

УДК 346.543.2:311.214

## ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ МЕТОДОМ МАКСИМАЛЬНОГО ПРАВДОПОДОБИЯ

Е.Ю. БРЯЗГИН, А.В. ГРИНКЕВИЧ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
П. Бровка, 6, Минск, 220013, Беларусь*

*Поступила в редакцию 8 апреля 2014*

Рассматривается методический подход оценки технического уровня радиотехнических систем при наличии неопределенности измерения исходных данных. Полученные результаты могут использоваться при выработке решений по разработке, производству и эксплуатации радиотехнических систем.

*Ключевые слова:* радиотехническая система, качество, технический уровень, погрешность.

### Введение

Радиотехнической системой (РТС) называют организованную совокупность устройств, предназначенных для передачи, извлечения, обработки и накопления определенной информации с использованием радиоволн. В настоящее время РТС представляют собой сложные системы, характеризующиеся множеством показателей, к которым относятся: разрешающая способность, дальность действия, диапазон частот, показатели назначения, точности, помехоустойчивости, электромагнитной совместимости, устойчивости, надежности, скрытности и т.д. [1].

В Республике Беларусь сохранилась и продолжает активно развиваться производственная база по проектированию и производству РТС. Обеспечение и повышение качества выпускаемых РТС – одна из главных задач производства. В решении этой задачи важная роль отводится контролю качества на всех этапах производства с целью проверки соответствия показателей качества установленным требованиям. При этом качество РТС представляет меру конструктивного и эксплуатационного совершенства, проявляющуюся в полезных свойствах, совокупность и значения которых отражают возможность удовлетворения требований, предъявляемых на данном этапе к РТС.

### Методика оценки ТУ РТС

Оценка уровня качества представляет совокупность операций, включающих выбор номенклатуры показателей качества оцениваемой РТС, определение значений этих показателей, сравнение их с базовыми значениями или с установленными требованиями и определение степени их соответствия. В зависимости от цели оценки можно сделать выводы:

- качество оцениваемой продукции выше, ниже или на уровне базового образца (образца РТС с которым проводится сравнение);
- качество продукции соответствует или не соответствует установленным требованиям (нормам).

На стадии разработки определяется уровень качества разрабатываемой РТС, в результате чего устанавливаются требования к будущей РТС и производится уточнение показателей качества в нормативных документах.

На стадии производства определяются фактические значения показателей качества РТС по результатам контроля и испытаний, оценивается уровень качества изготовления РТС и принимаются соответствующие решения при управлении качеством.

На стадии эксплуатации или потребления оценивается уровень качества существующей РТС и по результатам ее эксплуатации принимаются управляющие решения, направленные на сохранение или повышение уровня качества РТС.

В настоящее время уровень качества продукции наиболее часто определяется на основе оценки технического уровня (ТУ). Технический уровень – это относительная характеристика качества продукции, основанная на сопоставлении значений показателей, характеризующих техническое совершенство оцениваемой продукции с базовыми значениями соответствующих показателей [2]. Численно ТУ РТС выражается через коэффициент технического уровня (КТУ).

Известны способы оценки ТУ, основанные на определении главного показателя [2]. В этом случае главный показатель ТУ отражает основное назначение изделия, его функциональные возможности. При этом главный показатель ТУ определяется на основе функциональной зависимости от единичных показателей качества. Оценка ТУ РТС по главному показателю предпочтительнее, но не всегда возможна из-за сложности получить функциональную зависимость, учитывающую большое число единичных показателей качества. В этом случае применяется субъективный способ расчета комплексного показателя ТУ на основе среднего взвешенного [3, 4].

