

DOI: 10.18721/JCSTCS.111103

УДК 621.396.96

## МЕТОД ОТОЖДЕСТВЛЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ОТМЕТОК ЦЕЛЕЙ ОТ АКТИВНЫХ И ПАССИВНЫХ СТАНЦИЙ С ПОМОЩЬЮ Z-ТЕСТА ФИШЕРА

*А.В. Кваснов*

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
Санкт-Петербург, Российская Федерация

Рассмотрен метод отождествления отметок целей, полученных совмещенными пассивной и активной радиолокационными станциями. Метод основан на использовании Z-теста Фишера, позволяющего статистически проверять гипотезы о принадлежности (или раздельном наблюдении) обнаруженных объектов. В основе метода – статистические распределения пеленгов, полученных пассивной и активной станциями. Опираясь на предположения об отклонении распределения пеленгов активной станции от распределения генеральной совокупности пассивной станции, строится математическая модель Z-теста. Показаны условия, при которых обеспечивается выполнение метода, а также ограничения, не позволяющие использовать Z-тест. Рассмотрен алгоритм последовательного применения метода, и проведено имитационное моделирование в среде MatLab 2012, показавшее его эффективность в совмещенных радиолокационных комплексах

**Ключевые слова:** отождествление отметок цели; радиолокационная информация; Z-тест Фишера; формуляр цели; радиолокационный комплекс.

**Ссылка при цитировании:** Кваснов А.В. Метод отождествления радиолокационных отметок целей от активных и пассивных станций с помощью Z-теста Фишера // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Информатика. Телекоммуникации. Управление. 2018. Т. 11. № 1. С. 28–37. DOI: 10.18721/JCSTCS.111103

## THE METHOD OF IDENTIFYING RADAR TARGET MARKS FROM ACTIVE AND PASSIVE STATIONS BY MEANS OF Z-TEST

*A.V. Kvasnov*

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russian Federation

The article describes a method of identification of target marks received by combined passive and active radar stations. The method is based on Fisher's Z-test, which allows to statistically test the hypothesis of belonging (or separate observation) of detected objects. The basis of this method are the statistical distributions of bearings obtained with passive and active stations. A mathematical model of the Z-test is built on the basis of assumptions about the deviation of the distribution of the active station's bearing from the distribution of the total population of the passive station. We have established the conditions providing the execution of the method, as well as the restrictions that do not allow to use the Z-test. We have considered an algorithm of consecutive application of the method and have conducted a simulation with MatLab 2012, which proved the method's effectiveness in combined radar complexes.

**Keywords:** identification marks of the target; radar information; Fisher's Z-test; form of the target; radar complex.

**Citation:** Kvasnov A.V. The method of identifying radar target marks from active and passive stations by means of Z-test. St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems, 2018, Vol. 11, No. 1, Pp. 28–37. DOI: 10.18721/JCSTCS.11103

**Введение**

В современных радиолокационных комплексах (РЛК) одной из важных проблем остается методика отождествления (сличения) целей в совмещенных средствах освещения воздушной и надводной обстановки<sup>1</sup>. Такими совмещенными средствами, как правило, являются пассивные и активные РЛС, обеспечивающие устойчивое обнаружение отметок целей и обработку сигнала на уровне комплексирования радиолокационной информации [1]. Данная проблема актуальна как для авиационных комплексов, где могут быть интегрированы несколько станций различного типа и класса, так и для надводных средств, имеющих в своем составе до десятка таких станций [2] (рис. 1).

Существуют принципиальные различия в обработке радиолокационной информации активной и пассивной РЛС. Активные станции излучают свой собственный зондирующий сигнал и принимают его отраженный сигнал от цели, в то время как работа пассивных станций основана на

приёме сигнала от источника радиоизлучения, в качестве которого могут выступать радиотехнические средства противника [3]. Сектор обнаружения пассивных и активных средств радиолокации может существенно отличаться. Это объясняется, в первую очередь, условиями распространения радиоволн. В активных РЛС мощность принимаемого сигнала обратно пропорциональна четвертой степени дальности до объекта –  $P_{\text{АКТ}} \sim \frac{1}{D^4}$ , в пассивных – квадрату расстояния –  $P_{\text{ПАС}} \sim \frac{1}{D^2}$  [4]. Можно утверждать, что в большинстве случаев пассивные РЛС имеют преимущество перед активными РЛС за счет более раннего времени обнаружения объектов – целей.

Пассивные станции принимают информацию, полученную от объекта, в виде формуляра цели, в котором содержатся сведения о характеристиках сигнала (несущая частота, длительность импульсов, период их следования и пр.), а также угловые координаты цели. Эти данные можно пред-



Рис. 1. Зоны обнаружения совмещенных РЛС

Fig. 1. Combined radar detection zones

<sup>1</sup> Дудник П.И., Ильчук А.Р., Татарский Б.Г. Многофункциональные радиолокационные системы: Учеб. пособие для вузов. М.: Дрофа, 2007. 283 с.

