеристики погрешности                               | $S$ – СКО;<br>$\theta$ – границы неисключенной систематической погрешности;<br>$\Delta_p$ – доверительные границы                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Исходные данные для оценивания характеристик погрешности | 1. Модель объекта исследования.<br>2. Экспериментальные данные $x_{iq}$ , где $q = 1, \dots, n_i; i = 1, \dots, m$ .<br>3. Информация о законах распределения.<br>4. Сведения об источниках погрешностей, их природе и характеристиках составляющих ( $S(x_i), \theta_i$ ), структурная модель погрешности.<br>5. Стандартные справочные данные и другие справочные материалы |
| <b>Методы оценивания характеристик:</b>                  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| случайных погрешностей                                   | $S(x_{iq}) = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2};$<br>$S(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2};$<br>$S = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2} S^2(\bar{x}_i)$                                                                                                       |
| неисключенных систематических погрешностей               | $\theta(p) = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2} \theta_i^2,$<br>где $k = 1,1$ при $p = 0,95$<br>и $k = 1,4$ при $p = 0,99$ и $m > 9$                                                                                                                                                                                                      |
| суммарной погрешности                                    | $\Delta_p = \frac{t_p(f_{эф}) S + \theta(p)}{S + \sqrt{\sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2} \frac{\theta_i^2}{3}} \sqrt{S^2 + \sum_{i=1}^m \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \frac{\theta_i^2}{3}}$                                                                                                                                  |
| Форма представления характеристик погрешности            | $\theta(p), S, n, f_{эф};$<br>$\Delta_p$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
| Интерпретация полученных результатов                     | Интервал $(-\Delta_p, +\Delta_p)$ с вероятностью $p$ содержит погрешность измерений, что равносильно тому, что интервал $(y - \Delta_p, y + \Delta_p)$ с вероятностью $p$ содержит истинное значение измеряемой величины                                                                                                                                                      |

При создании ССМО необходимо учитывать принципы системного подхода в процессе реализации установленных требований:

- объектом МО являются измерения и средства измерения ТХ ЭКБ и связанные с ними процессы ЖЦ, а предметом – обеспечение их метрологического качества;
- техническую основу измерений ТХ ЭКБ образуют все виды измерительной техники, а испытаний – испытательное оборудование (ИО);
- должно обеспечиваться разграничение полномочий и ответственности подразделений, выполняющих измерения ТХ ЭКБ, и метрологических служб, обеспечивающих метрологическое качество измерений и средств измерения.

ССМО должна базироваться на Федеральных законах № 184-ФЗ и № 102-ФЗ [3, 4] и устанавливать нормы к:

- содержанию и порядку изложения требований к МО в ТТЗ (ТЗ);
  - правилам согласования конструкторской и технологической документации с метрологической службой;
  - планированию и проведению МО на конкретном этапе ЖЦ ЭКБ.
- Разработанные государственные стандарты будут предусматривать:
- требования к МО, включаемые в ТТЗ (ТЗ) на разработку ЭКБ;
  - требования к МО при выполнении этапов опытно-конструкторских работ (ОКР) по созданию ЭКБ;
  - требования к МО, включаемые в ТТЗ (ТЗ) на разработку средств измерительного контроля и испытаний для создания ЭКБ;
  - ОМЭ создаваемой ЭКБ. Организация и порядок проведения;
  - руководство о порядке проведения ОМЭ технической документации на изделия ЭКБ;

**Таблица 2.** Процедура вычисления неопределенности измерений

|                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Модель неопределенности (представление знания о значении измеряемой величины) | $\eta$ – случайная величина с плотностью распределения вероятностей $p(x, y, u^2, \dots)$ , где: $y$ – математическое ожидание, $u^2$ – дисперсия                                                                                                                                                                                                                                              |
| Неопределенность (количественная мера)                                        | Стандартная $u$ ;<br>суммарная $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m u_i^2}$ ;<br>расширенная $U_p = k \cdot u_c$                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| Исходные данные для вычисления неопределенности                               | 1. Модель объекта исследования.<br>2. Экспериментальные данные $x_{iq}$ , где $q = 1, \dots, n_i$ ; $i = 1, \dots, m$ .<br>3. Информация о законах распределения.<br>4. Сведения об источниках неопределенности и информация о значениях неопределенности.<br>5. Стандартные справочные данные и другие справочные материалы                                                                   |
| <b>Методы вычисления неопределенности:</b>                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| по типу А                                                                     | $u_{A, i} = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i - 1}}$ ;<br>$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{\sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}{n_i(n_i - 1)}}$                                                                                                                                                                                                                              |
| по типу В                                                                     | $u_B(x_i) = \frac{b_i}{\sqrt{3}}$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| расширенной неопределенности                                                  | $U_p = t_p(V_{eff}) \cdot U_c$ , где<br>$v_{eff} = \frac{u_c^4}{\sum_{i=1}^m \frac{\left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot u(x_i)\right)^2}{v_i}}$ ; $u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \cdot u(x_i)\right)^2}$ .<br>$U_{0,95} = 2u_c$ , $U_{0,99} = 3u_c$ – для нормального закона;<br>$U_{0,95} = 1,65u_c$ , $U_{0,99} = 1,71u_c$ – для равномерного закона |
| Представление неопределенности                                                | $u_c, U_p, k, u_i, v_i$                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| Интерпретация полученных результатов                                          | Интервал $(y - U_p; y + U_p)$ содержит большую долю ( $p$ ) распределения значений, которые могли бы быть обоснованно приписаны измеряемой величине                                                                                                                                                                                                                                            |

- общие требования к методам испытаний ЭКБ;
- методики оценки МО отечественной ЭКБ при разработке, изготовлении и испытаниях;
- алгоритмы (методы) аттестации не прямых МИ в процессе разработки, испытаний и производства ЭКБ;
- общие требования к аттестации ИО для испытаний ЭКБ [1].