Процедура оценки ТУ на основе среднего взвешенного не требует сложных моделей и может быть выполнена небольшой группой специалистов в данной области. В общем виде комплексный показатель ТУ  $Q$  по принципу среднего взвешенного определяется выражением

$$Q = \left( \sum_{j=1}^m g_j Q_j^\gamma \right)^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (1)$$

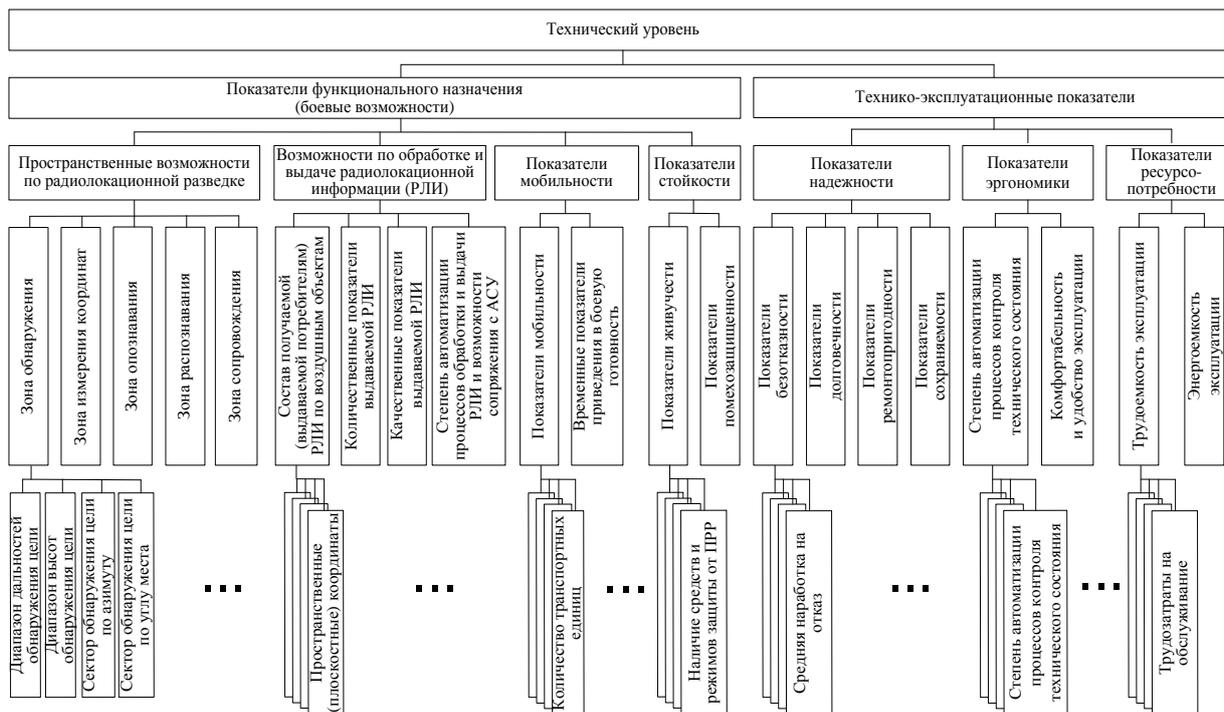
где  $\gamma$  – параметр логики усреднения (при  $\gamma = -1$  – среднее гармоническое, при  $\gamma \rightarrow 0$  – среднее геометрическое, при  $\gamma = 1$  – среднее арифметическое, при  $\gamma = 2$  – среднее квадратическое);  $g_j$  – весовые коэффициенты  $j$ -го показателя качества;  $Q_j$  – оценка  $j$ -го единичного показателя качества;  $m$  – число единичных показателей качества.

Оценка ТУ РТС включает следующие основные этапы:

- определение перечня единичных показателей качества, всесторонне характеризующих РТС;
- формирование группы аналогов и выделение из их числа базового образца РТС;
- численное определение значений единичных показателей качества и коэффициентов весомости;
- расчет оценки ТУ.

Для определения перечня единичных показателей качества, необходимых для оценки РТС, требуется ТУ представить в виде иерархической структуры свойств. Набор показателей выбирается в зависимости от вида и типа РТС и в соответствии с целями и сложностью решаемой задачи. При уточнении показателей, характеризующих ТУ РТС, следует помнить, что и малозначимые на первый взгляд показатели могут оказать значительное влияние на изменение ТУ. При составлении многоуровневой иерархической структуры на самом высоком уровне находится ТУ, а на самом низком уровне – показатели, характеризующиеся тактико-техническими характеристиками. На рисунке представлен пример иерархической структуры показателей ТУ радиолокационной станции (РЛС).