ставить в виде вектора:

$$I_{\text{Пас.РЛС}} = [f_{\text{нес}} \quad \tau \quad T \quad \varepsilon_{\text{ПС}} \quad \beta_{\text{ПС}}]^T, \quad (1)$$

где  $f_{\text{нес}}$  – несущая частота принимаемого сигнала;  $\tau$  – длительность импульсов излучаемого объекта;  $T$  – период следования импульсов излучаемого объекта;  $\varepsilon_{\text{ПС}}$  – азимутальный угол пассивной РЛС, на котором обнаружен объект;  $\beta_{\text{ПС}}$  – угол места РЛС, на котором обнаружен объект.

Полученных данных, как правило, недостаточно для определения координат цели, поскольку в наличии имеются только пеленги объекта. По этой причине необходимо иметь дополнительные информационные данные, которые могут быть получены с помощью активной РЛС. Та, в свою очередь, способна обнаруживать объект и путем обработки информации формировать формуляр цели, содержащий угловые координаты объекта, расстояние до него и его радиальную скорость:

$$I_{\text{Акт.РЛС}} = [D \quad V_{\text{рад}} \quad \varepsilon_{\text{АС}} \quad \beta_{\text{АС}}]^T, \quad (2)$$

где  $D$  – дальность до обнаруженной цели;  $V_{\text{рад}}$  – радиальная скорость наблюдаемого объекта;  $\varepsilon_{\text{АС}}$  – азимутальный угол активной РЛС, на котором обнаружена цель;  $\beta_{\text{АС}}$  – угол места РЛС, на котором обнаружена цель.

Чтобы существовала возможность совместного использования информации о наблюдаемом объекте, следует осуществить комплексирование формуляров цели от пассивной и активной РЛС. Иначе говоря, требуется отождествить наблюдаемые объекты. Это позволит иметь единый формуляр цели, содержащий сведения из выражений (1) и (2).

### Постановка задачи

Комплексирование радиолокационной информации происходит на этапе третичной обработки, где осуществляется отождествление цели пассивной и активной РЛС  $I_{\text{ОТЖД}} = I_{\text{Акт.РЛС}} * I_{\text{ПРЛС}}$  [5]. Таким образом, совместное использование каналов пассивной и активной РЛС в составе РЛК увеличивает его эффективность и позволяет более точно определять координа-

ты цели и более детально классифицировать цель.

Можно утверждать, что к моменту отождествления отметок цели объем информационных данных, полученных от пассивной станции, существенно превышает объем информационных данных от активной станции. Первоначально пассивная станция за определенный период времени  $t$  накапливает  $n$  дискретных измерений отметки цели по каждому оцениваемому параметру из выражения (1). Полученные данные вектора (1) можно представить в виде матрицы:

$$I_{\text{ПС}} = \begin{bmatrix} f_{\text{нес}}(t_1) & f_{\text{нес}}(t_2) & \dots & f_{\text{нес}}(t_n) \\ \tau(t_1) & \tau(t_2) & \dots & \tau(t_n) \\ T(t_1) & T(t_2) & \dots & T(t_n) \\ \varepsilon_{\text{ПС}}(t_1) & \varepsilon_{\text{ПС}}(t_2) & \dots & \varepsilon_{\text{ПС}}(t_n) \\ \beta_{\text{ПС}}(t_1) & \beta_{\text{ПС}}(t_2) & \dots & \beta_{\text{ПС}}(t_n) \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где  $f_{\text{нес}}(t_n)$  – несущая частота принимаемого сигнала излучающего объекта на  $n$ -отсчете;  $\tau(t_n)$  – длительность импульсов излучающего объекта на  $n$ -отсчете;  $T(t_n)$  – период следования импульсов излучающего объекта на  $n$ -отсчете;  $\varepsilon_{\text{ПС}}(t_n)$  – азимутальный угол, на котором обнаружен излучающий объект на  $n$ -отсчете;  $\beta_{\text{ПС}}(t_n)$  – угол места, на котором обнаружен излучающего объекта на  $n$ -отсчете.

Активная станция, в свою очередь, принимает  $m$  дискретных измерений отметки цели, которые также можно представить в виде матрицы:

$$I_{\text{АС}} = \begin{bmatrix} D(t_1) & D(t_2) & \dots & D(t_m) \\ V_{\text{рад}}(t_1) & V_{\text{рад}}(t_2) & \dots & V_{\text{рад}}(t_m) \\ \varepsilon_{\text{АС}}(t_1) & \varepsilon_{\text{АС}}(t_2) & \dots & \varepsilon_{\text{АС}}(t_m) \\ \beta_{\text{АС}}(t_1) & \beta_{\text{АС}}(t_2) & \dots & \beta_{\text{АС}}(t_m) \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где  $D(t_m)$  – дальность до обнаруженной цели на  $n$ -отсчете;  $V_{\text{рад}}(t_m)$  – радиальная скорость наблюдаемого объекта на  $n$ -отсчете;  $\varepsilon_{\text{АС}}(t_m)$  – азимутальный угол, на котором обнаружена цель на  $n$ -отсчете;  $\beta_{\text{АС}}(t_m)$  – угол места, на котором обнаружена цель на  $n$ -отсчете.

