

# ИССЛЕДОВАНИЕ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ ПЕРВИЧНОГО КАНАЛА АЭРОДРОМНЫХ ОБЗОРНЫХ РАДИОЛОКАТОРОВ НА МОДЕЛИ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ АКТИВНЫХ ШУМОПОДОБНЫХ ПОМЕХ

*Ф.Х. Абдуллин, Д.С. Пискорский, Н.В. Вдовина*

Статья посвящена вопросам оценки помехоустойчивости первичного канала аэродромных обзорных радиолокаторов (АОРЛ) при воздействии организованных помех. На основе классических уравнений радиолокации разработаны математические и программные модели первичного канала АОРЛ и постановщика активных помех. В качестве объектов моделирования были взяты реальная АОРЛ-1АС и постановщик помех (гипотетическая станция активных помех), использующая в качестве методов подавления РЛС формирование заградительного шума и переизлучение имитационных копий радиосигналов АОРЛ. Проведены исследования помехоустойчивости АОРЛ к воздействию активных шумоподобных и имитационных помех как по главному, так и по боковому лепестку диаграммы направленности антенны. Для оценки помехоустойчивости первичного канала АОРЛ к шумовому воздействию рассчитывались вероятность правильного обнаружения самолета, подлетающего к аэродрому и границы зоны подавления. Выполнен анализ результатов исследований помехоустойчивости АОРЛ к воздействию активных помех.

*Ключевые слова:* помехоустойчивость, шумоподобные помехи, имитационные помехи, АОРЛ, РЛС, зона подавления, вероятность правильного обнаружения.

## **Введение**

Выполнение полетов гражданской авиации невозможно без бесперебойного и эффективно-го функционирования системы управления воздушным движением (УВД). Радионавигационные комплексы УВД (АОРЛ, посадочные, приводные радиомаяки, системы радиосвязи) унифицированы во всех странах мира по техническим характеристикам, функциональным схемам и все они обязаны работать на фиксированных радиочастотах, назначенных индивидуально каждому аэродрому мира. В связи с этим радионавигационные комплексы аэродромов имеют крайне низкую помехозащищенность при воздействии преднамеренных помех. В настоящей работе поставлена цель – исследовать помехозащищенность АОРЛ, на основе имитационного компьютерного моделирования. Полученные в работе результаты планируется использовать для разработки методов (способов) повышения помехозащищенности АОРЛ от преднамеренных помех.

## **Общие сведения о математических моделях АОРЛ и постановщика активных помех (ПП) *Аэродромные обзорные радиолокаторы***

В соответствии с решаемыми задачами обработка информации в АОРЛ осуществляется в первичном и вторичном каналах. Первичный канал АОРЛ предназначен для обнаружения ЛА и определения с требуемой точностью его координаты на основе радиолокационной информации (эхо-сигналов). Вторичный канал служит для получения дополнительной информации от ЛА (бортовой номер, высота полета, остаток топлива и т. п.). Эхо-сигнал от самолета, как правило, слабый и подвержен сильному влиянию помех. Следовательно, более уязвимым при воздействии организованных помех является первичный канал АОРЛ, в части обнаружения эхо-сигнала, на котором мы и сосредоточим проводимые исследования.

## ***Постановщик активных помех***

Исходя из анализа уязвимостей объектов радиотехнического обеспечения полетов (РТОП) и авиационной электросвязи, постановщик помех (ПП) может оказывать на них помеховое воздействие двумя способами:

- генерировать помеховые (шумовые) сигналы;
- записывать сигналы, излучаемые объектами РТОП, а затем воспроизводить записанные

сигналы в моменты времени, когда эти сигналы будут воздействовать на принимающий объект как помеха [1].

Генерировать помеховые сигналы возможно двух видов. Первый вид генерируемых сигналов – это шумовые сигналы, которые зашумляют полезную информацию в канале связи. Например, возможно зашумить голосовой канал авиационной радиосвязи, однако большое число каналов, разнесенных по относительно широкой полосе частот, сведет к минимуму отрицательное воздействие этой помехи. Второй вид генерируемых сигналов – это имитационные сигналы. Частоты, форматы посылок практически всех радиотехнических средств обеспечения полетов описаны в открытой литературе, поэтому имитация используемых ими сигналов – это вполне реальная задача.