Предлагается в 2023–2025 годах разработать полную систему стандартизации в области измерений, СИ и метрологической техники, применяемых в радиоэлектронике.

Реализация концептуальных основ установления метрологических требований к измерениям ТХ ЭКБ, связанных с ними процессов, при разработке отраслевых стандартов по МО данных изделий позволит гармонизировать нормы законодательства РФ о техническом регулировании и о единстве измерений, систему обоснования и выполнения метрологических требований к измерениям и СИ, систему ОЕИ, точности и достоверности результатов измерений с положительными последствиями для качества выполнения работ по разработке перспективных ЭКБ.

Предлагаемая ССМО не будет служить препятствием при выполнении ОКР в большей степени, чем это минимально необходимо для выполнения целей, указанных в Распоряжении Правительства Российской Федерации [2].

В завершение необходимо подчеркнуть, что для осуществления в полной мере методического руководства метрологического обеспечения, не только как вида технического обеспечения, но и как составной части материально-технического обеспечения, выполняемого предприятиями радиоэлектронной промышленности, целесообразно создать на базе ФБГУ «ВНИИР», выполняющего функции головной организации по исследованию в области ЭКБ,

отраслевую метрологическую службу, координирующую задачи по метрологическому обеспечению на всех этапах жизненного цикла изделий ЭКБ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Быканов В., Подъяпольский Б., Булгаков В.** Научно-технические проблемы метрологического обеспечения разработки ЭКБ нового поколения // ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес. 2019. № 3. С. 112–118.
2. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.01.2020 г. № 20-р «Об утверждении Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года и плана мероприятий по реализации Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года».
3. Федеральный закон «О техническом регулировании» от 27.12.2002 № 184-ФЗ.
4. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений» от 26.06.2008 № 102-ФЗ.
5. Федеральный закон «О стандартизации в Российской Федерации» от 29.06.2015 № 162-ФЗ.
6. ГОСТ Р 8.820-2013. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
7. РМГ 43-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. Применение Руководства по выражению неопределенности измерений.
8. МИ 1317-2004. Рекомендация. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров.
9. ГОСТ 34100.1-2017. Неопределенность измерения. Ч. 1. Руководство по выражению неопределенности измерения.

## КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА «ТЕХНОСФЕРА»



Цена 1600 руб.

### НАСТОЛЬНАЯ КНИГА ИНЖЕНЕРА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СВЧ-УСТРОЙСТВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЕРЕДОВЫХ МЕТОДИК ВЕКТОРНОГО АНАЛИЗА ЦЕПЕЙ

**Дансмор Джоэль П.**

*Пер. с англ. и науч. ред. Е. Ю. Харитонова, Е. В. Андропова, А. С. Бондаренко*

*Издание осуществлено при поддержке компании Keysight Technologies*

М.: ТЕХНОСФЕРА,  
2019. – 736 с.,  
ISBN 978-5-94836-505-3

В книге рассмотрен широкий круг измерительных задач в СВЧ-диапазоне. В центре внимания – измерения активных и пассивных устройств с использованием новейших методик векторного анализа цепей, методики их калибровки, подходы к анализу полученных результатов. Приведены практические примеры измерений параметров таких устройств, как кабели и соединители, линии передачи, фильтры, направленные ответвители и др.

Автор книги – инженер-разработчик с 30-летним стажем – работал над широчайшим кругом измерительных задач в СВЧ-диапазоне: от компонентов сотового телефона до спутниковых мультиплексов.

Книга станет прекрасным практическим руководством для инженеров-метрологов и разработчиков ВЧ- / СВЧ-устройств, занимающихся моделированием и тестированием как отдельных узлов радиоэлектронной аппаратуры, так и законченных изделий, к примеру систем спутниковой связи, радиолокации и радионавигации. Крайне полезной данная книга будет и в процессе обучения студентов радиотехнических специальностей.

### КАК ЗАКАЗАТЬ НАШИ КНИГИ?

✉ 125319, Москва, а/я 91; ☎ +7 495 234-0110; 📠 +7 495 956-3346; [knigi@technosphera.ru](mailto:knigi@technosphera.ru), [sales@technosphera.ru](mailto:sales@technosphera.ru)



# ИСПЫТАНИЯ\* НА ВОЗДЕЙСТВИЕ ПЛЕСНЕВЫХ ГРИБОВ

- ✓ Поверенные средства измерения и новейшее аттестованное оборудование
- ✓ Квалифицированные инженеры микробиологи
- ✓ Возможность испытаний изделий больших массогабаритных размеров
- ✓ Результаты испытаний оформляются с фотофиксацией

*Испытательный центр ФГУП «МНИИРИП» имеет санитарно-эпидемиологическое заключение и лицензию № 50.99.08.001.Л.000030.11.18 на право деятельности с микроорганизмами III и IV групп патогенности. Испытания ЭКБ отечественного производства проходят под контролем 198 ВП МО РФ.*



**ФГБУ «ВНИИР»**

Головная научно-исследовательская организация  
Минпромторга России в области ЭКБ

[www.vniir-m.ru](http://www.vniir-m.ru)

[ic@vniir-m.ru](mailto:ic@vniir-m.ru)

141002, Московская область, г. Мытищи, ул. Колпакова, д. 2А