

2. *Авилов А.И.* Цифровое моделирование пространственного компенсатора отражений от поверхности раздела сред // Матер. Междун. научн. конф. «Методы и алгоритмы принятия эффективных решений». Ч. 3. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – С. 4-9.
3. *Авилов А.И.* Анализ обобщенной функции неопределенности в координатах «задержка и направление» для системы ортогональных по частоте зондирующих сигналов // Матер. Междун. научн. конф. «Современные исследовательские и образовательные технологии». Ч. 4. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 4-12.
4. *Авилов А.И., Федосов В.П.* Анализ обобщенной функции неопределенности в координатах «задержка и направление» для системы ортогональных по частоте зондирующих сигналов // Матер. Междун. научн. конф. «Современные исследовательские и образовательные технологии». Ч. 4. – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2010. – С. 4-12.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.Е. Галушкин.

**Авилов Артем Игоревич**

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: [sheriff\\_from\\_lab@pochta.ru](mailto:sheriff_from_lab@pochta.ru).

347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.

Тел.: +79281323914.

Кафедра теоретических основ радиотехники; аспирант.

**Avilov Artyom Igorevich**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: [sheriff\\_from\\_lab@pochta.ru](mailto:sheriff_from_lab@pochta.ru).

44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.

Phone: +79281323914.

The Department of Fundamentals of Radio Engineering; Postgraduate Student.

УДК 621.391.828

**Е.О. Евдокимова**

**АЛГОРИТМ АНАЛИЗА РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ  
ВЫНУЖДЕННОЙ ПОСАДКИ ВОЗДУШНОГО СУДНА**

*Рассматривается алгоритм определения параметров рельефа подстилающей поверхности, решается задача определения угловых координат и задача классификации препятствий в направлении движения воздушного судна при полете на малой высоте при заходе на вынужденную посадку. Для анализа отраженных радиолокационных сигналов используются современные методы спектральной оценки, проводится их сравнительный анализ. Формируется алгоритм работы бортового измерителя угловых координат препятствий.*

*Доплер; спектр; оценки; измеритель; MUSIC; координаты; рельеф.*

**E.O. Evdokimov**

**ALGORITHM FOR LAY OF LAND ANALYSIS OF AIRCRAFT FORCED  
LANDING APPROACH**

*The algorithm of relief parameters determination of a spreading surface is considered, the problems of angular coordinates measurement and hindrances classification on aircraft driving direction are solved when aircraft is approaching forced landing on low altitude. The modern spectral estimation methods are used for the analysis of the reflected radar-tracking signals, their comparative analysis is carried out. The algorithm of work of an onboard measuring instrument of angular coordinates of obstacles is formed.*

*Doppler; spectrum; measuring; MUSIC; coordinates; relief.*

Нарушение работы двигателей, повреждение конструкции самолета, утечка топлива либо непредвиденные погодные условия могут стать причиной вынужденной посадки самолета. Бортовой измеритель предназначен для сбора информации о характере подстилающей поверхности. Сигнализирующая система должна информировать пилота о наличии опасных препятствий в направлении движения летательного аппарата в условиях ограниченной видимости. Типы опасных препятствий при вынужденной посадке: деревья, постройки, естественные неровности Земной поверхности. Для выделения участков, пригодных для осуществления посадки необходимо провести анализ рельефа: определить координаты существующих препятствий и отметить ровные участки поверхности [1].

Анализ пространства в направлении полета осуществляется в диапазоне дальностей  $D_{\min} \dots D_{\max}$ , где минимальное значение диапазона определяется выражением (1):

$$D_{\min} = D_0 + t_{\text{обр}} \cdot v_c, \quad (1)$$

где  $D_0$  – минимальная безопасная дальность,  $t_{\text{обр}}$  – время обработки отраженного сигнала,  $v_c$  – скорость полета.

