

## СПЕКТРАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ В РАДИОЛОКАЦИОННЫХ СТАНЦИЯХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Г.А. Профатилова<sup>1</sup>

Г.Н. Соловьев<sup>1</sup>

В.С. Ефремов<sup>2</sup>

А.Г. Соловьев<sup>2</sup>

[solovgrigory@rambler.ru](mailto:solovgrigory@rambler.ru)

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> НПО «Лианозовский электромеханический завод», Москва, Российская Федерация

---

### Аннотация

Рассмотрен метод спектральной обработки пачек эхо-сигналов на выходе системы селекции движущихся целей в обзорных радиолокационных станциях систем управления воздушным движением, позволяющий повысить помехозащищенность этих систем. Метод основан на вычислении, обработке и фильтрации доплеровских спектров принимаемых сигналов с адаптивным учетом текущих карт интенсивности и скорости пассивных помех. Предложен метод компенсации пассивных помех в спектральной области на базе оценивания по входной выборке параметров компенсирующего сигнала. Результаты испытаний радиолокационных станций показали улучшение подпомеховой видимости и значительное снижение потока ложных помеховых отметок, передаваемых на траекторную обработку

### Ключевые слова

*Селекция движущихся целей, радиолокационные станции, управление воздушным движением, спектр вобулированной пачки, оценка доплеровской скорости, карты интенсивностей пассивных помех, карты доплеровских скоростей*

Поступила в редакцию 02.03.2017

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017

---

Задача повышения информативности и эффективности серийных радиолокационных станций (РЛС) систем управления воздушным движением (УВД) при минимальных затратах аппаратных и вычислительных ресурсов весьма актуальна. В настоящей работе рассмотрен метод спектральной обработки пачек эхо-сигналов на выходе системы селекции движущихся целей (СДЦ), осуществляемой в рамках существующих аппаратных средств за счет модернизации программного обеспечения. Этот метод является развитием методов, изложенных в работах [1, 2].

В основе предлагаемых решений лежат классические методы спектрального анализа и СДЦ [3–6]. В последние годы были разработаны новейшие методы спектрального анализа [7, 8], которые требуют очень развитого математического обеспечения и сложны в реализации. Классические методы по-прежнему актуальны в силу их относительной простоты.

Начиная с 2000 г. НПО «Лианозовский электромеханический завод» (НПО «ЛЭМЗ») проводит оснащение территории Российской Федерации двух- и трехкоординатными обзорными РЛС с полностью цифровой обработкой информации, для которых программное обеспечение первичной обработки информации (ПОИ) разрабатывается в МГТУ им. Н.Э. Баумана. Это двухкоординатные аэродромные РЛС «Лира-А10Т», «Утес-А» и трассовые двухкоординатная РЛС «Утес-Т» и трехкоординатная РЛС 12А6.

Нормативные требования [9, 10] к такому классу РЛС по пространственной разрешающей способности, минимальной и максимальной дальности обеспечиваются использованием композитных (комбинации простых и сложных) зондирующих сигналов и остронаправленных антенных систем с шириной луча около  $1^\circ$ . Высокие требования к темпу обзора (4...10 с) приводят при указанных параметрах к малому времени радиолокационного контакта с воздушным объектом (ВО). Типичное время контакта составляет 8...16 мс.

Алгоритмы сигнальной обработки в этих РЛС похожи и включают в себя согласованную фильтрацию (сжатие) зондирующих сигналов, режекцию пассивных помех в системах СДЦ, параллельное накопление сигналов в когерентном и некогерентном каналах, адаптивное к интенсивности шумовой помехи обнаружение сигналов в этих каналах. Отметим, что малое время радиолокационного контакта не позволяет использовать для обработки в системе СДЦ пачки, содержащие более 4–8 периодов повторения эхо-сигналов. Указанные алгоритмы реализуют в ПЛИС- и сигнальных процессорах с полным резервированием аппаратных средств.

Первичная обработка информации включает в себя формирование пакетов отраженных сигналов, отождествляемых с ВО, разрешение групповых ВО, измерение координат ВО, формирование карт местности и метеообразований, синхронизацию данных со шкалой единого времени UTC и др. Масштабы времени позволяют выполнять эти операции на процессорах общего назначения базовой ЭВМ.

В программе обзора чередуются длинные и короткие периоды повторения зондирующих сигналов. На короткой дистанции используют пачку из простых импульсных сигналов (ИМ-сигналов). В целях устранения слепых скоростей на короткой дистанции применяют межпачечную вобуляцию периодов повторения ИМ-сигналов. Между пачками ИМ-сигналов проводят зондирование ЛЧМ-импульсами с вобулированным периодом повторения для однозначного измерения больших дальностей. Пачку с низким периодом повторения образуют ЛЧМ-сигналы.

Экспериментально полученные спектры по одной пачке ИМ- и ЛЧМ-сигналов приведены на рис. 1, а, в.

Система СДЦ построена по многофильтровой схеме. Вектор  $\mathbf{W}$  коэффициентов каждого фильтра синтезируется по методике [3, 5], исходя из априори известных корреляционных матриц сигнала  $\mathbf{R}$  и помехи  $\mathbf{B}$ :

$$\mathbf{W} = \text{eigenvect}(\mathbf{R}^{-1} \cdot \mathbf{B}) \Big|_{\max(\text{eigenval}(\mathbf{R}^{-1} \cdot \mathbf{B}))},$$

где  $\text{eigenval}()$  — функция определения собственных значений матрицы;  $\text{eigenvect}()$  — функция нахождения собственного вектора матрицы, соответствующего наибольшему собственному значению.