При формировании группы аналогов включают однотипные существующие отечественные и зарубежные РТС. Выбор базового образца РТС и его единичных показателей в значительной степени влияет на результат оценки ТУ исследуемой РТС. Использование устаревшей и технически несовершенной РТС и ее единичных показателей в качестве базовых приводит к искаженной, необоснованно завышенной оценке ТУ исследуемой РТС. Базовый образец РТС должен представлять собой образец, к которому следует стремиться. Существует несколько способов определения базового образца и соответствующих базовых значений единичных показателей ТУ.



Иерархическая структура показателей технического уровня РЛС

При полном отсутствии информации о ТУ однотипных РТС за базовый образец принимается любой образец, имеющий лучшее значение по главному показателю, или образец, определенный экспертным методом.

Оценивание ТУ «от прошлого уровня». В качестве базовых значений единичных показателей ТУ задаются показатели реально существующего аналога, не входящего в число оцениваемых образцов РТС.

Оценивание ТУ «от абстрактно возможного уровня». Вариант отличается от предыдущего переходом от сравнения реальных или прогнозных значений единичных показателей ТУ, как целого, к множеству сравнений по каждому единичному показателю. При этом каждый отдельный базовый показатель может быть как уже реализованным в одном из множества аналогов, так и прогнозным. Определенный таким образом базовый образец получил название «идеальный объект», «объект с идеальным качеством» [5]. При использовании такого базового образца при оценке ТУ важно учитывать его абстрактность, и, как следствие, возможный риск при выборе направления развития РТС, так как в данном случае требования устанавливаются к каждому единичному показателю ТУ без учета относительных затрат на их достижение, а также без анализа их совместного влияния на функциональную пригодность. Это может привести к значительным перекосам и несбалансированным значениям требований к отдельным характеристикам, на которые нерационально используются ограниченные ресурсы. Поэтому «идеальный образец» нельзя рассматривать в качестве технического задания на проектирование и разработку нового образца РТС.

Базовые значения единичных показателей ТУ устанавливаются директивно (нормативными документами и т.п.). Такой подход получил распространение при оценке ТУ тех РТС, к которым по условиям эксплуатации предъявляются строгие обязательные требования.

Оценивание ТУ «от будущего уровня». На основе экстраполяции данных строится прогнозная модель РТС. Прогноз основных тактико-технических характеристик на определенный период (достаточный для создания и выпуска РТС) дает основу для создания конкурентоспособной РТС. Оценивание ТУ осуществляется с помощью так называемого «виртуального эталона». Данное направление представляется перспективным и эффективным, но при условии получения надежной прогнозной модели, содержащей наилучшее в перспективе сочетание значений единичных показателей.

Каждый из представленных способов определения базового образца с совокупностью значений единичных показателей ТУ обладает своими достоинствами и недостатками. В настоящее время при оценке ТУ РТС, как правило, за базовый образец выбирается лучший мировой аналог или образец с «идеальным качеством», с совокупностью лучших значений показателей ТУ достигнутых в аналогичных РТС. Данные подходы не учитывают требования к РТС, определяемые задачами, стоящими перед РТС, условия применения и наличие ресурсных ограничений, сложившихся в Республике Беларусь. Сочетание разных способов определения базовых значений показателей ТУ РТС, когда учитываются оперативно-тактические и общие технические требования к РТС, лучшие значения показателей ТУ отечественных и зарубежных РТС с учетом прогноза развития РТС и возможностей промышленности, позволяет формировать базовый образец РТС, который учитывает задачи стоящие перед РТС, перспективы развития однотипных РТС и ресурсные ограничения [6].

Следующим этапом оценки ТУ РТС является численное определение значений единичных показателей ТУ. Значения показателей ТУ определяются:

- прямым измерением с помощью средств измерения, когда искомое значение показателя находят из опытных данных путем экспериментального сравнения;
- косвенным измерением, на основании известной зависимости между показателем и величинами, найденными прямыми измерениями;
- на основании прогноза (при оценке ТУ разрабатываемой РТС);
- экспертным путем.