Отметим, что генерировать имитационные сигналы энергетически эффективнее, чем шумовые, так как для формирования эффективных шумовых сигналов понадобится мощность, превышающая мощность сигналов в канале связи.

### Условия и уравнение подавления обзорных импульсных РЛС обнаружения средствами активных шумовых помех

При оценке как эффективности средств активных помех, так и помехоустойчивости РЛС, удобно пользоваться понятием зоны подавления и уметь рассчитывать параметры этой зоны. Под зоной подавления РЛС понимается область пространства, в пределах которой РЛС обнаруживает самолет с вероятностью не выше заданной. Зона подавления имеет вполне определенные границы, которые могут быть описаны уравнением подавления РЛС (1) [2]:

$$\frac{P_{\text{п}} \cdot G_{\text{п}} \cdot F_c^2(\varphi_{\text{ц.п}}) \cdot \Delta f_{\text{пр}} \cdot \gamma_{\text{п}}}{D_{\text{ц}}^2 \cdot \Delta f_{\text{п}}} = K_{\text{п}} \frac{P_{\text{с}} \cdot G_{\text{с}} \cdot \sigma_{\text{ц}}}{4\pi \cdot D_{\text{ц min}}^4}, \quad (1)$$

здесь  $P_{\text{с}}$  – мощность передатчика подавляемой РЛС;  $G_{\text{с}}$  – коэффициент усиления антенны подавляемой РЛС;  $\Delta f_{\text{пр}}$  – полоса пропускания приемника РЛС;  $P_{\text{п}}$  – мощность передатчика активных помех;  $G_{\text{п}}$  – коэффициент усиления антенны передатчика активных помех;  $\Delta f_{\text{п}}$  – ширина спектра помехи;  $D_{\text{ц min}}$  – дальность от цели до подавляемой РЛС, на которой (для заданных энергетических характеристик станции помех и РЛС) прекращается обнаружение самолетов. При  $D_{\text{ц}} < D_{\text{ц min}}$  условие нарушится, и постановщик помех не исказит радиолокационную информацию. Физически это объясняется тем, что на этих дальностях сигнал от цели (ввиду весьма высоких эквивалентных мощностей  $P_{\text{с}} = P_{\text{с}} G_{\text{с}}$  современных РЛС) будет больше, чем сигнал от станции (передатчика) помех [2].

Уравнение подавления РЛС (1) позволяет по известным техническим характеристикам станции помех, подавляемой РЛС и по заданной ЭПР цели определить вероятность обнаружения целей при помехах  $P_{\text{обн.п}}$  на заданном рубеже.

Для решения уравнения (1) применяются аналитический и графоаналитический методы. При использовании аналитического метода для расчета априорно неизвестных величин, входящих в уравнение (1), применяются следующие соотношения.

1. Коэффициент подавления РЛС с когерентным накоплением сигналов шумовой помехой можно рассчитать по формуле [2, 3]:

$$K_{\text{п}} = \frac{N \cdot \lg P_{\text{обн}}}{\lg P_{\text{л.т}} - \lg P_{\text{обн}}}, \quad (2)$$

здесь  $P_{\text{обн}}$  – вероятность правильного обнаружения цели,

$$P_{\text{обн}} = P_{\text{л.т}}^{\beta / (N + \beta)}, \quad (3)$$

где  $\beta$  – отношение эквивалентной мощности помехи к эквивалентной мощности сигнала на входе приемника РЛС,

$$\beta \approx \left( \frac{P_{\text{п}} \cdot G_{\text{п}}}{P_{\text{с}} \cdot G_{\text{с}}} \right)_{\text{вх}}. \quad (4)$$

2. Вероятность ложной тревоги приемника РЛС

$$P_{\text{л.т}} = \frac{c \cdot \tau_{\text{и}} \cdot \theta_{\varphi}}{2D_{\text{шк}} \cdot \Phi}, \quad (5)$$

где  $c$  – скорость распространения электромагнитных волн;  $\tau_{\text{и}}$  – длительность импульса РЛС;  $\theta_{\varphi}$  – ширина диаграммы направленности РЛС в горизонтальной плоскости;  $D_{\text{шк}}$  – масштаб шкалы дальности на индикаторе РЛС;  $\Phi$  – сектор обзора.