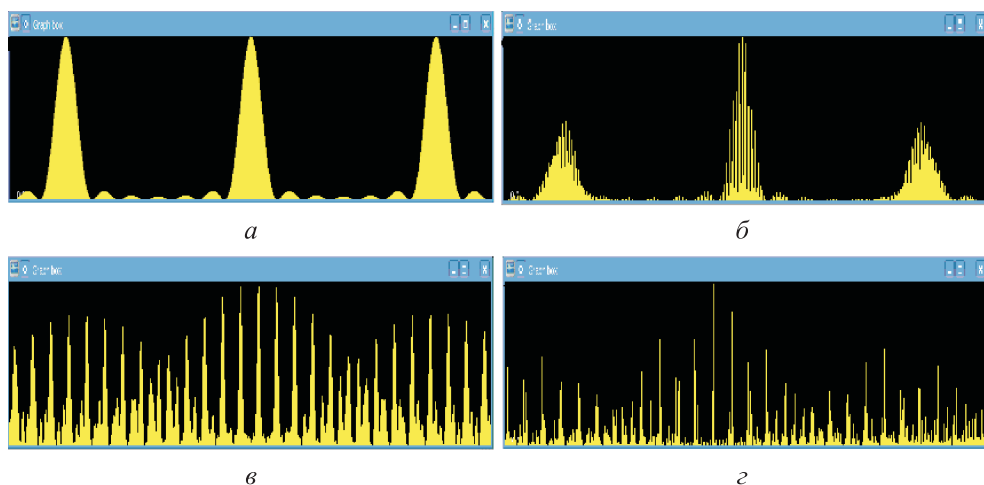


Рис. 1. Спектры сигналов для пачек различного объема (а–г)

При разработке систем СДЦ описываемых РЛС была использована корреляционная матрица  $\mathbf{B}$  для помехи с гауссовым спектром.

Длительный опыт эксплуатации рассматриваемых РЛС (более 10 лет) в различных климатических зонах Российской Федерации выявил, что при обнаружении ВО в тяжелых метеоусловиях возрастает поток отметок обнаружения на входе системы первичной обработки информации (ПОИ), сформированных из остатков пассивных помех (ПП) (рис. 2, а). Результатом является появление большого числа ложных трасс, завязываемых по остаткам ПП (рис. 2, в) в системе вторичной обработки информации (ВОИ). Анализ ситуаций возникновения остатков ПП показал, что причиной этого является аномальное расширение спектров ПП и отличие их от гауссовых, заложенных при проектировании фильтров СДЦ.

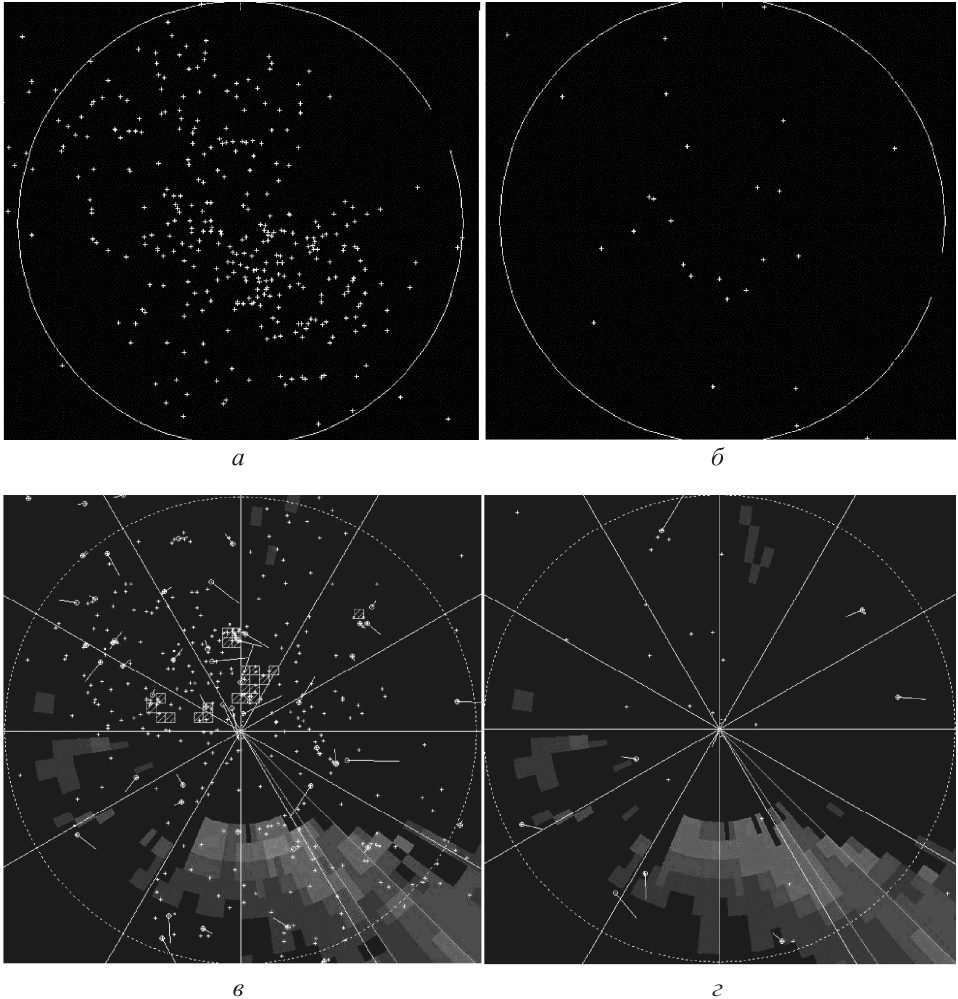
Для повышения качества подавления ПП был предложен и реализован алгоритм дополнительной режекции помех за счет спектральной обработки, осуществляемой в ПОИ по всей совокупности пачек зондирующих импульсов, попавших в оценочный пакет [1]. Эта обработка проводится только для отметок, сформированных по остаткам ПП, что позволяет уложиться в требования по производительности.

Суть алгоритма дополнительной режекции ПП заключается в вычислении дискретного преобразования Фурье (ДПФ) по комплексным отсчетам  $\hat{U}_{n,k,r}$  в пакете, полученным вблизи пика функции корреляции сигнала по дальности.

Для двухкоординатных РЛС рассчитываемое ДПФ имеет вид

$$S_m = \frac{1}{N} \frac{1}{K} \sum_{n=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{r=0}^{R-1} \dot{U}_{n,k,r} e^{2j\pi\Delta f \left(m - \frac{M}{2}\right) t_{n,k}}, \quad (1)$$

где  $N$  — число азимутальных направлений, или число пачек;  $K$  — число зондирующих сигналов в пачке;  $R$  — число отсчетов сигнала по дальности (обычно 1–2);  $t_{n,k}$  — моменты времени зондирования для  $k$ -го импульса в  $n$ -й пачке;  $\Delta f$  — шаг по частоте, принятый равным  $\Delta f = 12,5$  Гц.