Максимальное значение диапазона дальностей  $D_{\max}$  выбирается с учетом длины тормозного пути самолета  $D_{\max} = D_{\min} + D_{\text{тормоз}}$ . Минимальная безопасная дальность – это расстояние, необходимое для совершения маневра, которое зависит от типа и размера самолета, а также от скорости движения. Допустимая крутизна маневра устанавливается из условия ограничения перегрузки для пилота –  $4g$ .  $4g$  ( $g$  соответственно ускорение свободного падения, равно  $9,8 \text{ м/с}^2$ ). Перегрузка

$$a = \frac{v_c^2}{R}, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус кривизны траектории маневра (рис. 1),

$$R = \frac{v_c \cdot t_m}{\alpha_m}, \quad (3)$$

где  $\alpha_m$  – угол маневра,  $t_m$  – время маневра.

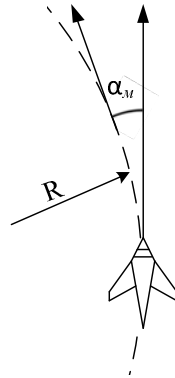


Рис. 1. Маневр летательного аппарата

Решение о совершении облета либо обхода препятствия принимается после классификации препятствия, как опасного. Для объектов, расположенных в азимутальной плоскости критерием для классификации препятствия, является выполнение неравенства:  $H < H_{\min}$ , где  $H$  – расстояние отклонения по горизонтали – дистанция между направлением полета и препятствием, согласно рис. 2,  $H_{\min}$  – минимальное значение расстояния отклонения  $H$ , при котором возможен безопасный пролет без совершения маневра.

Значение  $H_{\min}$  выбирается на основании информации о размерах летательного аппарата и условий перегрузки, которые вводят ограничение на максимальный угол маневра, и может колебаться при различных габаритах от единиц до десятков метров. При принятии решения о возможности безопасного пролета необходимо учитывать погрешность определения расстояния отклонения  $\Delta h$  (рис. 1). Параметр  $H$  определяется косвенно после определения дальности  $D$  и угла отклонения  $\alpha$ :  $H = D \cdot \sin(\alpha)$ .

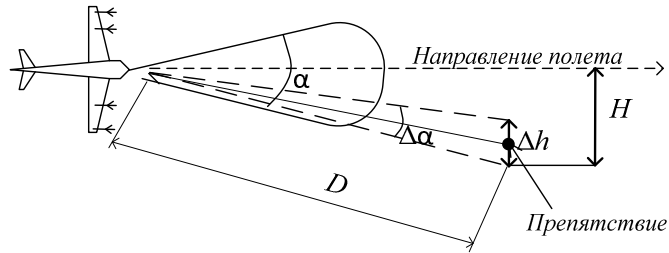


Рис. 2. Пояснение к понятию опасного препятствия

Погрешность  $\Delta h$  состоит из двух составляющих: погрешности определения дальности  $\Delta D$  и погрешности определения азимута  $\Delta \alpha$ . В рамках текущего исследования рассмотрим влияние погрешности по углу. Аналогичным образом формируется критерий опасности препятствия при анализе угломестной координаты  $\beta$  для принятия решения о совершении маневра в вертикальной плоскости. Зависимость  $\Delta h$  от ошибки угла отклонения определяется следующим выражением:

$$\Delta h = D \left( \sin \left( \alpha + \frac{\Delta \alpha}{2} \right) - \sin \left( \alpha - \frac{\Delta \alpha}{2} \right) \right) = 2D \cdot \cos \alpha \cdot \sin \frac{\Delta \alpha}{2}. \quad (4)$$

Высокое разрешение по азимуту обеспечивается использованием антенны с широкой апертурой в сочетании с современными методами обработки радиолокационных сигналов. Конструкция самолета позволяет расположить элементы горизонтальной активной фазированной антенной решетки (АФАР) вдоль крыльев самолета согласно схеме на рис. 3, где  $L$  и  $d$  ширина раскрытия и база решетки соответственно.

