



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-5-88-95>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 621.396.96

## РАСПОЗНАВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ПОРТРЕТАМ С УЧЕТОМ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ТУРБОРЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Е. В. ЗАЙКО<sup>1</sup>, П. Н. ШУМСКИЙ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Военная академия Республики Беларусь (г. Минск, Республика Беларусь)

<sup>2</sup>Центр радиотехники Национальной академии наук Беларуси (г. Минск, Республика Беларусь)

Поступила в редакцию 10.05.2023

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** В статье рассмотрено устройство радиолокационного распознавания, позволяющее на основании анализа конструкции двигательной установки определять класс (тип) наблюдаемого воздушного объекта. Определение класса (типа) наблюдаемого объекта осуществлялось путем исследования соотношений модуляционных частот спектрального радиолокационного портрета. Получены решающее правило, а также структурная схема устройства, позволяющие определять класс и дополнительно тип наблюдаемого воздушного объекта, оснащенного турбореактивным двигателем. Для формирования апостериорной плотности вероятности использовали численный метод Монте-Карло. Представлены результаты математического моделирования, подтверждающие эффективность предложенного устройства.

**Ключевые слова:** радиолокационное распознавание, вторичная модуляция, спектральный радиолокационный портрет, турбинная модуляция, метод Монте-Карло.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Зайко, Е. В. Распознавание аэродинамических объектов по спектральным портретам с учетом конструктивных особенностей турбореактивных двигателей / Е. В. Зайко, П. Н. Шумский // Доклады БГУИР. 2023. Т. 21, № 5. С. 88–95. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-5-88-95>.

## RECOGNITION OF AERODYNAMIC OBJECTS ON SPECTRAL PORTRAITS TAKING INTO ACCOUNT DESIGN FEATURES OF TURBOJETS

EUGENIE V. ZAIKO<sup>1</sup>, PETR N. SHUMSKY<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Military Academy of the Republic of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

<sup>2</sup>Radio Engineering Center of the National Academy of Sciences of Belarus (Minsk, Republic of Belarus)

Submitted 10.05.2023

**Abstract.** In the article the device of radar-tracking recognition allowing on the basis of the analysis of a design of impellent installation to define a class (type) of observable air object is considered. Determination of the class (type) of the observed object was carried out by studying the ratios of the modulation frequencies of the spectral radar portrait. The solving rule, as well as the device block diagram are obtained, allowing to define the class and, in addition, the type of the observed air object equipped with a turbojet engine. To form a posteriori probability density, the numerical method of Monte-Carlo was used. The results of the mathematical modelling, confirming the efficiency of the proposed device, are presented.

**Keywords:** radar-tracking recognition, secondary modulation, spectral radar-tracking portrait, turbine modulation, Monte-Carlo method.

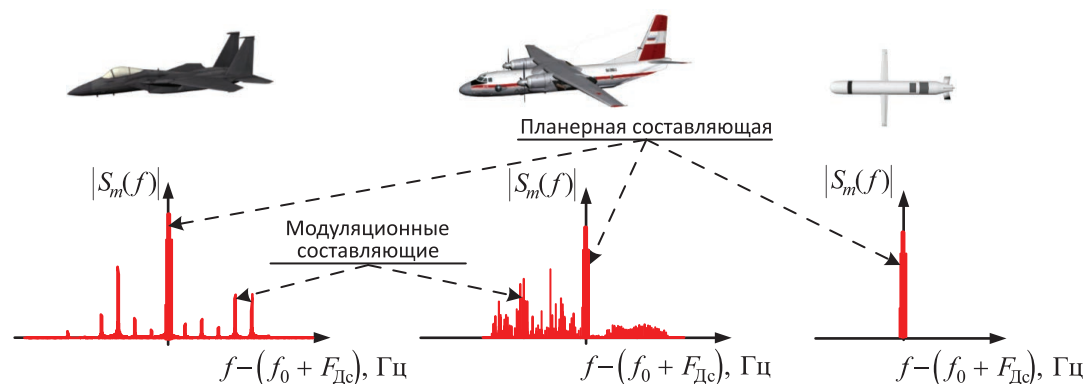
**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Zaiko E. V., Shumsky P. N. (2023) Recognition of Aerodynamic Objects on Spectral Portraits Taking into Account Design Features of Turbojets. *Doklady BGUIR*. 21 (5), 88–95. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-5-88-95> (in Russian).