**Рис. 2.** Отметки обнаружений на выходе ПОИ (а, б) и индикаторы обзора системы ВОИ (в, з)

Шаг  $\Delta f$  соответствует разрешению по доплеровской скорости, равному 0,675 м/с. Число пачек  $N$ , попавших в пакет, в ходе обзора изменяется и может составлять от 1 до 5–6 в зависимости от эффективной площади рассеивания (ЭПР), дальности и высоты целей.

Для трехкоординатной РЛС 12А6 расчет ДПФ имеет некоторые особенности, связанные с частотным сканированием по углу места. В этом случае когерентное накопление (1) между угломестными лучами невозможно и приходится ограничиваться либо некогерентным межлучевым накоплением спектра, либо вычислять ДПФ только в луче с максимумом мощности принятого сигнала.

Экспериментально полученные доплеровские спектры невобулированной и вобулированной последовательностей зондирующих импульсов для трех пачек, попавших в пакет, показаны на рис. 1, б, г. Сравнение этих спектров со спектрами, приведенными на рис. 1, а и в, показывает, что с увеличением числа пачек возрастает контраст основного пика относительно пиков на интервалах неоднозначного измерения. Это позволяет получить однозначную оценку скорости объекта с довольно высокой точностью простым отбором максимального спектрального отсчета.

Для полученного спектра вычисляют порог обнаружения  $S_{\text{пор}}$  в частотной области, с которым сравнивают максимальный отсчет спектра  $S_{\text{max}}$ . Если максимум в спектре недостаточно контрастный, то для такого пакета скорость не оценивается. Если порог превышен, то по номеру отсчета максимума рассчитывают оценку доплеровской частоты  $\hat{f}_{\text{max}}$  и скорости  $\hat{V}_d$ . В этом случае пакет данных признается кондиционным. Далее проверяют попадание оценки доплеровской скорости<sup>1</sup> в назначенную зону режекции.

Обычно зона режекции по путевой скорости для РЛС УВД составляет 30...50 м/с. Произвольная пространственная ориентация вектора скорости ВО вынуждает устанавливать порог по доплеровской (радиальной) скорости также равным этому значению.

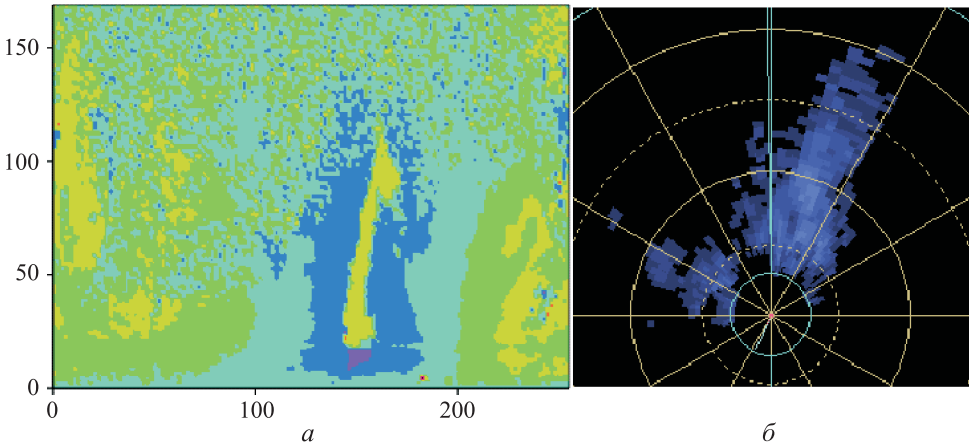
Результат работы описанного алгоритма дополнительной спектральной обработки приведен рис. 2, б и г, на которых показаны снимки индикаторов кругового обзора для выходов ПОИ и ВОИ. За счет использования предложенного алгоритма число отметок с выхода ПОИ, обусловленных помехой, уменьшается более чем в 10 раз. Соответственно, сокращается число ложных трасс, завязываемых системой ВОИ.

Качество работы алгоритма дополнительной режекции зависит от корректного назначения порогов в частотной области с учетом данных об интенсивности и скорости движения источников ПП по зоне обзора. С этой целью в обсуждаемых РЛС строят карты доплеровских скоростей (рис. 3, а) и карты интенсивностей местности и метеообразований (рис. 3, б).

Анализ большого числа карт доплеровских скоростей, полученных на различных радиолокационных позициях, показывает, что в подавляющем боль-

---

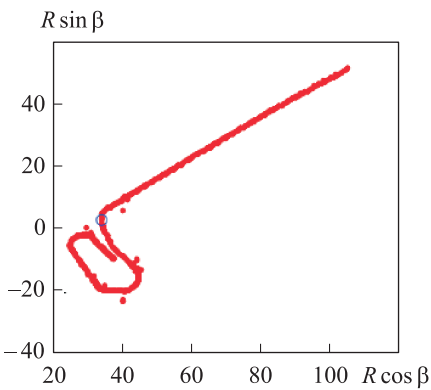
<sup>1</sup> Здесь и далее под доплеровской скоростью  $V_d$  понимается измеренная радиальная скорость объектов по доплеровскому сдвигу спектра принятых сигналов, а под радиальной скоростью  $V_r$  — проекция путевой скорости объекта на луч зрения, рассчитываемая в системе ВОИ по данным трассовой обработки. В идеальном случае абсолютные значения этих скоростей совпадают, но имеют различные знаки.



**Рис. 3.** Карты доплеровских скоростей (а) и карты интенсивностей местности и метеообразований (б)

шинстве элементов карты доплеровские скорости ПП не превышают 10...15 м/с. Аномально большие значения доплеровских скоростей ПП отмечаются в техногенных зонах и в зонах городских застроек. Выбросы доплеровских скоростей ПП могут достигать 50...100 м/с и носят локальный характер.