3. Число импульсов от цели, накапливаемых в РЛС за один оборот антенны,

$$N = t_n \cdot F_n = F_n \frac{\theta_\varphi}{\Omega} = \frac{F_n \cdot \theta_\varphi}{6N_a}, \quad (6)$$

где  $t_n$  – время наблюдения цели, с;  $F_n$  – частота следования импульсов РЛС, Гц;  $\Omega$  – угловая скорость вращения антенны, град/с (рад/с);  $N_a$  – число оборотов антенны РЛС, об/мин.

### **Результаты исследований помехоустойчивости АОРЛ к воздействию активных помех на основе программной модели**

В качестве объектов моделирования были взяты реальная АОРЛ-1АС и постановщик помех (гипотетическая станция активных помех), использующая в качестве методов подавления формирования заградительного шума и переизлучение имитационных копий сигналов АОРЛ [3–7]. Тактико-технические характеристики первичного канала АОРЛ-1АС и параметры ПП приведены в табл. 1 и 2, соответственно. Параметры моделирования приведены в табл. 3.

**Таблица 1**

**Тактико-технические характеристики первичного канала АОРЛ**

Наименование параметра	Значение
Максимальная дальность обнаружения при $S = 5\text{ м}^2$ $P = 0,8$ $P = 10^{-6}$	160 км
Инструментальная дальность	162 км
Минимальная дальность обнаружения	1,0 км
Угол обзора в вертикальной плоскости	45°
Коэффициент усиления антенны	29 дБ
Ширина диаграммы направленности в горизонтальной плоскости	2°15'
Скорость вращения антенной системы	12 об/мин
Диапазон рабочих частот	1215–1279 МГц
Выходная импульсная мощность	10 кВт
Длительность излучаемых импульсов	88 мкс и 6 мкс
Динамический диапазон приемного устройства ПК	50 дБ

**Таблица 2**

**Параметры постановщика помех**

Наименование параметра	Значение
Выходная импульсная мощность	до 100 Вт
Ширина полосы спектра шума ПП	2 МГц

**Таблица 3**

**Параметры моделирования**

Наименование параметра	Значение
Расстояние между АОРЛ и ПП	5 км
ЭПР самолета	35 м <sup>2</sup>
Вероятность ложной тревоги	10 <sup>-6</sup>

### **Помехоустойчивость первичного канала АОРЛ при воздействии активных шумовых помех в главном луче ДНА**

При исследовании помехоустойчивости первичного канала АОРЛ к шумовому воздействию оценивалась вероятность правильного обнаружения самолета, подлетающего к аэродрому. На рис. 1 показано семейство зависимостей вероятности обнаружения самолета от расстояния до АОРЛ и от мощности передатчика ПП. Как видно из рис. 1, передатчик ПП даже небольшой мощности (1 Вт) способен подавить эхо-сигнал, от подлетающих самолетов, на расстояниях от 30 км и более. При приближении самолета к аэродрому, начиная с 5 км, энергетического потенциала ПП не достаточно даже при мощности излучения 100 Вт.

