

УДК 006.951.1:621.396.96

**Н.М. Гришко (голова правл. ПАТ «СКБ РТУ»), В.В. Карнаух (нач. відділу),  
В.В. Марченко (канд. техн. наук)  
ОАО «Гопаз», г. Донецк**

## **МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ КАНАЛОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОСИГНАЛОВ ИСТОЧНИКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ**

*Рассматривается методика метрологической аттестации измерительных каналов информационно-измеряющей системы радиотехнического комплекса объектов пассивной локации. Приведены оценки дисперсии ошибки измерения частоты при приёме нестационарных сигналов.*

**Ключевые слова:** радиосигнал, стенд-имитатор, измерительный канал, метрологическая аттестация, нестационарный сигнал.

### **Общая постановка проблемы**

Согласно концепции аттестации каналов информационно-измерительной системы станции радиотехнического контроля (РТК) «Кольчуга» [1] должны быть проведены полевые испытания для выполнения целенаправленных метрологических экспериментов. Стратегия проводимых экспериментов должна предусматривать использование частотного диапазона, охватывающий все свойства и характеристики сигналов радиолокационных станций (РЛС), зондирующие посылки которых не сводятся к импульсу с монохроматическим заполнением. Это дает основание на получение дополнительной информации об источниках излучения по результатам анализа тонкой спектральной структуры текущих спектров зондирующих посылок.

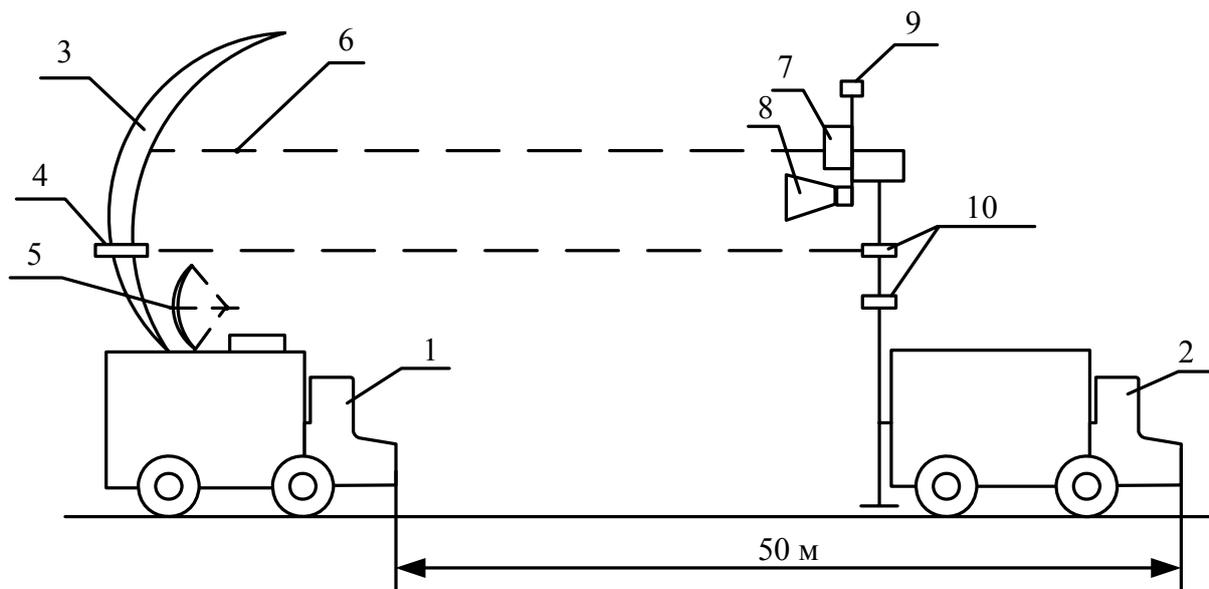
### **Постановка задачи исследования**

Экспериментам по аттестации каналов измерения предшествует предварительная подготовка технических средств и стенда имитатора. Такая подготовка выполняется в соответствии с основными положениями РТК метрологической аттестации каналов измерения длительности и периода следования зондирующих импульсов, и включают:

- развертывание станции и стенда-имитатора в полевых условиях;
- подготовку к работе и контроль основных параметров станции и стенда-имитатора штатными средствами согласно инструкциям по эксплуатации;
- оценку уровня паразитных (фоновых) излучений стенда-имитатора;
- оценку коэффициента стоячей волны (КСВ) в антенном фидере стенда-имитатора в выбранных частотных диапазонах;
- задание уровней радиоизлучения стенда, обеспечивающих постоянное соотношение сигнал-шум на входе акустооптического анализатора спектра (АОАС).