Как правило,  $m \ll n$  по причине более раннего обнаружения цели средствами

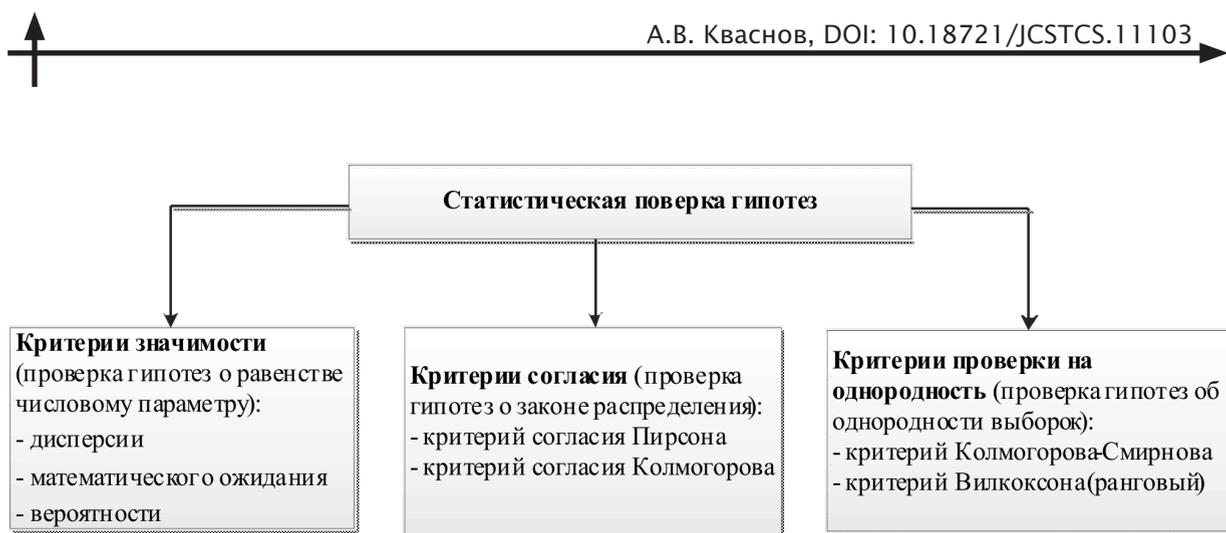


Рис. 2. Применение статистической проверки гипотез

Fig. 2. Testing of statistical hypotheses

пассивной локации. К моменту обнаружения цели активными средствами локации пассивные средства могут накопить до нескольких десятков отметок.

По полученным данным (3) и (4) следует отождествить объекты, т. е. принять одну из двух альтернативных гипотез:

обнаруженные отметки цели от пассивной и активной станции принадлежат одному объекту;

каждая из станций наблюдает различные объекты с разными радиолокационными свойствами.

Таким образом, *цель статьи* – разработка метода отождествления наблюдаемых объектов активной и пассивной радиолокационными станциями. На основе имеющихся данных об объекте (формуляров цели от пассивной и активной РЛС) необходимо выработать алгоритм, позволяющий принять решение об обнаружения единой отметки цели, либо наличие двух отдельных наблюдаемых объектов.

### Обоснование математического аппарата

Результаты предыдущих исследований показали, что наиболее целесообразным методом решения задачи отождествления является применение методов *статистической проверки гипотез* [6]. Как известно, методы статистической проверки гипотез классифицируются в зависимости от используемых данных и применяемых усло-

вий<sup>2</sup> (рис. 2).

Алгоритм статистической проверки гипотез обычно представляет собой следующую последовательность действий:

1. По выборочным данным (в данном случае – координаты отметок целей) формулируют основную  $H_0$  и альтернативную  $H_1$  гипотезы.

2. Задают уровень значимости  $\alpha$  (0,05 или 0,01).

3. В зависимости от  $H_0$  определяют статистический критерий  $K$ , имеющий известное распределение.

4. По выборке и формуле критерия  $K$  рассчитывают наблюдаемое значение критерия  $K_{ЭМП}$ .

5. В зависимости от вида  $H_1$  определяют вид критической области  $W$  и критические точки по таблице для распределения критерия  $K$ .

6. По результатам проверки  $K_{ЭМП} \in W$  делают вывод о принятии или отклонении гипотезы  $H_0$ .

7. Формулируют общий вывод исходя из поставленной задачи.

### Выбор критерия для отождествления целей

Если обратить внимание на выражения

<sup>2</sup> Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учеб. пособие для вузов. 9 изд., стер. М.: Высш. школа, 2003. 479 с.

(1) и (2), общим параметром для обоих векторов будет значение угловых координат  $\varepsilon(t)$  и  $\beta(t)$ . Отождествление принимаемых отметок необходимо осуществлять по этим параметрам. Причем более информативным будет азимутальная координата  $\varepsilon(t)$ . Это объясняется тем, что обнаруживаемые объекты над горизонтом, как правило, имеют малый угол места, и им часто пренебрегают при решении инженерных задач.