Единичные показатели ТУ имеют разную размерность. Для перехода от единичных показателей ТУ к единому безразмерному виду оценок, предложено нелинейное преобразование в соответствии с кривой Гомперца (логистической кривой). Преимущество данного преобразования по сравнению с линейной зависимостью выражено, с одной стороны, возможностью получения оценки  $j$ -го единичного показателя близкой к нулю при низких значениях  $j$ -го единичного показателя ТУ, с другой стороны – при значительном превышении значением  $j$ -го единичного показателя ТУ базового значения, оценка этого показателя ограничена сверху максимальным значением  $Q_{j\max}$ , что не позволяет значительно компенсировать низкие значения одних единичных показателей высокими значениями других единичных показателей. Оценка значения единичного показателя ТУ определяется в соответствии с выражением

$$Q_j = Q_{j\max} Q_{j\min}^{b Q_{0j}}$$

где  $Q_j$  – оценка  $j$ -го единичного показателя;  $Q_{0j}$  – значение  $j$ -го единичного показателя;  $Q_{j\min}$  – минимальная оценка  $j$ -го единичного показателя;  $Q_{j\max}$  – максимальная оценка единичного показателя;  $b$  – параметр, определяющий темп роста оценки  $j$ -го единичного показателя.

Параметр  $b$  определяется из условия равенства оценки  $j$ -го единичного показателя  $Q_j$  единице при значении  $j$ -го единичного показателя  $Q_{0j}$ , равного соответствующему базовому значению  $j$ -го единичного показателя, и рассчитывается в соответствии с соотношением

$$b = \left( -\frac{\ln Q_{j\max}}{\ln Q_{j\min}} \right)^{\frac{1}{Q_{0j}^{b_{0j}}}}, \text{ где } Q_{0j}^{b_{0j}} \text{ – базовое значение } j\text{-го единичного показателя.}$$

Количественное определение коэффициентов весомости  $g_j$  единичных показателей качества в (1) осуществляется экспертным методом ранжирования или парного сопоставления [7].

Расчет оценки ТУ РТС производится в соответствии с выражением (1) одним из способов при  $\gamma = [-1, 0, 1, 2]$ . Однако на этапах разработки и производства РТС часто невозможно точно определить значения показателей ТУ, можно только предполагать, что значения показателей будут лежать в определенном интервале с некоторой вероятностью. Неопределенность значений единичных показателей РТС, а также субъективный характер

выбора вида среднего взвешенного приводит к значительной случайной и систематической погрешностям оценки ТУ [8]. Возникновение случайной погрешности обуславливается вероятностным характером значений единичных показателей. Появление систематической погрешности вызвано способом оценивания ТУ (средние величины обладают свойством мажорантности или смещенности).

В целях повышения правильности и точности оценки ТУ РТС (уменьшения систематической и случайной погрешностей) предлагается использовать статистический метод оценки неизвестного параметра (оценки ТУ) – метод максимального правдоподобия (ММП), основанный на максимизации функции правдоподобия. Для этого предлагается проводить многократную оценку ТУ различными средними взвешенными при  $\gamma = [-1, 0, 1, 2]$  и статистическую обработку результатов оценивания. Основная идея метода состоит в том, что при оценке ТУ на основе полученных значений  $Q_{\text{ср.гарм}}, Q_{\text{ср.геом}}, Q_{\text{ср.арифм}}, Q_{\text{ср.кв}}$  в качестве обобщенной оценки ТУ необходимо выбрать такое значение  $Q$ , которое обеспечивает максимум многомерной плотности распределения вероятности случайного вектора  $f(Q, Q_{\text{ср.гарм}}, Q_{\text{ср.геом}}, Q_{\text{ср.арифм}}, Q_{\text{ср.кв}})$ . Многомерная плотность распределения вероятности случайных значений оценок ТУ рассматривается как функция числовых характеристик закона распределения вероятности.