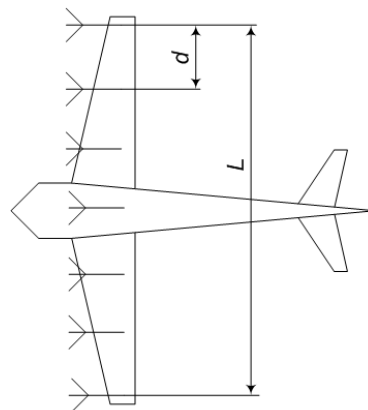


Рис. 3. Расположение апертуры АФАР

При таком расположении апертуры антенны для получения высокого разрешения по азимуту эффективно применить один из методов обработки сигналов на выходе многоканальной антенной системы на основе анализа корреляционной матрицы каналов. Корреляционная матрица определяется вектором пространственных отсчетов  $\mathbf{x}$  огибающей эхо-сигнала  $\mathbf{R} = \langle \mathbf{x}\mathbf{x}^H \rangle$ , где  $\langle \rangle$  – усреднение по времени,  $()^H$  – операция Эрмитова сопряжения [2, 3].

Был проведен сравнительный анализ потенциальной точности нескольких методов оценки угловых координат на основе анализа корреляционной матрицы  $\mathbf{R}$ , сформированной на выходе приемной антенной решетки и ее собственных векторов  $\mathbf{V}_n$ . В процессе исследования была смоделирована работа следующих методов: оценка Бартлетта, MUSIC, оценка Кейпона, алгоритм теплового шума. Наилучшей потенциальной разрешающей способностью обладают последние три метода. Методы расчета пространственного спектра отражены в выражениях 5-8. Опорный вектор  $\mathbf{F}_0$  характеризует плоскую волну, приходящую с одного из направлений из сектора обзора, вводится для формирования отсчетов спектра. Поворотом опорного вектора осуществляется математическое сканирование пространства [2-4].

$$P_B(\theta) = \mathbf{F}_0^H \mathbf{R} \mathbf{F}_0, \quad (5)$$

$$P_{MUSIC}(\theta) = \frac{1}{\mathbf{F}_0^H \mathbf{R}^{-1} \mathbf{F}_0}, \quad (6)$$

$$P_{TSH}(\theta) = \frac{1}{\mathbf{F}_0^H \mathbf{R}^{-2} \mathbf{F}_0}, \quad (7)$$

$$P_{MUSIC}(\omega) = \frac{1}{\mathbf{F}_0^H(\omega) \left[ \sum_{n=M+1}^N \mathbf{V}_n \mathbf{V}_n^H \right] \mathbf{F}_0(\omega)}. \quad (8)$$

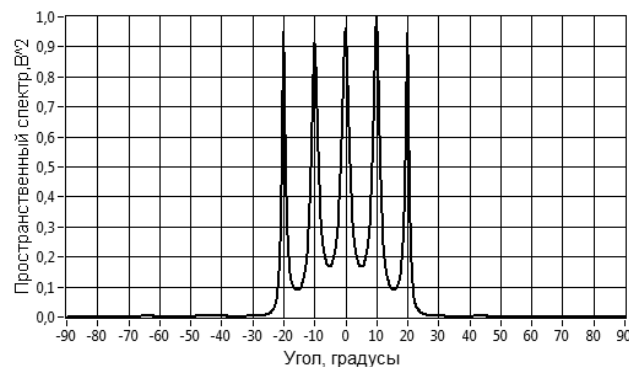


Рис. 4. Пространственный спектр пяти точечных препятствий

На рис. 4 изображен пространственный спектр, полученный методом анализа собственных векторов  $\mathbf{R}$ . Анализ спектра позволяет получить информацию об угловых координатах отражателей.

На рис. 5 представлены зависимости потенциальной разрешающей способности от числа элементов АР. Из анализа графика можно сделать вывод, что наилучшим разрешением из исследуемых методов обладает алгоритм теплового шума. Но данный метод связан с наибольшими аппаратными затратами. График зависимости временных затрат для расчета пространственного спектра приведен на рис. 6.