Для современных активных РЛС зона обнаружения может достигать 100–150 км, в то время как дальность действия пассивных РЛС существенно зависит от энергопотенциала ИРИ и может составлять 200–300 км [7]. На таком расстоянии погрешность определения азимутальной координаты объекта будет существенной. Можно сказать, что задачей отождествления на первом этапе является, в первую очередь, *уменьшение вероятности ложного отождествления* при возможном пропуске отождествления цели, обнаруженной совмещенными РЭК.

Таким образом, наиболее целесообразно для отождествления отметок целей использовать критерий согласия Фишера (или Z-тест), позволяющий применять его для проверки равенства средних значений при известной дисперсии генеральной совокупности или при оценке выборочного среднего стандартизованных значений [8].

### Z-тест (Z-критерий Фишера) для отождествления целей

Алгоритм применения Z-теста для ото-

ждествления отметок целей, полученных от пассивного канала РЛС и активного канала РЛС, будет иметь следующую последовательность этапов:

1. В качестве нулевой гипотезы  $H_0$  предлагают использовать принадлежность полученной выборки азимутального угла активной РЛС  $\varepsilon_{\text{Ак.РЛС}} = \varepsilon(\varepsilon_1 \ \varepsilon_2 \ \dots \ \varepsilon_N)$  генеральной совокупности распределения азимутального угла пассивной РЛС  $F = F(\varepsilon_{\text{Пас.РЛС}})$ :

$$\varepsilon_{\text{Ак.РЛС}} \in F(\varepsilon_{\text{Пас.РЛС}}).$$

2. Уровень значимости  $\alpha$  выбирается исходя из тактических задач отождествления целей. При этом возможны следующие варианты:

- гипотеза  $H_0$  верна, и ее принимают (правильное отождествление);
- гипотеза  $H_0$  неверна, и ее отвергают, принимая гипотезу  $H_1$  (отсутствие отождествления);
- гипотеза  $H_0$  верна, но ее отвергают согласно правилу проверки (пропуск отождествления) – ошибка первого рода;
- гипотеза  $H_0$  неверна, но ее принимают согласно правилу проверки (ложное отождествление) – ошибка второго рода.

Уровень значимости  $\alpha$  – это вероятность ошибки первого рода, т. е. вероятность того, что будет принята гипотеза  $H_1$ , если на самом деле для генеральной совокупности верна гипотеза  $H_0$ .

Вероятность ошибки второго рода обозначают  $\beta$  – это вероятность того, что бу-

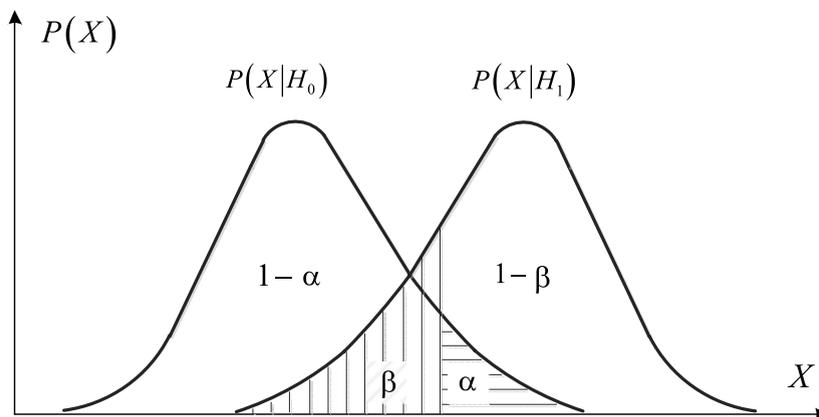


Рис. 3. Взаимосвязь ошибок первого и второго рода

Fig. 3. Interrelation of type I errors and type II errors

дет принята гипотеза  $H_0$ , если на самом деле верна гипотеза  $H_1$ .

Ошибки взаимосвязаны: с уменьшением ошибки  $\alpha$  первого рода возрастает вероятность ошибки  $\beta$  второго рода и наоборот (рис. 3).

В условиях обнаружения объекта пассивными и активными станциями целесообразно уменьшать ошибку второго рода (ложное отождествление) при заданной вероятности ошибки первого рода.

3. Критерий согласия  $K$  при отождествлении отметок целей будет иметь следующую Z-статистику:

$$z = \frac{\varepsilon_{\text{Акт.РЛС}} - \bar{\varepsilon}_{\text{Пас.РЛС}}}{S_x}, \quad (5)$$

где  $\varepsilon_{\text{Акт.РЛС}}$  — случайная величина выборочного среднего значения (азимутальный угол активной РЛС), рассчитываемого по формуле  $\varepsilon_{\text{Акт.РЛС}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i$ ;  $\bar{\varepsilon}_{\text{Пас.РЛС}}$  — зна-

чение математического ожидания генеральной совокупности (азимутальный угол пассивной РЛС);  $S_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$  — стандартная ошибка выборочного среднего, рассчитанного по выборке размера  $n$  из генеральной совокупности со среднеквадратическим отклонением  $\sigma$ .

4. В выражение (5) подставляют конкретные значения пеленгов для оценки эмпирических значений  $K_{\text{ЭМП}}$ .