$$\text{Эта функция } L = f(Q, Q_{\text{ср.гарм}}, Q_{\text{ср.геом}}, Q_{\text{ср.арифм}}, Q_{\text{ср.кв}}, \sigma_{\text{ср.гарм}}^2, \sigma_{\text{ср.геом}}^2, \sigma_{\text{ср.арифм}}^2, \sigma_{\text{ср.кв}}^2),$$

называемая функцией правдоподобия, показывает на сколько то или иное значение оценки ТУ «более правдоподобно», чем другие. Функция правдоподобия достигает максимума при значении оценки ТУ являющейся наиболее эффективной, т. е. несмещенной оценке, имеющей наименьшую дисперсию из всех возможных оценок ТУ. В соответствии с центральной предельной теоремой (сумма большого числа независимых случайных величин имеет распределение близкое к нормальному) средневзвешенные оценки ТУ распределены по нормальному закону. В соответствии с этим, конечное выражение оценки ТУ примет вид [9]  $Q = g_{\text{ср.гарм}} Q_{\text{ср.гарм}} + g_{\text{ср.геом}} Q_{\text{ср.геом}} + g_{\text{ср.арифм}} Q_{\text{ср.арифм}} + g_{\text{ср.кв}} Q_{\text{ср.кв}}$ , где  $Q$  – оценка ТУ РТС;  $g_{\text{ср.гарм}}$  – весовой коэффициент средней гармонической взвешенной оценки ТУ;  $Q_{\text{ср.гарм}}$  – средняя гармоническая взвешенная оценка ТУ;  $g_{\text{ср.геом}}$  – весовой коэффициент средней геометрической взвешенной оценки ТУ;  $Q_{\text{ср.геом}}$  – средняя геометрическая взвешенная оценка ТУ;  $g_{\text{ср.арифм}}$  – весовой коэффициент средней арифметической взвешенной оценки ТУ;  $Q_{\text{ср.арифм}}$  – средняя арифметическая взвешенная оценка ТУ;  $g_{\text{ср.кв}}$  – весовой коэффициент средней квадратической взвешенной оценки ТУ;  $Q_{\text{ср.кв}}$  – средняя квадратическая взвешенная оценка ТУ.

Расчет коэффициентов весомости соответствующих средневзвешенных оценок осуществляется в соответствии с выражениями

$$g_{\text{ср.гарм}} = \frac{\frac{1}{\sigma_{\text{ср.гарм}}^2}}{\frac{1}{\sigma_{\text{ср.гарм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.геом}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.арифм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.кв}}^2}}, \quad g_{\text{ср.геом}} = \frac{\frac{1}{\sigma_{\text{ср.геом}}^2}}{\frac{1}{\sigma_{\text{ср.гарм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.геом}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.арифм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.кв}}^2}},$$

$$g_{\text{ср.арифм}} = \frac{\frac{1}{\sigma_{\text{ср.арифм}}^2}}{\frac{1}{\sigma_{\text{ср.гарм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.геом}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.арифм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.кв}}^2}}, \quad g_{\text{ср.кв}} = \frac{\frac{1}{\sigma_{\text{ср.кв}}^2}}{\frac{1}{\sigma_{\text{ср.гарм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.геом}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.арифм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.кв}}^2}},$$

где  $\sigma_{\text{ср.гарм}}^2$  – дисперсия средней гармонической взвешенной оценки ТУ;  $\sigma_{\text{ср.геом}}^2$  – дисперсия средней геометрической взвешенной оценки ТУ;  $\sigma_{\text{ср.арифм}}^2$  – дисперсия средней арифметической взвешенной оценки ТУ;  $\sigma_{\text{ср.кв}}^2$  – дисперсия средней квадратической взвешенной оценки ТУ.