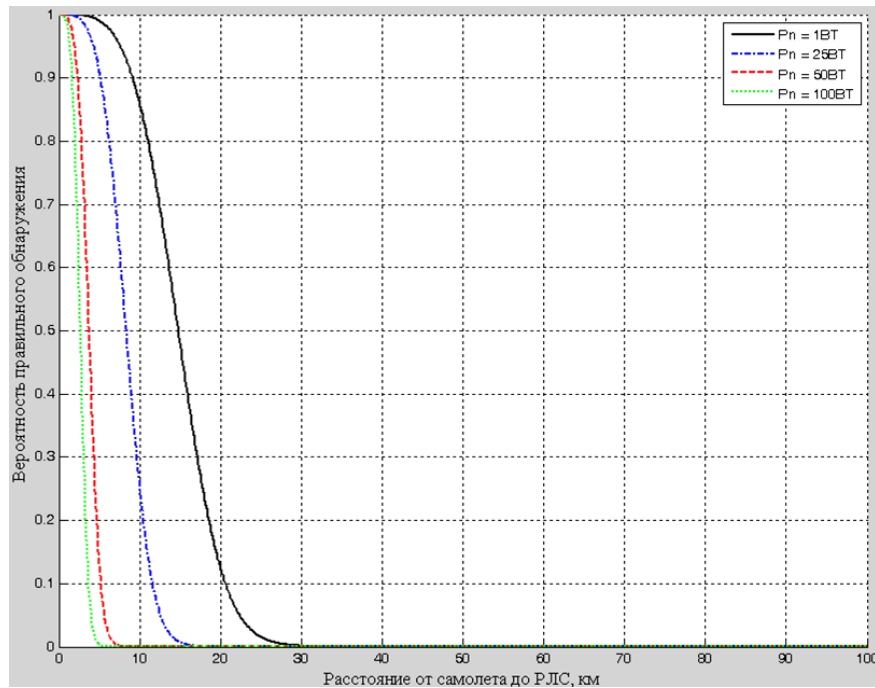


Рис. 1. Зависимости вероятностей правильного обнаружения от расстояния до АОРЛ для различных выходных мощностей постановщика помех

Таким образом, можно констатировать, что при воздействии помехи по главному лучу ДНА АОРЛ, в диапазоне дальностей до самолета от 5 км и более полезный сигнал потенциально может быть зашумлен воздействием активных шумовых помех.

***Помехоустойчивость первичного канала АОРЛ при воздействии активных шумовых помех по боковым лепесткам ДНА***

Зависимости вероятности обнаружения самолета от расстояния до АОРЛ и от мощности передатчика ПП, при воздействии активных шумовых помех по боковым лепесткам приведены на рис. 2.

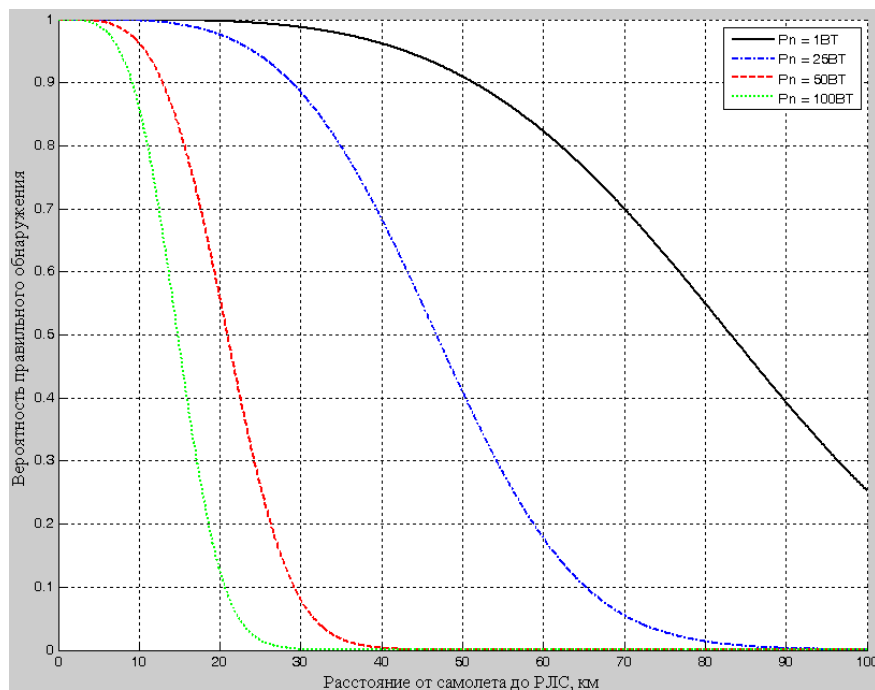
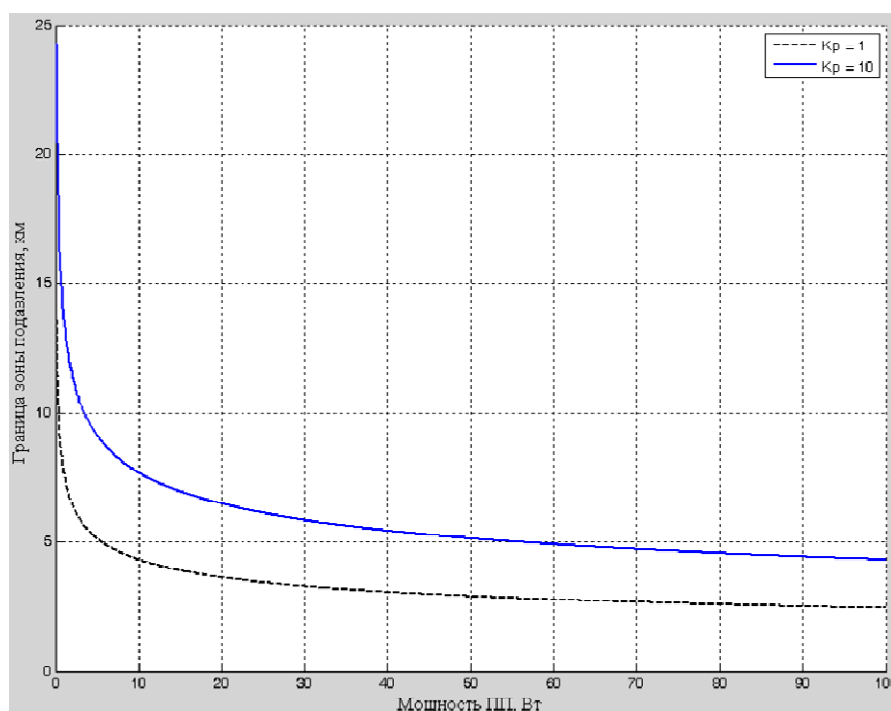