### **Основные результаты работы**

Развертывание станции и стенда-имитатора. Станция радиотехнического контроля (машина 1) и стенд-имитатор (машина 2), приведенные на рис. 1, развертываются на ровной горизонтальной площадке на расстоянии 50м вдали от линий электропередач, ограждений, опор, стен и других объектов, способных эффективно отражать излучение стенда-имитатора. Между антеннами станции и стенда должны выполняться условия прямой видимости. Не допускаются в пределах диаграммы направленности антенны стенда пребывание деревьев, опор, транспортных средств и других объектов, способных создать радиотень или отражение радиоволн.



- 1 – машина 1; 2 – машина 2; 6 – фокус зеркала; 7 – блок БА; 8 – антенна КС;  
 3 – зеркало отражателя; 4 – визир; 9 – откидная мишень на блоке БА;  
 5 – антенна БТА–5М, БТА–6М; 10 – метки белого цвета на колесе МУ

Рисунок 1 — Экспериментальная установка

После развертывания станции радиотехнического контроля и стенда – имитатора на местности производится их подготовка к работе и контроль основных параметров штатными средствами согласно инструкциям по эксплуатации. Оценивается работоспособность ИИС станции и генератора СВЧ радиоимпульсов стенда.

Оценка уровня фоновых излучений. При выключенном стенде станцией оценивается радиочастотная обстановка в окрестности выбранного полигона, где планируется проведение измерений. Не допускаются посторонние радиочастотные излучения со стороны размещения стенда-имитатора. Далее производится оценка уровня фоновых (паразитных) излучений стенда-имитатора. Для этого антенны станции и стенда ориентируются друг на друга. К выходу стенда вместо антенны подключается согласованная нагрузка, устанавливается уровень выходной мощности генератора соответствующим уровнем, поддерживаемому при выполнении основных измерений, и запускается режим последовательного генерирования сетки частот тестовых сигналов, излучаемых при основных измерениях. Станция радиотехнического контроля переводится в режим поиска источников радиочастотных излучений из направления стенда-имитатора. Частотный диапазон поиска – полный диапазон частот станции. Результаты поиска должны подтвердить отсутствие каких-либо излучений со стороны стенда-имитатора. При обнаружении излучений необходимо установить причину его возникновения: некачественное соединение элементов радиотракта стенда; недостаточная развязка СВЧ цепей; низкое качество экранирования и т.д., – и устранить ее.

Оценка коэффициента стоячей волны. Оценка КСВ производится в антенном фидере стенда-имитатора в выбранном частотном диапазоне. Для этого к выходу стенда подключается антенна, обеспечивающая работу в выбранном диапазоне частот, регулировкой уровня выходной мощности генератора и затухания аттенюатора устанавливается уровень мощности падающей волны, достаточный для измерения КСВ. Генератор переводится в режим генерирования сетки частот в выбранном диапазоне, в процессе чего определяются максимальные значения КСВ, которые не должны превышать заданных уровней мощностей источников радиоизлучения (ИРИ) типовых объектов: самолетные РЛС; РЛС ПВО и наземных служб; РЛС средств военно-морского флота [2].

Задание уровней радиоизлучения стенда-имитатора. Производится задание уровней радиоизлучения стенда, обеспечивающих постоянство соотношения сигнал-шум на входах формировате-

лей измерителей длительности и периода следования зондирующих импульсов. Для этого генератор стенда переводится в режим генерирования непрерывных гармонических сигналов с частотами, соответствующими сетке частот выбранного частотного диапазона, затухание, вносимое аттенуатором, увеличивается до значений порядка 10дБ или более того. Изменением программно задаваемых уровней выходной мощности генератора обеспечивается необходимое соотношение сигнал-шум на входах формирователей измерителей длительности и периода зондирующих импульсов ИИС. При этом оператор, работающий на стенде – имитаторе пользуется информацией, поступающей с ИИС станции радиотехнического контроля.

Метрологическая аттестации каналов измерения длительности и периода следования зондирующих импульсов. После выполненной подготовки производится оценивание качества измерения длительности и частоты заполнения зондирующих импульсов. Для этого стенд-имитатор переводится в режим генерирования импульсных последовательностей с программно заданными длительностями и частотами в выбранном диапазоне измерений. Уровни мощности импульсов установлены на предыдущем шаге подготовки измерений. На станции радиотехнического контроля измеряются и регистрируются периоды и длительности принятых импульсов [3]. Результаты измерения сравниваются с соответствующими величинами, передаваемых импульсных последовательностей. Вычисленные отклонения используются для получения оценок погрешностей измерения на основе статистической обработки.