Неоднородность доплеровских скоростей ПП по пространству приводит к необходимости локального управления зоной режекции ПП по скорости, которое выполняется на основе получаемых карт.

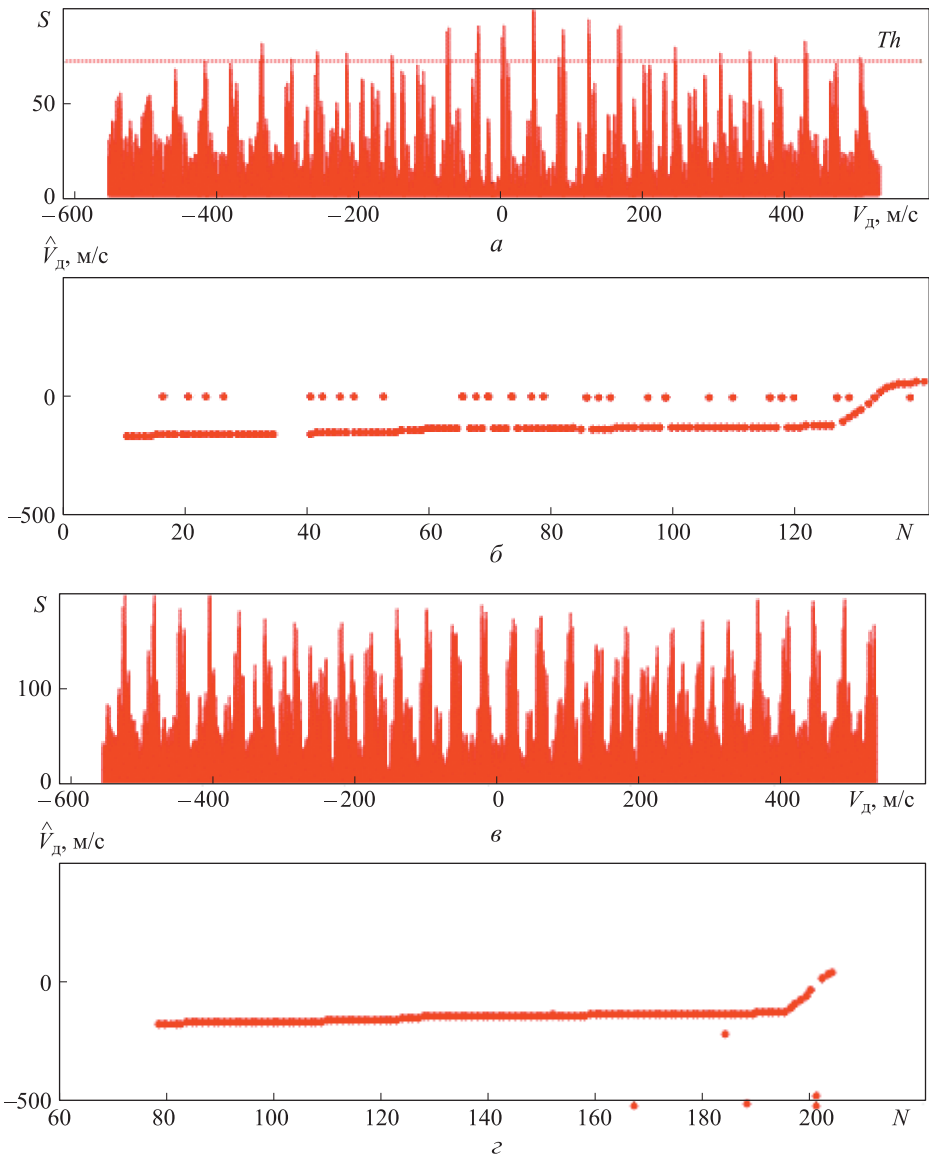


**Рис. 4.** Трасса ВО в прямоугольных координатах, зарегистрированная РЛС «Лира-А10Т» и РЛП «Внуково» (кружком обозначена одна из точек трассы)

Результат применения алгоритма адаптивного управления порогами принятия решений показан на рис. 4 и рис. 5. Трасса ВО в прямоугольных координатах, зарегистрированная РЛС «Лира-А10Т» и РЛП «Внуково», приведена на рис. 4. Трасса имеет участки маневра и прямолинейного движения.

Доплеровский спектр в одной из точек трассы (см. рис. 4) приведен на рис. 5, а, оценка доплеровской скорости при неадаптивной установке порогов принятия решений — на рис. 5, б. В некоторых точках имеет место отказ от измерения доплеровской скорости ( $V_d = 0$ ).