5. Значения критерия позволяют судить о расхождении выборки с нулевой гипотезой. Из области допустимых значений критерия  $K$  следует выделить подобласть  $W$  таких значений, которые свидетельствовали бы о существенном расхождении данных с гипотезой  $H_0$ . Подобласть  $W$  является критической областью. В нашем случае критическая область выбирается так, чтобы вероятность попадания в нее была минимальной (равной  $\beta$ ) при заданном уровне  $\alpha$ .

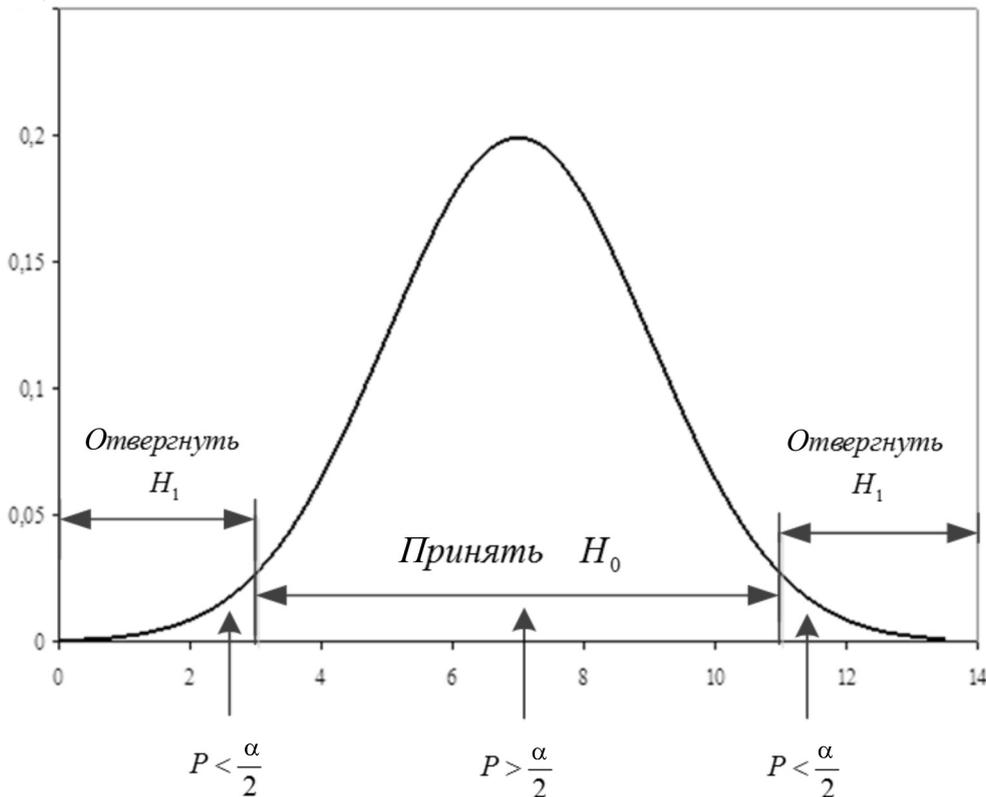


Рис. 4. Критерии принятия решений

Fig. 4. Criteria of make decision

Поскольку отождествление пеленгов от пассивной и активной станции происходит симметрично относительно линии визирования, границы критической области при заданном уровне значимости  $\alpha$  будут двухсторонними:  $P(K < K_{кр}) = \alpha / 2$  и  $P(K > K_{кр}) = \alpha / 2$  (рис. 4).

б) если  $K_{ЭМП}$  попадает в критическую область  $W$ , то гипотеза  $H_0$  об отождествлении отметок целей отвергается, и принимается гипотеза  $H_1$  (раздельное наблюдение отметок целей). Если  $K_{ЭМП}$  не попадает в критическую область, гипотеза  $H_0$  не отвергается (отождествление отметок целей).

Формально, Z-тест проверяет нулевую гипотезу  $H_0 : \varepsilon_{Пас.РЛС} = \varepsilon_{Акт.РЛС}$  против альтернативной гипотезы  $H_1 : \varepsilon_{Пас.РЛС} \neq \varepsilon_{Акт.РЛС}$  с уровнем значимости  $\alpha$ , где известно среднеквадратическое отклонение генеральной совокупности  $\sigma$ .

#### Условия использования Z-теста и его ограничения

В совмещенных РЛК задача отождествления часто сводится к минимизации ошибки второго рода:  $\beta \rightarrow \min$  (обычно ее необходимо принять менее 0,05) при заданном уровне ошибки первого рода  $\alpha = \alpha_{const}$ .

Иными словами, вероятность ложного отождествления должна быть существенно ниже, чем возможность пропуска отождествления. Это объясняется тем, что в дальней зоне наблюдения оценка координат объекта приводит к существенным погрешностям. По этой причине как пассивные РЛС, так и активные РЛС могут обнаружить либо одиночную, либо групповую цель. Целесообразность отождествления в таком случае не столь существенна (рис. 5).