Рис. 2. Зависимости вероятностей правильного обнаружения от расстояния до АОРЛ для различных выходных мощностей постановщика помех

Как следует из рис. 2, АОРЛ может быть подавлен при воздействии шумовых сигналов по боковым лепесткам в диапазоне дальностей до подлетающего самолета от 30 км и более.

***Помехоустойчивость первичного канала АОРЛ при воздействии активных имитационных помех по главному лепестку ДНА***

При воздействии имитационных помех, эхо-сигналы от самолетов не подавляются. Вместо этого формируются ложные сигналы, искажающие информацию о радиолокационной обстановке вокруг аэродрома. При этом если эффективность шумовых помех начинает проявляться при 10-кратном превышении уровня помехи над уровнем полезного сигнала на входе приемника АОРЛ. То для имитационных помех достаточно равенства уровней формируемых сигналов ПП и полезных сигналов АОРЛ. Коэффициент подавления  $K_{рл}$  для имитационных помех равен 1. На рис. 3 показаны зависимости минимальной дальности зоны подавления для помех с различными коэффициентами подавления.



**Рис. 3. Зависимости границ зон подавления АОРЛ от мощности передатчика ПП для шумовой и имитационной помех**

Как видно из рис. 3, при уровне мощности передатчика ПП 100 Вт минимальная дальность, на которой еще эффективно воздействие помехи на первичный канал АОРЛ, составляет для шумовой помехи ( $K_{рл} = 10$ ) 4,5–5 км, для имитационной помехи ( $K_{рл} = 1$ ) 2,5–3 км.

Расстояние между точкой выхода на посадочный курс и ВПП при различных углах захода на посадку лежит в диапазоне ~ 3–6 км. Поэтому искажение радиолокационных данных о наличии ложных целей или отсутствии обнаружения, приближающихся самолетов, на таких расстояниях является не допустимыми.

**Заключение**

Проведенные на модели исследования показывают, что первичный канал АОРЛ подвержен влиянию активных помех, воздействующих по главному лучу ДНА АОРЛ, что может затруднить вывод самолета в район работы посадочных систем аэродрома. Воздействие помех по боковым лепесткам ДНА эффективно только на сравнительно больших расстояниях до самолета (30 км и более), что может мешать эффективному управлению воздушным движением в районе аэропорта и привести к росту рисков столкновения самолетов в небе.

---

**Литература**

1. Давыдов, П.С. *Авиационная радиолокация: справ.* / П.С. Давыдов, А.А. Сосновский, И.А. Хаймович. – М.: Транспорт, 1984. – 223 с.
2. *Авиационная радионавигация: справ.* / А.А. Сосновский, И.А. Хаймович, Э.А. Лутин, И.Б. Максимов; под ред. А.А. Сосновского. – М.: Транспорт, 1990. – 264 с.
3. Радзиевский, В.Г. *Оценка координат источников излучений в многопозиционных радиотехнических системах при наличии смешанного входного потока сигналов и помех* / В.Г. Радзиевский, А.А. Сирота, Б.А. Борисов // *Радиотехника*. – 1996. – № 6. – С. 43–49.
4. Рембовский, А.М. *Радиомониторинг: задачи, методы и средства* / А.М. Рембовский, А.В. Ашихмин, В.А. Козьмин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 492 с.
5. Farina, A. *Radar Data Processing, vol. I: Introduction and Tracking, vol. II: Advanced Topics and Applications* / A. Farina, F.A. Studer. – Letchworth: Research Studies Press, 1985 – 325 p.
6. Кондратьев, В.С. *Многопозиционные радиотехнические системы* / В.С. Кондратьев, А.Ф. Котов, Л.Н. Марков; под ред. В.В. Цветнова. – М.: Радио и связь, 1986. – 264 с.
7. Голубков, А.П. *Проектирование радиолокационных приемных устройств* / А.П. Голубков, А.Д. Далматов, А.П. Лукошкин. – М.: Высш. шк., 1984. – 335 с.