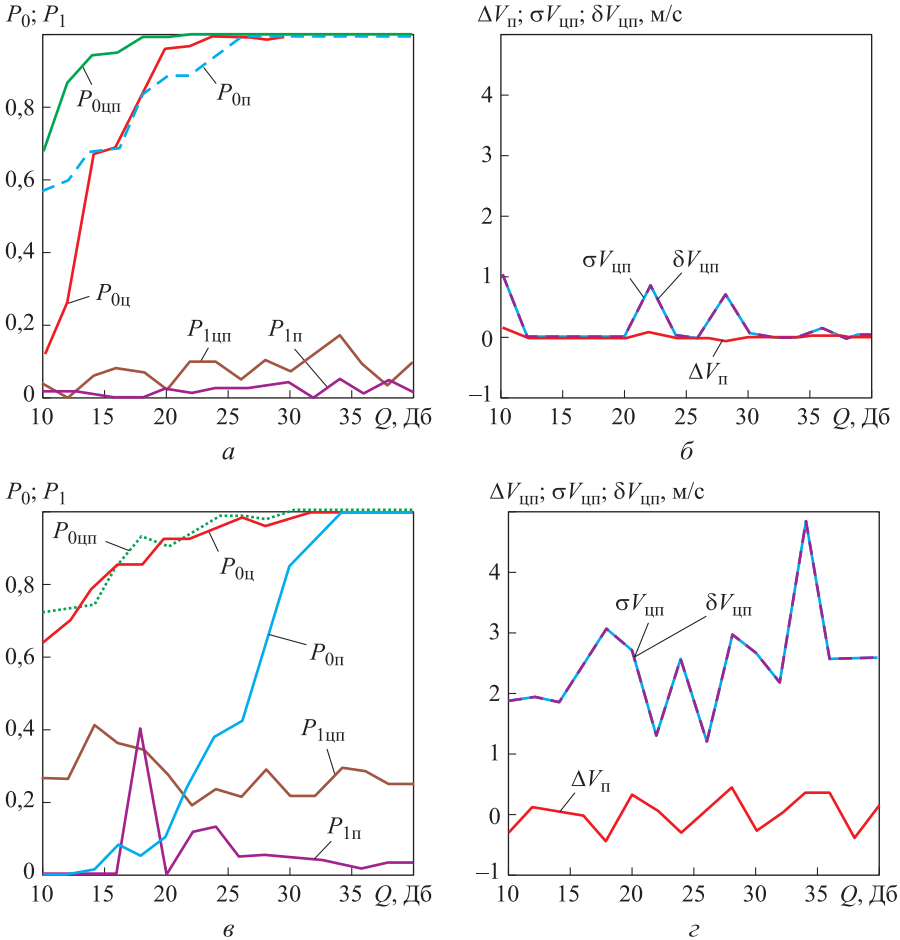
Доплеровский спектр и оценка доплеровской скорости при адаптивной установке порогов показаны на рис. 5, в, г. Здесь пропадает только одна точка, когда ВО проходит точно перпендикулярно лучу зрения. Отметим, что такая ситуация тоже может быть исправлена, если использовать данные ВОИ об ориентации вектора скорости ВО.



**Рис. 5.** Спектры (а, в) и оценка доплеровских скоростей (б, г) ВО при неадаптивной (а, б) и адаптивной (в, г) установках порогов принятия решений

Экспериментальное получение статистических характеристик разработанного алгоритма требует проведения большого объема исследований на рабочих позициях в специальных режимах накопления данных в ПОИ. В соответствии с условиями обеспечения безопасности полетов отклонения от штатных режимов программного обеспечения ПОИ допускаются только в ходе ограниченного времени проведения регламентных работ, что недостаточно для набора статистического материала. Поэтому статистическая проверка разработанного алгоритма проводилась с помощью программно-математической модели РЛС и радиолокационного обзора.

Результаты моделирования с использованием рассмотренного алгоритма дополнительной режекции остатков ПП для вобулированной и невобулированной пачек приведены на рис. 6. Результаты получены для ПП с шириной спектра  $\Delta f = 5$  Гц, скорость помехи случайна в диапазоне  $\pm 30$  м/с, скорость цели случайна вне зоны режекции.



**Рис. 6.** Результаты моделирования дополнительной режекции остатков ПП для вобулированной (а, в) и невобулированной (б, г) пачек

Вероятности образования отметок на выходе СДЦ от ВО ( $P_{0ц}$ ), от остатков ПП ( $P_{0п}$ ) и от ВО на фоне помехи ( $P_{0цп}$ ), а также вероятности выдачи ложных отметок от ПП ( $P_{1п}$ ) и вероятности обнаружения движущейся цели на фоне ПП ( $P_{1цп}$ ) после применения алгоритма показаны на рис. 6, а и в.

Точностные характеристики получаемых оценок доплеровской скорости ВО, выделяемого на фоне ПП (смещенности ( $\Delta V_{цп}$ ), СКО ( $\sigma V_{цп}$ ) и суммарной погрешности ( $\delta V_{цп}$ )), приведены на рис. 6, б и г. Получаемая точность оценок весьма высока: погрешность измерения приблизительно составляет 1...3 м/с.



Согласно приведенным данным, алгоритм позволяет достаточно хорошо подавить остатки ПП, однако имеет недостаточную подпомеховую видимость. В настоящей работе предложен эвристический алгоритм выделения движущихся целей на фоне ПП, в котором проводится компенсация спектра пассивной помехи. Алгоритм основан на измерении параметров ПП, формировании модельного помехового сигнала с последующим вычитанием спектра этого сигнала из спектра входной реализации.

Первый этап алгоритма включает в себя рассмотренный выше алгоритм дополнительной режекции помехи. Если оценка скорости  $\hat{V}_d$  оказывается вне интервала режекции, то полагается, что во входной реализации присутствует только сигнал от движущегося объекта и компенсация помехи не проводится.

Если оценка скорости  $\hat{V}_d$  попадает в интервал малых скоростей, то полагается, что во входной реализации присутствует сигнал от помехи. По спектру, рассчитанному в районе частоты  $f_{\max}$  с меньшим шагом по частоте, вычисляют оценки параметров сигнала ПП: амплитуду  $\hat{A}_n$ ; частоту  $\hat{f}_n$ ; начальную фазу  $\hat{\phi}_n$ . Отметим, что получаемые оценки параметров помехи имеют достаточную точность, что обусловлено большим отношением мощности помехи к мощности собственного шума.

Далее формируются отсчеты модельного сигнала с указанными параметрами, который ассоциируется с сигналом от ПП:

$$\dot{U}_{n,k} = \hat{G}_n \hat{A}_n e^{2\pi j \hat{f}_n t_{n,k} + \hat{\phi}_n},$$

где  $t_{n,k}$  — отсчет времени, соответствующий текущему отсчету;  $\hat{G}_n = \frac{U_{\Sigma,n}}{U_{\Sigma,\max}}$  —