Необходимыми условиями использования Z-теста в задачах отождествления являются:

1) количество измеренных дискретных отсчетов пассивной РЛС (генеральная совокупность) должно значительно превышать величину дискретных отсчетов активной станции (выборка);

2) генеральная совокупность измерений пассивной станции должна иметь нормальное распределение  $N(\mu_0, \sigma)$ ;

3) процесс отождествления должен периодически повторяться (обычно период повторения составляет 2–20 с, что позволяет обновлять информацию об единой целевой обстановке и отслеживать возможные изменения в циклах работы наблюдаемого

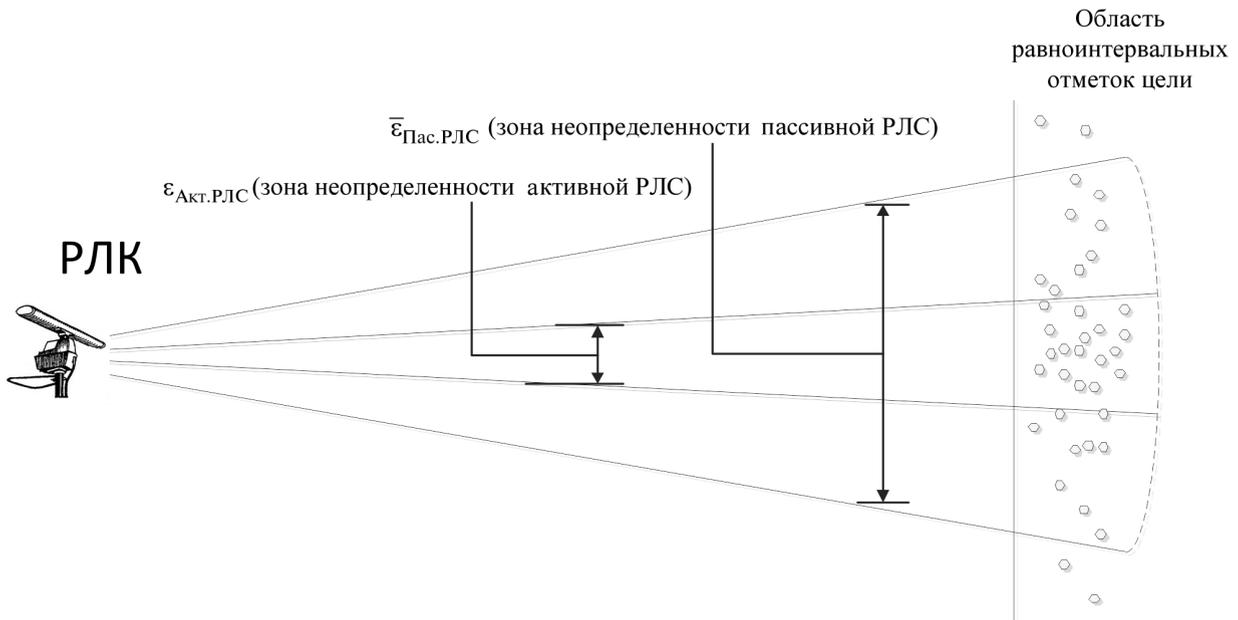


Рис. 5. Область обнаружения пассивной и активной РЛС

Fig. 5. Detection zone of passive and active radar



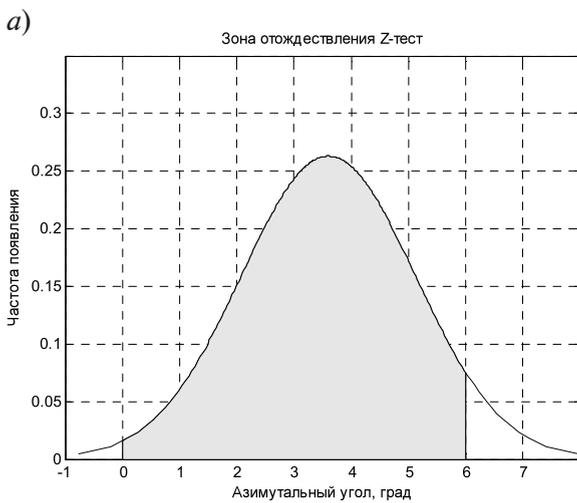
объекта, для которого характерны изменение режимов работы многофункциональных РЛС и возможные траекторные маневры).

**Имитационное моделирование Z-теста**

Имитационное моделирование процесса отождествления отметок целей проводилось в среде MatLAB 7.11 (рис. 6). В качестве исходных данных рассматривался сценарий обнаружения цели активным и пассивным

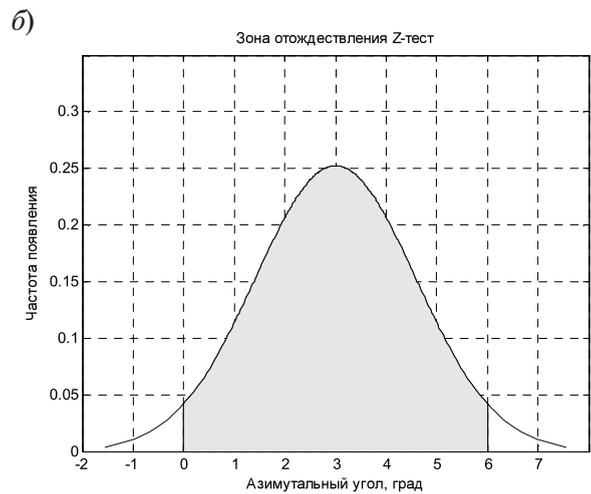
РЛС в зоне, ограниченной угловыми координатами  $[0^\circ; 3^\circ]$  – для азимутального угла наблюдаемого объекта.