Дисперсии средних взвешенных оценок ТУ определяются в соответствии с выражением:

$$\sigma_{\text{ср}}^2 = \sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial Q_{\text{ср}}}{\partial Q_j} \right)^2 \sigma_j^2 + \sum_{j=1}^m \left( \frac{\partial Q_{\text{ср}}}{\partial g_j} \right)^2 \sigma_{g_j}^2, \text{ где } \sigma_{\text{ср}}^2 \text{ – дисперсия средней взвешенной оценки ТУ;}$$

$\frac{\partial Q_{\text{ср}}}{\partial Q_j}$  – частная производная средней взвешенной оценки ТУ по  $j$ -му единичному показателю;

$\sigma_j^2$  – дисперсия  $j$ -го единичного показателя;  $\frac{\partial Q_{\text{ср}}}{\partial g_j}$  – частная производная средней взвешенной оценки ТУ по  $j$ -му коэффициенту весомости;  $\sigma_{g_j}^2$  – дисперсия  $j$ -го коэффициента весомости.

Дисперсия обобщенной оценки ТУ  $\sigma_Q^2$  определяется в соответствии с выражением

$$\sigma_Q^2 = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_{\text{ср.гарм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.геом}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.арифм}}^2} + \frac{1}{\sigma_{\text{ср.кв}}^2}}.$$

Результат оценки ТУ РТС при наличии неопределенности измерения исходных данных носит вероятностный характер и может быть представлен в виде отрезка

$Q_{TV} \in [Q - t_P \sigma_Q; Q + t_P \sigma_Q]$ .. с вероятностью  $P$ , где  $Q_{TV}$  – результат оценки ТУ;  $t_P$  – аргумент нормальной функции распределения при доверительной вероятности  $P$ .

Таким образом, величина дисперсии  $\sigma_Q^2$  оценки ТУ РТС всегда будет меньше величины дисперсии  $\sigma_{\text{ср}}^2$  отдельной средней взвешенной оценки ТУ, что обеспечит повышение точности оценки ТУ РТС. Правильность оценки ТУ РТС повышается за счет уменьшения систематической погрешности при усреднении средневзвешенных оценок.

### Заключение

Предложенный методический подход оценки ТУ РТС позволяет оценить качество (технический уровень) РТС. Новизна предложенного подхода заключается в проведении многократной оценки ТУ разными средними взвешенными и статистической обработкой результатов оценивания. В результате преимущество описанного подхода по сравнению с известными заключается в более точной, правильной и достоверной оценке полученного результата (оценке ТУ РТС).

Таким образом, оценка ТУ образцов по предложенной методике позволит решать следующие задачи: осуществлять контроль качества и выбор наилучших образцов РТС; обосновывать целесообразность снятия с производства РТС; прогнозировать требования к РТС, их качеству и ТУ; стимулировать повышение качества и объемы производства РТС; обосновывать появление новых видов РТС, определять направления их развития; проводить сертификацию РТС; проводить оценку научно-технического уровня разрабатываемых и действующих стандартов на РТС.

# EVALUATION OF THE RADIO-TECHNICAL SYSTEMS TECHNICAL LEVEL BY MAXIMUM LIKELIHOOD TECHNIQUE

Y.Y. BRAZGIN, A.V. HRUNKEVICH

## Abstract

Methodological approach in evaluation of the radio-technical systems technical level in case of imperfect initial data is presented. Obtained result of the technical level evaluation may be used to make decisions on design, production and operation of radio-technical systems.

## Список литературы

1. *Чердынцев В.А.* Радиотехнические системы. Минск, 1988.
2. ГОСТ 15467-79. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения.
3. *Хамханова Д.Н.* Основы квалиметрии. Улан-Удэ, 2003.
4. *Азгальдов Г.Г., Райхман Э.П.* О квалиметрии. М., 1973.
5. *Кини Р. Л.* Принятие решений при многих критериях предпочтения и замещения. М., 1981.
6. *Брызгин Е.Ю., Гринкевич А.В.* // Наука и военная безопасность. 2012. № 4. С. 41–44.
7. *Саати Т., Кернс К.* Аналитическое планирование. Организация систем. М., 1991.
8. *Брызгин Е.Ю., Гринкевич А.В., Савенко С.А.* // Наука и военная безопасность. 2012. № 3. С. 31–36.
9. *Шишкин И.Ф.* Теоретическая метрология. Часть 1. Общая теория измерений. СПб, 2010.