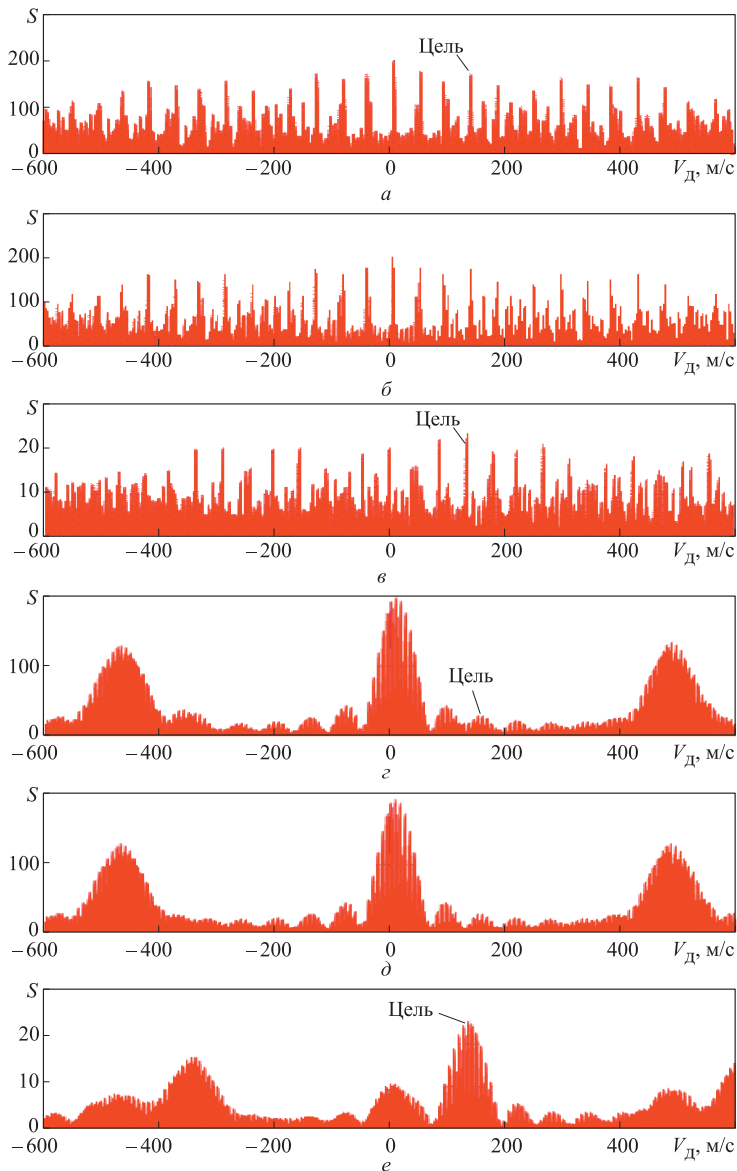
$= \frac{\sum_{k=1}^K |\dot{U}_{n,k}|}{U_{\Sigma,\max}}$  — оценка диаграммного множителя;  $U_{\Sigma,\max}$  — максимальное значение  $U_{\Sigma,n}$ .

С помощью ДПФ рассчитывают спектр модельного помехового сигнала, отсчеты которого вычитают из отсчетов спектра входного сигнала. Далее находят максимальный отсчет результирующего спектра  $|\dot{S}'|_{\max}$ , который сравнивают с адаптивным порогом, зависящим от среднего уровня спектра после вычитания.

Если значение  $|\dot{S}'|_{\max}$  меньше порога, то сформированный пакет принадлежит ПП и далее на обработку не направляется. При превышении порога рассчитывают оценку доплеровской скорости цели  $\hat{V}_d$  и проводят селекцию по скорости. Если оценка  $\hat{V}_d$  находится вне зоны режекции, то обнаруженный пакет принадлежит движущемуся объекту.

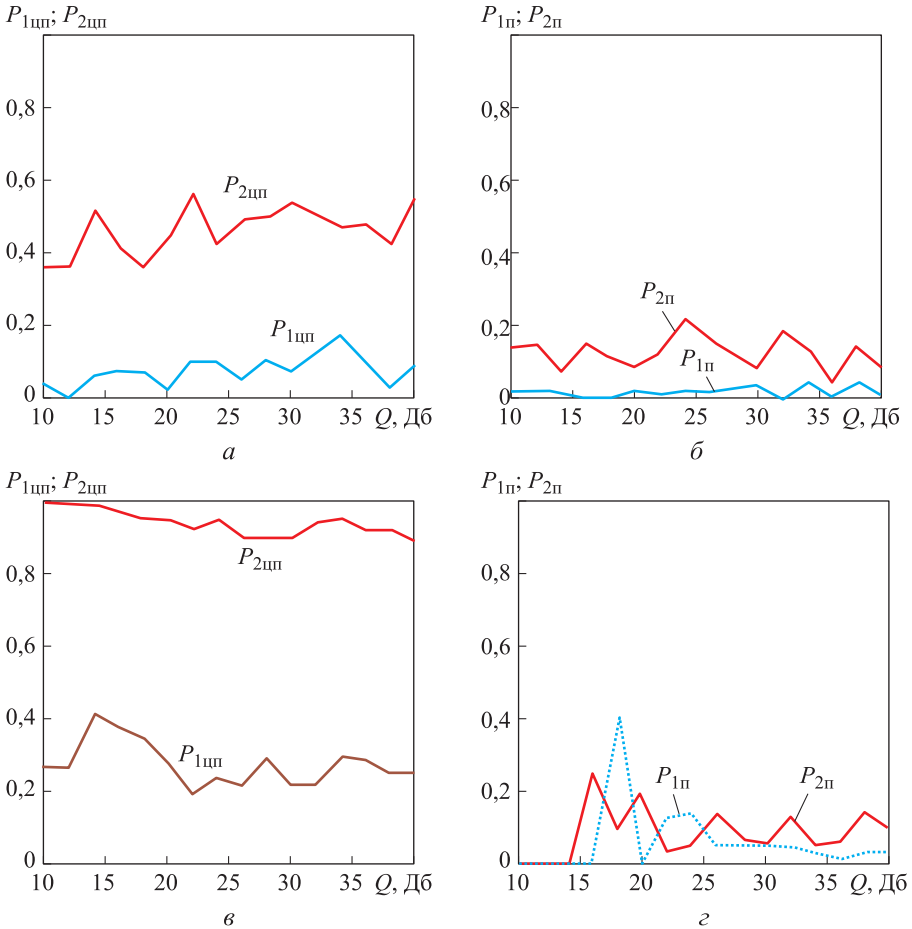
Спектры входной реализации, модельного сигнала и спектр после компенсации для трехпачечных пакетов зондирующих сигналов вобулированной последовательности с низкой частотой повторения и для невобулированной последова-

тельности с высокой частотой повторения приведены на рис. 7. Для возбужденной последовательности с низкой частотой спектральные компоненты помехи и сигнала «вложены» друг в друга, что усложняет задачу выделения сигнала на фоне ПП вследствие трудностей в получении корректных оценок параметров модельного сигнала. Подпомеховая видимость в показанном примере достаточно высокая ( $\approx -20$  дБ).