Предполагалось, что пассивная РЛС обнаруживает объект раньше активной РЛС, которая успевает обработать  $T = 50$  отметок целей. По этой причине оценка угловых координат пассивной станцией имеет нормальное распределение  $\varepsilon_{\text{Пас.РЛС}} \in N(\bar{\varepsilon}_{\text{Пас.РЛС}}, \sigma)$ . Активная станция обнаруживает отметки



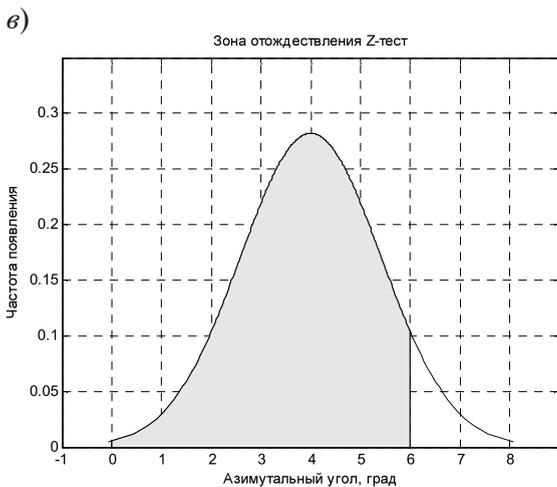
$$H_0 : \bar{\varepsilon}_{\text{Пас.РЛС}} = \varepsilon_{\text{Акт.РЛС}}$$

$$P(K_{\text{пр}} = K_{\text{ЭМП}} < K_{\text{лев}}) < 0,93$$



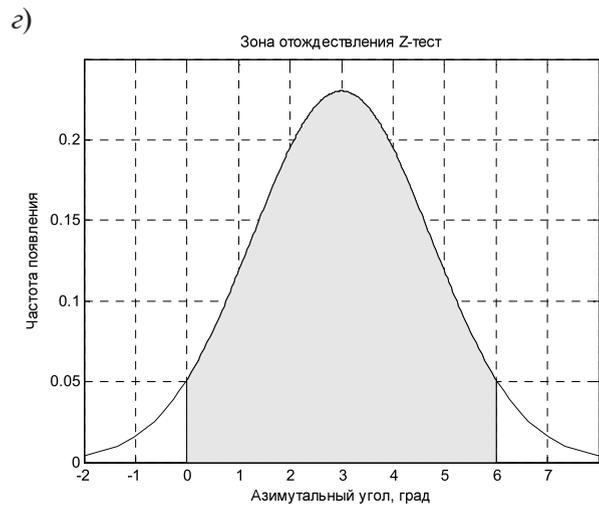
$$H_0 : \bar{\varepsilon}_{\text{Пас.РЛС}} = \varepsilon_{\text{Акт.РЛС}}$$

$$P(K_{\text{пр}} = K_{\text{ЭМП}} < K_{\text{лев}}) < 0,91$$



$$H_0 : \bar{\varepsilon}_{\text{Пас.РЛС}} = \varepsilon_{\text{Акт.РЛС}}$$

$$P(K_{\text{пр}} = K_{\text{ЭМП}} < K_{\text{лев}}) < 0,91$$



$$H_0 : \bar{\varepsilon}_{\text{Пас.РЛС}} = \varepsilon_{\text{Акт.РЛС}}$$

$$P(K_{\text{пр}} = K_{\text{ЭМП}} < K_{\text{лев}}) < 0,91$$

Рис. 6. Область отождествления: а – опыт 1; б – опыт 2; в – опыт 3; г – опыт 4

Fig. 6. Area of identification: а – experiment 1; б – experiment 2; в – experiment 3; г – experiment 4

цели согласно равномерному закону распределения  $\varepsilon_{\text{Акт.РЛС}} \in \text{Rav}(\varepsilon_{\text{min}}, \varepsilon_{\text{max}})$ .

По результатам моделирования можно утверждать, что критическая область во всех четырех проведенных опытах не превышает  $\alpha = 1 - \frac{K_{\text{ЭМП}}}{2} \approx 0,04$ . Этот результат является достаточным для достижения отождествления отметок цели. Однако с точки зрения необходимого условия  $\alpha \leq 0,05$  не удовлетворяет условию отождествления. Целесообразно использовать метод Z-теста с рядом ограничений, касающихся условий принятия решений по отождествлению с более высокой ошибкой первого рода, чем  $\alpha = 0,05$ .