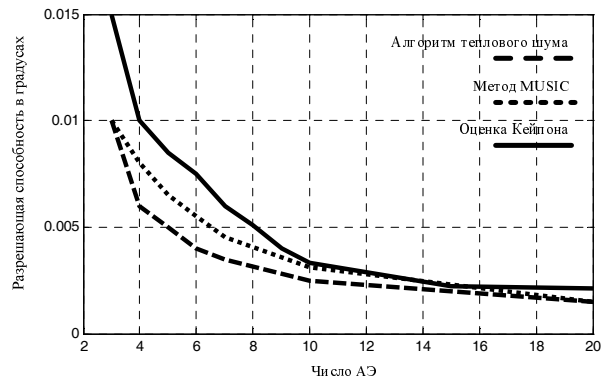


Рис. 5. Зависимость потенциальной разрешающей способности от числа антенных элементов (АЭ)

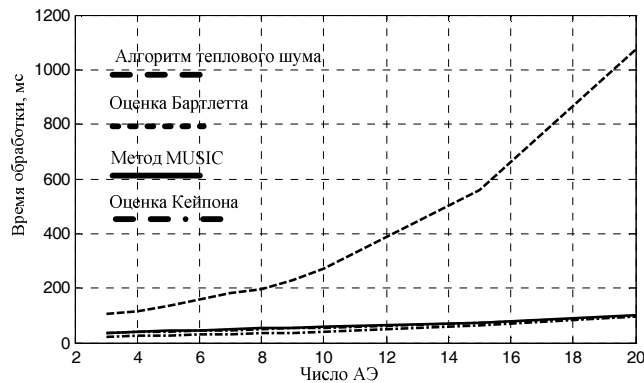


Рис. 6. Зависимость скорости обработки от числа АЭ

При зондировании поверхности вдоль направления полета в эхо-сигнале создается дополнительная «окраска» по частоте, что связано с собственным движением носителя измерителя.

Анализ спектра доплеровских смещений частоты позволяет косвенно измерить углы отклонения препятствий от направления полета. Для неподвижных целей доплеровская частота  $f_d$  однозначно определяется их угловым положением относительно вектора путевой скорости носителя измерителя. В выражении 9 представлена зависимость между углом отклонения препятствия от курса  $\varphi$  и соответствующим доплеровским смещением.

$$\varphi = \arccos\left(\frac{f_d}{f_0} \cdot \frac{c}{2v_c}\right), \quad (9)$$

где  $v_c$  — скорость полета самолета;  $f_0$  — центральная частота заполнения излучаемых зондирующих импульсов;  $c$  — скорость света.

Оценка угла отклонения  $\varphi$  может быть оценкой угломестной координаты, если отражатели сосредоточены в угломестной плоскости в направлении полета. В противном случае, если препятствия имеют отклонения по азимуту, необходимо дополнительно измерять азимут. Азимут  $\alpha$ , угол мета  $\beta$  и отклонение  $\varphi$  связаны геометрическим соотношением (10) [5]:

$$\operatorname{tg}^2(\varphi) = \operatorname{tg}^2(\alpha) + \operatorname{tg}^2(\beta). \quad (10)$$

Алгоритм работы бортового измерителя изображен на рис. 7 [7, 8]. Перед обработкой накапливаются временные отсчеты огибающих радиосигналов на входе антенной системы  $K_D$  и  $K$  для доплеровского метода и пространственно-временной обработки соответственно. Далее для доплеровского метода выборка усредняется по числу каналов антенной решетки. В блоке быстрого преобразования Фурье (БПФ) вычисляется частотный спектр сигнала. После пересчета доплеровских составляющих спектра в углы отклонения  $\varphi$ , значения углов поступают на индикатор.

Для оценки пространственного спектра осуществляется усреднение корреляционной матрицы по времени. Спектр формируется одним из алгоритмов MUSIC, EV, теплового шума или др. Максимумы пространственного спектра соответствуют направлениям на объекты в секторе обзора.