**Рис. 7.** Исходные (а, з), модельные (б, д), результирующие (в, е) спектры для последовательности с низкой частотой повторения (а–в) и для последовательности с высокой частотой повторения (з–е)

Качество работы предлагаемого алгоритма с компенсацией спектра ПП исследовалось с помощью статистического моделирования. Вероятности выделения ( $P_{2цп}$ ) движущегося объекта на фоне равной по мощности ПП для вобулированной и невобулированной зондирующих последовательностей, а также вероятности ( $P_{1цп}$ ) для случая использования только алгоритма дополнительной режекции ПП приведены на рис. 8, а, в. Вероятности ( $P_{2п}$ ) получения на выходе ложных отметок от остатков ПП для вобулированной и невобулированной пачек и аналогичные вероятности для алгоритма дополнительной режекции ПП ( $P_{1п}$ ) показаны на рис. 8, б, г.

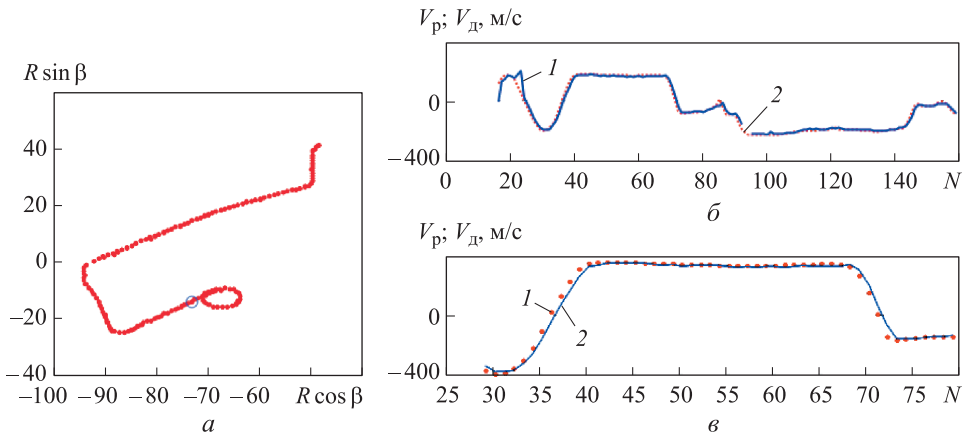


**Рис. 8.** Вероятности выделения ВО (а, в) и ложных пакетов (б, г) для вобулированной (а, б) и невобулированной (в, г) последовательности

В соответствии с приведенными данными, в случае невобулированной последовательности предлагаемый алгоритм обеспечивает достаточно хорошую подпомеховую видимость движущихся целей при довольно глубоком подавлении остатков ПП. Для вобулированной пачки подпомеховая видимость ниже, что обусловлено достаточно сложным характером спектра. Вместе с тем, по

сравнению с алгоритмом дополнительной компенсации вероятность выделения движущейся цели возрастает не менее чем в 4 раза. Отметим, что точность получаемых оценок скорости обнаруженного объекта примерно такая же, как и в рассмотренном выше алгоритме режекции без компенсации ПП.

**Заключение.** Итоговые результаты, иллюстрирующие качество разработанных алгоритмов, представлены на рис. 9.



**Рис. 9.** Трасса маневренного ВО (а), оценки доплеровской (1) и радиальной (2) скорости маневренного ВО в различных масштабах (б, в)

Трасса маневренного ВО в прямоугольных координатах, зарегистрированная на РЛС «Лира-А10Т» РЛП «Внуково» приведена на рис. 9, а. Для этой трассы на рис. 9, б, в показаны графики оценок доплеровских и радиальных скоростей в различных масштабах. Знак доплеровской скорости приведен в соответствии с радиальной скоростью. Наблюдается их хорошее совпадение на стационарных участках трассы и опережающее изменение доплеровской скорости на участках маневра ВО.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бакулев П.А., Степин В.М. Методы и устройства селекции движущихся целей. М.: Радио и связь, 1986. 288 с.
2. Сколник М., ред. Справочник по радиолокации. Т. 3. Радиолокационные устройства и системы. М.: Советское радио, 1978. 528 с.
3. Профатилова Г.А., Соловьев Г.Н., Ефремов В.С., Соловьев А.Г. Повышение эффективности систем селекции движущихся тел в РЛС управления воздушным движением // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2012. № 3. С. 86–93.
4. Автоматизированные системы управления воздушным движением: новые информационные технологии в авиации / Р.М. Ахмедов, А.А. Бибутов, А.В. Васильев и др.; под ред. С.Г. Пятко, А.И. Краснова. СПб.: Политехника, 2004. 446 с.
5. Организация воздушного движения, использование воздушного пространства, безопасность полетов // Научный вестник ГосНИИ «Аэронавигация» № 11. М.: Изд-во ФГУП ГосНИИ «Аэронавигация», 2012. 177 с.

6. *Skolnik M.I., ed. Radar handbook. New York: McGraw-Hill, 2008. 1352 p.*
7. *Марпл-мл. С.Л. Цифровой спектральный анализ и его приложения М.: Мир, 1990. 265 с.*
8. *Бакулев П.А. Радиолокационные системы. М.: Радиотехника, 2004. 320 с.*
9. *Горбунов Ю.Н. Цифровые системы СДЦ и их оптимизация. М.: МГИРЭА, 2008. 132 с.*
10. *Ефремов В.С. Адаптивные системы селекции движущихся целей в радиолокаторах управления воздушным движением // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2007. № 2. С. 3–16.*

**Профатилова Галина Анатольевна** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник НИИ «Радиолокационной техники» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Соловьев Григорий Николаевич** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник НИИ «Радиолокационной техники» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

**Ефремов Вячеслав Самсонович** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник, заместитель директора по науке НПО «Лианозовский электромеханический завод» (Российская Федерация, 127411, Москва, Дмитровское шоссе, д. 110).