### Выводы

С учетом выявленных ограничений и недостатков метод отождествления отметок цели, полученных от пассивной и активной РЛС на основе Z-теста Фишера, можно использовать в многофункциональных радиолокационных комплексах. Разработанный

алгоритм позволяет применять метод для программных средств обработки информации в системах управления РЛС.

В результате исследования определен ряд ограничений предлагаемого метода и выработаны рекомендации по снижению их влияния при применении:

отождествление должно происходить в зоне обнаружения, где вероятность принятия ложного решения незначительна ( $\beta \leq 0,05$ ) при заданной вероятности пропуска отождествления ( $\alpha = \text{const}$ );

количество отметок цели, полученных активной РЛС, должно быть значительно меньше полученных отметок цели пассивной РЛС. В таком случае пассивная РЛС может оценивать выборку отметок цели как генеральную совокупность.

Проведено имитационное моделирование, в результате которого было установлено, что метод позволяет отождествлять отметки цели с вероятностью ошибки первого рода (пропуск цели)  $\alpha \approx 0,04$ .

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. М.: Радио и связь, 1986. 352 с.
2. Jane's Fighting Ships 2009-2010 // URL: <http://www.jfs.janes.com> (Дата обращения: 20.10.2017).
3. Кондратьев В.С., Котов А.Ф., Марков Л.Н. Многопозиционные радиотехнические системы. М.: Радио и связь, 1986. 264 с.
4. Основы радиолокации // Справочник по радиолокации. Т. 1. Под ред. М. Скольникова. М.: Сов. радио, 1976. 456 с.
5. Кваснов А.В. Оценка построения трассы радиолокационной цели неподвижным лучом АФАР в дальней зоне наблюдения // Радиотехника. 2017. № 2. С. 4–12.

Статья поступила в редакцию 09.11.2017.

6. Кваснов А.В. Метод отождествления радиоизлучающих целей пространственно-разнесенными пассивными радиоэлектронными станциями на основе t-критерия Стьюдента // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2016. Вып. 6. С. 23–28.
7. Кваснов А.В., Поляков В.Б. Анализ алгоритмов сканирования воздушного пространства АФАР для сокращения времени поиска надводных и аэродинамических целей // Радиопромышленность. 2016. № 2. С. 24–35.
8. Справочник по прикладной статистике в 2-х т. Т. 1. Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю.Н. Тюрина. М.: Финансы и статистика, 1989. 510 с.

### REFERENCES

1. Kuzmin S.Z. *Osnovy proyektirovaniya sistem tsifrovoy obrabotki radiolokatsionnoy informatsii* [Fundamentals of system design for digital radar process information]. Moscow: Radio i svyaz Publ., 1986, 352 p. (rus)
2. Jane's Fighting Ships 2009–2010. Available: <http://www.jfs.janes.com> (Accessed: 20.10.2017).
3. Kondratyev V.S., Kotov A.F., Markov L.N.

6. Kvasnov A.V. *Mnogopozitsionnyye radiotekhnicheskiye sistemy* [Multiposition radio engineering systems]. Moscow: Radio i svyaz Publ., 1986, 264 p. (rus)
4. Skolnik M.I. (ed.) *Osnovy radiolokatsii. Spravochnik po radiolokatsii* [Radar handbook]. Moscow: Sovetskoye radio Publ., 1976, Vol. 1, 456 p. (rus)
5. Kvasnov A.V. *Otsenka postroyeniya trassy*



radiolokatsionnoy tseli nepodvizhnym luchom AFAR v dalney zone nablyudeniya [Estimation of tracking target using a fixed beam active phased array radar in far-field region]. *Radiotekhnika [Radiotechnic]*, 2017, No. 2, Pp. 4–12. (rus)

6. **Kvasnov A.V.** Metod otozhdestvleniya radioizluchayushchikh tseley prostranstvenno-raznesennymi passivnymi radioelektronnyimi stantsiyami na osnove t-kriteriya Styudenta [Method of Radio-Emitting Target Identification from Passive Spatial Diversity Radio-Electronic Stations on the Basis of Student's t-Test]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy Rossii. Radioelektronika,*

*Received 09.11.2017.*

St. Petersburg: SPbGETU «LETI» Publ., 2016, Vol. 6, Pp. 23–28. (rus)

7. **Kvasnov A.V., Polyakov V.B.** Analiz algoritmov skanirovaniya vozdushnogo prostranstva AFAR dlya sokrashcheniya vremeni poiska nadvodnykh i aerodinamicheskikh tseley [Analysis of air scanning algorithms to reduce the search time for surface and aerodynamic targets]. *Radiopromyshlennost [Radio industry]*, 2016, No. 2, Pp. 24–35. (rus)

8. **Lloyd E., Lederman U., Tyurin Yu.N.** (eds.) *Spravochnik po prikladnoy statistike. Vol. 1 [Handbook of applicable mathematics, Vol. 1]* Moscow: Finansy i statistika Publ., 1989, 510 p. (rus)

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ / THE AUTHORS

**КВАСНОВ Антон Васильевич**

**KVASNOV Anton V.**

E-mail: AntonKV@mail.ru