## Введение

Радиолокационные системы и средства мониторинга воздушной обстановки являются источником полезной информации, которая используется для повышения эффективности управления на различных уровнях. Информация о классе (типе) наблюдаемого объекта позволяет выбирать наиболее опасные цели в налете, определять состав групповых целей, селективировать цели по решаемым задачам, вскрывая замысел противника, и т. п. Определение класса (типа) наблюдаемого воздушного объекта – результат решения задачи распознавания [1]. Повышение эффективности классификации наблюдаемых объектов – весьма востребованная и актуальная задача.

Для определения класса (типа) наблюдаемого объекта используются различные классификационные признаки (сигнальные, траекторные, тактические и др.). В радиолокационных системах (РЛС) в качестве сигнальных признаков, как правило, применяются радиолокационные портреты (РЛП) объектов наблюдения [1]. Несмотря на широкий ассортимент существующих РЛП, их практическое использование зачастую ограничено возможностями радиолокационных систем. Определенный практический интерес вызывает спектральный радиолокационный портрет (СРЛП), который характеризуется высокой информативностью и простотой формирования в современных когерентных РЛС. СРЛП представляет собой упорядоченную совокупность комплексных амплитуд отраженного сигнала, относящихся к различным элементам разрешения по частоте [1]. Обобщенный СРЛП включает так называемую планерную составляющую спектра отраженного сигнала, обусловленную отражением сигнала от корпуса наблюдаемого объекта, а также спектральные модуляционные компоненты, обусловленные отражением сигнала от наблюдаемых вращающихся элементов конструкции цели (так называемые составляющие спектра вторичной модуляции (ВМ)) (рис. 1). В качестве источников формирования компонент ВМ, как правило, выступают лопасти несущих винтов вертолета, тяговые винты двигателей объектов, ступени винтов турбин турбовинтовых и турбореактивных двигателей самолетов, лопасти рулевых (хвостовых) винтов вертолета и т. п. [2–4].



**Рис. 1.** Иллюстрация спектрального радиолокационного портрета различных классов  
**Fig. 1.** Illustration spectral radar-tracking portrait of various classes

При распознавании класса наблюдаемого объекта по СРЛП, как правило, ограничиваются анализом амплитуды (мощности) спектральных составляющих, а также их распределения вдоль оси частот [2–4]. Следует отметить, что положение на оси частот компонент ВМ зависит от ряда информативных параметров, в качестве которых принято рассматривать количество наблюдаемых лопастей винта  $N_{л}$ , а также режим работы двигательной установки, определяющийся текущим значением частоты вращения  $F_{вр}$ . Значения приведенных параметров, как правило, отличаются для различных классов (типов) объектов [2–4].

Целью исследований являлись разработка структуры устройства радиолокационного распознавания класса (типа) наблюдаемого аэродинамического объекта, учитывающего особенности конструкции его двигательных установок, а также анализ эффективности функционирования полученного классификатора.

### Основная часть

При облучении зондирующим сигналом радиолокационной цели возникает эффект вторичного излучения [2]. Вибрирующие и вращающиеся элементы конструкции наблюдаемого объекта в процессе вторичного излучения вызывают модуляцию параметров радиолокационного сигнала. Это обуславливает возникновение в спектре отраженного сигнала спектральных компонент ВМ. В зависимости от источника возникновения компонент ВМ различают [2]:

- пропеллерную модуляцию, источником которой являются крупногабаритные вращающиеся лопасти вертолетов или быстровращающиеся лопасти винтов турбовинтовых самолетов;
- турбинную модуляцию, обусловленную отражением сигнала от воздухозаборников и лопастей турбин турбореактивных самолетов;
- вибрационную модуляцию, обусловленную отражениями от вибрирующих элементов корпуса объекта, обусловленную работой двигательных установок, перегрузками в процессе полета и др.