Рис. 7. Пространственно-доплеровский алгоритм совместного определения азимутальной и угломестной координат препятствий

В результате проделанной работы был синтезирован алгоритм совместного определения угломестной и азимутальной угловых координат методом оценки Доплеровского спектра и методом анализа пространственного спектра соответственно. Практическое применение алгоритма связано с полетом летательного аппарата на малой высоте при необходимости вынужденной посадки. Геометрия антенны в сочетании с современными методами обработки позволяет получить достаточно высокое разрешение по азимуту. Сочетание подходов одновременного анализа Доплеровского частотного и пространственного спектра позволяет наиболее полно использовать информацию, содержащуюся в эхосигнале.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кондратенков Г.С., Фролов А.Ю. Радиовидение. РЛС дистанционного зондирования земли. – М.: Радиотехника, 2005. – 370 с.
2. Марпл мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 584 с.
3. Канащенков А.И., Меркулов В.И. Защита радиолокационных систем от помех. – М.: Радиотехника, 2003. – 416 с.
4. Сергеев А.Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2003. – 608 с.
5. Евдокимова Е.О. Алгоритм слежения за рельефом местности с использованием пространственно-временной обработки. Материалы международной научной конференции «Методы и алгоритмы принятия эффективных решений». – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2009. – 5 с.

6. *Евдокимова Е.О.* Пространственно-доплеровский алгоритм слежения за рельефом. Материалы международной научно-технической и научно-методической конференции «Проблемы современной системотехники». – Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2009. – 4 с.
7. *Евдокимова Е.О.* Алгоритм слежения за рельефом местности с использованием пространственно-временной обработки. Материалы международной научной конференции «Методы и алгоритмы принятия эффективных решений». – Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2009. – С. 5.
8. *Евдокимова Е.О.* Пространственно-доплеровский алгоритм слежения за рельефом. Материалы международной научно-технической и научно-методической конференции «Проблемы современной системотехники». – Таганрог: Изд-во ГТИ ЮФУ, 2009. – С. 4.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор Н.Е. Галушкин.

**Евдокимова Екатерина Олеговна**

Технологический институт федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.

E-mail: chandy@inbox.ru.

347930, г. Таганрог, ул. Кузнечная, 142, кв. 9.

Тел.: +79515074544.

Кафедра теоретических основ радиотехники; аспирант.

**Yevdokimova Katerina Olegovna**

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Autonomy Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.

E-mail: chandy@inbox.ru.

9, 142, Kuznechnaya Street, Taganrog, 347930, Russia.

Phone: +79515074544.

The Department of Fundamentals of Radio Engineering; Postgraduate Student.

УДК 621.391.1

**Е.В. Апанасов, А.Г. Прыгунов, В.В. Слесарев**

**ПРИМЕНЕНИЕ СПОСОБА ФОРМИРОВАНИЯ И ПРИЁМА СЛУЖЕБНОЙ  
ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОЗАЩИЩЁННОСТИ  
СИСТЕМ РАДИОСВЯЗИ В УСЛОВИЯХ «ИНФОРМАЦИОННОЙ ВОЙНЫ»**

*Задача обеспечения помехозащищённости и безопасности передаваемой информации в системах радиосвязи в настоящее время решается на этапе ведения связи, в то время как на этапе передачи служебной информации аппаратура подвержена воздействию преднамеренных помех. Целью предлагаемого способа является повышение помехозащищённости систем радиосвязи в условиях «информационной войны».*

*«Информационная война»; системы радиосвязи; служебная информация; нелинейные последовательности; оптимальный приём.*

**E.V. Apanasov, A.G. Prigunov, V.V. Slesarev**

**APPLICATION OF A WAY OF FORMATION AND RECEPTION OF THE  
OFFICE INFORMATION FOR NOISE IMMUNITY INCREASE RADIO  
COMMUNICATION SYSTEMS IN CONDITIONS OF “INFORMATION WAR”**

*The problem of maintenance of noise immunity and safety of transfer information in radio communication systems dares now at a stage of conducting communication while at a stage of transfer of the office information the equipment is subject to influence of deliberate hindrances. The purpose of an offered way is increase immunity increase radio communication systems in conditions of "information war".*

*«Information war»; radio communication systems; the office information; nonlinear sequences; optimum reception.*