**Абдуллин ФаильХамидуллоевич**, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); fail174@rambler.ru.

**Пискорский Дмитрий Сергеевич**, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); dsp\_crts@mail.ru.

**Вдовина Надежда Владимировна**, старший преподаватель кафедры инфокоммуникационных технологий, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); nadzh@yandex.ru.

*Поступила в редакцию 8 мая 2014 г.*

---

**Bulletin of the South Ural State University**  
**Series “Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics”**  
**2014, vol. 14, no. 3, pp. 65–71**

---

## **RESEARCH OF THE NOISE IMMUNITY OF THE AIRPORT SURVEILLANCE RADAR PRIMARY CHANNEL ON MODEL AT INFLUENCE OF ACTIVE NOISE-LIKE INTERFERENCE**

**F.Kh. Abdullin**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
fail174@rambler.ru,

**D.S. Piskorskiy**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
dsp\_crts@mail.ru,

**N.V. Vdovina**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,  
nadzh@yandex.ru

Article deals with evaluation of noise immunity primary channel Airport Surveillance Radar (ASR) when exposed to organized interference. On the basis of the classical equations of a radar-location mathematical and program models of the ASR primary channel and the director of active hindrances are developed. As of modeling objects were taken real ASR-IAC and jammer (hypothetical station of active hindrances), using as suppression methods, radar, and the formation of a barrage of noise and re-emission simulation copies of radio signals of ASR. Researches ASR noise immunity to the effects of active noise-like and simulation of interference, both the main and side-lobe of the antenna pattern. To assess the primary channel ASR noise immunity to noise impacts, calcu-

lated the probability of correct detection of aircraft approaching the airfield and border of a zone of suppression. The analysis of results of researches of a noise stability of ASR to influence of active hindrances is made.

*Keywords: immunity, noise-like interference, simulation interference, ASR, radar, suppression zone, probability of the correct detection.*

### References

1. Davydov P.S., Sosnovskiy A.A., Khaymovich I.A. *Aviatsionnaya radiolokatsiya: Spravochnik* [Aviation Radar: Handbook]. Moscow, Transport Publ., 1984. 223 p.
2. Sosnovskiy A.A., Khaymovich I.A., Lutin E.A., Maksimov I.B. *Spravochnik* [Handbook]. Moscow, Transport Publ., 1990. 264 p.
3. Radzievskiy V.G., Sirota A.A., Borisov B.A. [Evaluation Coordinate Radiation Sources in Multiposition Radio Systems in the Presence of Mixed Input Stream Signal and Noise]. *Radio engineering*, 1996, no. 6, pp. 43–49. (in Russ.)
4. Rembovskij A.M., Ashihmin A.V., Koz'min V.A. *Radiomonitoring: zadachi, metody i sredstva* [Radiomonitoring: Objectives, Methods and Tools]. Moscow, Hot Line – Telekom Publ., 2006. 492 p.
5. A. Farina and F. A. Studer. *Radar Data Processing*, vol. I: Introduction and Tracking, vol.II: Advanced Topics and Applications. Letchworth, Research Studies Press, 1985. 325 p.
6. Kondrat'ev V.S., Kotov A.F., Markov L.N. *Mnogopozitsionnye radiotekhnicheskie sistemy* [Multiposition Radio Systems]. Moscow, Radio and Connection Publ., 1986. 264 p.
7. Golubkov A.P., Dalmatov A.D., Lukoshkin A.P. *Proektirovanie radiolokatsionnykh priemnykh ustroystv* [Design of Radar Receivers]. Moscow, High School Publ., 1984. 335 p.

*Received 8 May 2014*