Решающее значение на качество результатов оказывает длительность радиоимпульсов и закон изменения частоты в пределах длительности радиоимпульса. Поэтому в ходе экспериментов производится оценивание погрешности измерения частоты для максимальных значений длительности радиоимпульсов  $t_{\max}$  (квазистатический режим измерения), а затем, при минимальных значениях длительности  $t_{\min}$  (динамический режим измерения), когда динамическая ошибка измерений достигает своих предельно допустимых значений. При использовании АОАС необходимо учитывать особенности его работы, вызванные конечным временем восприятия радиосигнала [2]. С уменьшением длительности радиоимпульса резко ухудшается соотношение сигнал/шум в АОАС, что приводит практически к потере способности воспринимать сигналы и измерять его параметры. Снижение эффективности акустооптического преобразования вызвано рядом таких эффектов, как нелинейной зависимости мощности дифрагированного лазерного излучения от длительности радиоимпульса и уменьшения энергии принимаемого полезного сигнала на один фоточувствительный элемент датчика вследствие расширения спектра [4, 5]. Вышеуказанные эффекты приводят к тому, что без дополнительной обработки практически невозможно делать оценки несущей частоты для радиоимпульсов с длительностью меньше некоторой критической величины.

Анализ условий повторяемости результатов при измерении частоты заполнения зондирующих импульсов. Измерение частоты заполнения зондирующих импульсов в измерительных каналах ИИС осуществляется средствами акустооптического анализатора. Исследование свойств анализатора показали, что основными составляющими, связанными с разбросом результатов измерения является инструментальная и случайная составляющие погрешности измерений [2]. Измерения в реальных условиях, в том числе при выполнении метрологических экспериментов, требуют учета особенностей самого объекта измерений и их влияния на повторяемость получаемых результатов. К числу таковых следует отнести непостоянство параметров частотного заполнения зондирующего сигнала и конечное время проведения измерения. Конечность интервала приводит к отклонению экспериментальных данных от их вероятностных значений. Существенность этих факторов связано с тем, что выделенные типовые объекты ИРИ в процессе работы могут перестраивать не только частоту излучения, но и длительность зондирующих импульсов. В комплексах пассивной локации для обнаружения и идентификации современных ИРИ попадают и интересующие нас объекты, частота сигналов которых является нестационарной случайной функцией [2], вероятностные параметры которой должны определяться не по одной, а по нескольким реализациям этой функции на определенном интервале времени. При рациональном выборе интервала времени наблюдения (обнаружения)  $T_n$  можно получить минимальные отклонения экспериментальных значений, подтверждающих дос-

товерность приёма. С учетом этого, дисперсия ошибки измерения частоты нестационарного случайного процесса может быть определена, согласно [6, 7], следующим образом

$$\sigma_{\omega}^2 = M\left\{\left[\omega(t, T_n) - M[\omega(t)]\right]^2\right\} = \sigma_{\Delta\omega}^2 + \Delta_{\omega}^2, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\Delta\omega}^2 = M\left[\left\langle\left(\frac{1}{T}\right) \int_{t-T_n/2}^{t+T_n/2} \{\omega(t') - M[\omega(t')]\} dt'\right\rangle^2\right]$  – составляющая погрешности, связанная с флуктуациями частоты  $\Delta\omega(t)$ ;

$$\Delta_{\omega}^2 = \Delta_{\omega}^2(t) = \left\langle\left(\frac{1}{T_n}\right) \int_{t-T_n/2}^{t+T_n/2} \{M[\omega(t')] - M[\omega(t)]\} dt'\right\rangle^2$$
 – составляющая погрешности, связанная с систематическими изменениями частоты сигнала.

С учетом того, что  $\Delta\omega(t)$  представляет стационарную и эргодическую функцию на интервале времени  $T_n$ , выражение для  $\sigma_{\Delta\omega}^2$  может быть приведено к виду

$$\sigma_{\Delta\omega}^2 = \left(\frac{2}{T_n^2}\right) \int_0^{T_n} (T_n - \tau) R_{\omega}(\tau) d\tau, \quad (2)$$

откуда следует, что при  $\frac{\tau}{T_n} \ll 1$ , функция корреляции  $R_{\omega}(\tau)$  быстро затухает и, следовательно,

$\sigma_{\Delta\omega}$  убывает с ростом  $T_n$  как  $\frac{1}{\sqrt{T_n}}$ . Если величину математического ожидания отклонения нестационарной функции частоты аппроксимировать полиномом [6]:

$$M[\omega(t')] - M[\omega(t)] = \sum_{k=1}^N a_k (t' - t)^k, \quad (3)$$

где  $a_k$  – коэффициенты аппроксимации, а  $N$  – целое число, определяющее количество слагаемых полинома, то систематическая составляющая, связанная с непостоянством частоты, может быть найдена из выражения:

$$\Delta_{\omega}^2 = \sum_{k=1}^N a_{2k} T_n^{2k} / 2^{2k} (2k + 1). \quad (4)$$

Если  $M[\omega(t')] - M[\omega(t)] = 0$  или является линейной функцией  $t'$ , то  $\Delta_{\omega} = 0$ , а в случае квадратичной зависимости имеем  $\Delta_{\omega}^2 = a_2 T_n^2 / 12$ .