**Соловьев Алексей Григорьевич** — канд. техн. наук, сотрудник НПО «Лианозовский электромеханический завод» (Российская Федерация, 127411, Москва, Дмитровское шоссе, д. 110).

#### **Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Профатилова Г.А., Соловьев Г.Н., Ефремов В.С., Соловьев А.Г. Спектральная обработка информации в радиолокационных станциях систем управления воздушным движением // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Приборостроение. 2017. № 5. С. 99–113.  
DOI: 10.18698/0236-3933-2017-5-99-113

## **SPECTRAL PROCESSING OF INFORMATION IN RADAR SYSTEMS OF AIR TRAFFIC CONTROL**

**G.A. Profatilova<sup>1</sup>**

**G.N. Solov'ev<sup>1</sup>**

[solovgrigory@rambler.ru](mailto:solovgrigory@rambler.ru)

**V.S. Efremov<sup>2</sup>**

**A.G. Solov'ev<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> **Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation**

<sup>2</sup> **Research and Production Corporation Lianozovo Electromechanical Plant, Moscow, Russian Federation**

---

#### **Abstract**

The study focuses on the method of spectral processing of target signal bursts in output of the moving target indication system in the survey radar systems of air traffic control radars. It makes it possible to increase the noise immunity of these systems. The method is based on calculating,

#### **Keywords**

*MTI, radar systems, air traffic control radar, wobbled radar burst spectrum, Doppler velocity estimation, clutter noise map, Doppler velocity map*

processing and filtering the Doppler spectra of received signals with an adaptive account of current intensity maps and clutter speed. We propose a method for clutter compensation in the spectral region by estimating the parameters of the compensating signal from the input sample. Findings of radar system tests showed an improvement in subclutter visibility and a significant decrease in the flow of false clutter marks transmitted to the trajectory processing

Received 02.03.2017  
© BMSTU, 2017

## REFERENCES

- [1] Bakulev P.A., Stepin V.M. *Metody i ustroystva selektsii dvizhushchikhsya tseley* [Methods and circuit for moving target selection]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1986. 288 p.
- [2] Skolnik M., ed. *Radar handbook*. New York, McGraw-Hill, 1970.
- [3] ProfatiloVA G.A., Solov'yev G.N., Efremov V.S., Solov'yev A.G. Increase in efficiency of moving target indication systems in air traffic control radars. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2012, no. 3, pp. 86–93 (in Russ.).
- [4] Akhmedov R.M., Bibutov A.A., Vasil'yev A.V., et al. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniya vozdushnym dvizheniem: novye informatsionnye tekhnologii v aviatsii* [Automated air traffic control systems: New informational technologies in aviation]. Saint-Petersburg, Politekhnik Publ., 2004. 446 p.
- [5] *Organizatsiya vozdushnogo dvizheniya, ispol'zovanie vozdushnogo prostranstva, bezopasnost' poletov* [Air traffic management, air space management, flight safety]. *Nauchnyy vestnik GosNII «Aeronavigatsiya» № 11* [Scientific bulletin of GosNii "Aerial navigation" no. 11]. Moscow, FGUP GosNII "Aeronavigatsiya" Publ., 2012. 177 p. (in Russ.).
- [6] Skolnik M.I., ed. *Radar handbook*. New York, McGraw-Hill Book Company, 2008. 1352 p.
- [7] Marple S.L. *Digital spectral analysis: With applications*. Upper Saddle River, Prentice-Hall, 1986.
- [8] Bakulev P.A. *Radiolokatsionnye sistemy* [Radar systems]. Moscow, Radiotekhnika Publ., 2004. 320 p.
- [9] Gorbunov Yu.N. *Tsifrovye sistemy SDTs i ikh optimizatsiya* [Digital systems of moving target signal and their optimization]. Moscow, MGIREA Publ., 2008. 132 p.
- [10] Efremov V.S. Adaptive systems of selection of moving targets in air traffic control radars. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2007, no. 2, pp. 3–16 (in Russ.).

**ProfatiloVA G.A.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Scientist, Scientific Research of Institute of Radioelectronic Engineering, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Bauman-skaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Solov'yev G.N.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Scientist, Scientific Research of Institute of Radioelectronic Engineering, Bauman Moscow State Technical University (2-ya Bauman-skaya ul. 5, str. 1, Moscow, 105005 Russian Federation).

**Efremov V.S.** — Cand. Sc. (Eng.), Senior Research Scientist, Deputy Director for Science, Research and Production Corporation Lianozovo Electromechanical Plant (Dmitrovskoe shosse 110, Moscow, 127411 Russian Federation).

**Solov'ev A.G.** — Cand. Sc. (Eng.), Research Scientist, Research and Production Corporation Lianozovo Electromechanical Plant (Dmitrovskoe shosse 110, Moscow, 127411 Russian Federation).

**Please cite this article in English as:**

Profatilova G.A., Solov'ev G.N., Efremov V.S., Solov'ev A.G. Spectral Processing of Information in Radar Systems of Air Traffic Control. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Priborostr.* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Instrum. Eng.], 2017, no. 5, pp. 99–113. DOI: 10.18698/0236-3933-2017-5-99-113

<p>В.В. Бондарев</p> <p><b>Введение в информационную безопасность автоматизированных систем</b></p>  <p>ИЗДАТЕЛЬСТВО МГТУ ИМ. Н.Э. БАУМАНА</p>	<p>В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана вышло в свет учебное пособие автора <b>В.В. Бондарева</b></p> <p><b>«Введение в информационную безопасность автоматизированных систем»</b></p> <p>Рассмотрена законодательная база информационной безопасности, приведен перечень возможных угроз, отражены основные подходы к созданию систем защиты информации, представлена классификация предупредительных мер, изучены вопросы, связанные с программно-аппаратными механизмами обеспечения информационной безопасности.</p> <p><b>По вопросам приобретения обращайтесь:</b> 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1 +7 (499) 263-60-45 press@bmstu.ru www.baumanpress.ru</p>
--	--