Из приведенных результатов следует, что систематическая составляющая погрешности, связанной с нестационарностью функции частоты, растет с увеличением интервала измерения  $T_n$ . Таким образом, погрешность определения среднего значения частоты может быть найдена по формуле:

$$\sigma_{\Delta\omega}^2 = (2/T_n) \int_0^{T_n} (T_n - \tau) R_{\omega}(\tau) d\tau + \Delta_{\omega}^2. \quad (5)$$

В случае постоянства частоты измеряемого сигнала или изменения ее по линейному закону – линейная частотная модуляция, – дисперсия ошибки измерения определится следующим образом

$$\sigma_{\Delta\omega}^2 = (2/T_n) \int_0^{T_n} (T_n - \tau) R_{\omega}(\tau) d\tau. \quad (6)$$

Задавшись требуемой величиной погрешности, меньшей какой-либо  $\sigma_{\omega \text{ мин}}$ , из выражения (5) или (6) можно найти необходимый интервал времени измерения  $T_n$ , которое должно быть со-

гласовано с ограничением на минимальное значение, связанное с временным разрешением обработки сигнала в акустооптическом спектроанализаторе.

### Выводы

1. Предложена методика метрологических экспериментов по аттестации каналов измерения основных параметров радиоимпульсов при их обнаружении РТК.
2. Приведены оценки дисперсии ошибки измерения частоты нестационарного случайного процесса и её составляющие погрешности, связанные с флуктуациями частоты и с систематическими изменениями частоты сигнала.
3. Данные значения оценок дисперсии ошибки являются необходимыми для выбора интервала измерения источников радиоизлучения, обнаружения и идентификации класса или типа объектов пассивной локации.

### Список использованной литературы

1. Гришко Н.М. Концепция метрологической аттестации ИИС идентификации источников радиоизлучений / Н.М. Гришко, В.В. Марченко, Ю.В. Рябкин // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: “Обчислювальна техніка та автоматизація”. — 2012. — Вип. 22(200). — С.159–163.
2. Методы и средства идентификации источников радиоизлучений / Е.А. Башков, А.Г. Воронцов, Н.М. Гришко и др.; под ред. проф. А.А. Зори. — Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ», 2010. — 345 с.
3. Протоколы испытания системы измерения несущей частоты и временных параметров информативного сигнала. — Служебная информация ОАО «Топаз».
4. Корпел А. Акустооптика / А. Корпел. — М.: Мир, 1993. — 304 с.
5. Магдич Л.Н. Акустооптические устройства и их применение / Л.Н. Магдич, В.Я. Молчанов. — М.: Сов. радио, 1978. — 306 с.
6. Валитов Р.А. Радиотехнические измерения / Р.А. Валитов, В.Н. Сретенский. — М.: Советское радио, 1970. — 336 с.
7. Лившиц Н.А. Вероятностный анализ систем автоматического управления / Н.А. Лившиц, В.Н. Пугачев. — М.: Советское радио, 1963. — 796 с.

Надійшла до редакції:  
15.02.2012р.

Рецензент:  
д-р техн.наук, проф. Зорі А.А.

*N.M. Grishko, V.V. Karnaukh, V.V. Marchenko. Metrological Certification of Radio Channels Measurements of Radio Sources. The technique of metrological certification channels measuring of information-measuring system of the complex radio objects passive location is considered. The estimates of the measurement error variance in the frequency are provided with non-stationary signals admission.*

**Key words:** radio range, stand-simulator, measuring channel, metrological certification, non-stationary signals.

*М.М. Грішко, В.В. Карнаух, В.В. Марченко. Метрологічна атестація каналів вимірювання радіосигналів джерел радіовипромінювання. Розглядається методика метрологічної атестації вимірювальних каналів інформаційно-вимірювальної системи радіотехнічного комплексу об'єктів пасивної локації. Наведено оцінки дисперсії помилки виміру частоти при прийомі нестационарних сигналів.*

**Ключові слова:** радіосигнал, стенд-імітатор, вимірювальний канал, метрологічна атестація, нестационарний сигнал.

©Гришко Н.М., Карнаух В.В., Марченко В.В., 2012