Следует отметить, что каждый из распознаваемых типовых воздушных объектов характеризуется конкретным типом двигательной установки. При этом рабочий диапазон значений частот вращения вала двигательной установки или компрессора низкого давления (КНД), а также значения числа лопаток двигательной установки объекта анализируемого класса (типа) являются его информативным классификационным признаком [5]. Таким образом, спектральный состав наблюдаемых радиолокационных сигналов характеризует не только класс объекта, но и его тип [2–4]. Рассматривая СРЛП воздушных объектов, оснащенных турбореактивными двигателями, следует отметить, что конструкция турбин предусматривает наличие нескольких ступней винтов КНД, отличающихся количеством лопаток (рис. 2) [5].

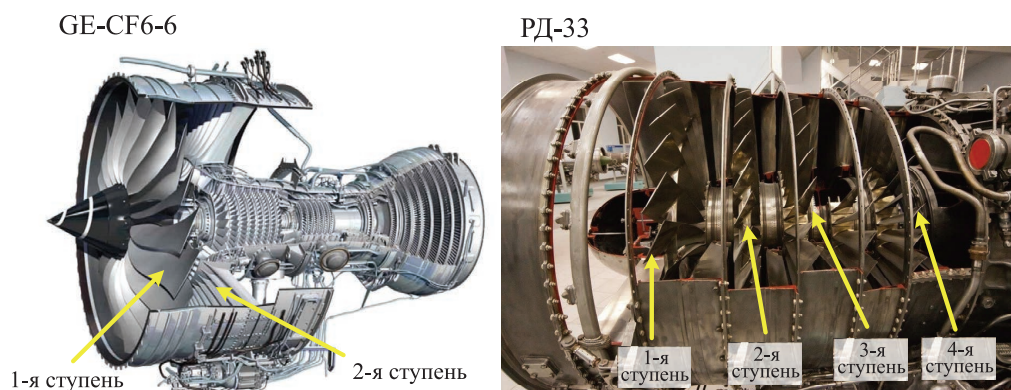


Рис. 2. Примеры турбореактивных двигателей с различным числом ступней  
Fig. 2. Examples of turbojets with various number of steps

Процесс облучения радиолокационным сигналом турбореактивного двигателя наблюдаемого объекта обуславливает возникновение эффекта турбинной модуляции [2]. При этом радиолокационный сигнал многократно переотражается от нескольких ступней винтов КНД. В результате происходит обогащение спектра отраженного сигнала: кроме модуляционной составляющей сигнала на частотах  $kN_{\text{л}}^1 F_{\text{вр}}$ ,  $k = \pm 1, \pm 2, \dots$  ( $N_{\text{л}}^1$  – количество лопаток в первой ступени винтов КНД), которые характеризуются отражением сигнала от первой ступени КНД, возникают спектральные составляющие на комбинационных частотах  $(k_1 N_{\text{л}}^1 + k_2 N_{\text{л}}^2) F_{\text{вр}}$ ,  $k = \pm 1, \pm 2, \dots$  ( $N_{\text{л}}^2$  – количество лопаток во второй ступени КНД) [2, 3].

При радиолокационном распознавании классов (типов) наблюдаемых объектов целесообразно использовать априорные сведения о количестве двигателей объекта, количестве лопаток вин-

тов или ступеней винтов двигателей [2, 3, 6]. Кроме того, следует учитывать текущее значение частоты вращения вала двигательных установок объекта.

В ряде практически важных случаев, характеризующихся высокими отношениями сигнал-шум, в СРПП наиболее интенсивно проявляются компоненты частоты турбинной модуляции, обусловленные отражением от первой и второй ступеней двигателя [3, 6]. С учетом данного факта, в интересах распознавания аэродинамических объектов с турбореактивными двигателями по СРПП в качестве классификационных признаков, кроме значений спектральных компонент, формируемых первой ступенью КНД, целесообразно дополнительно использовать спектральные компоненты, обусловленные комбинационными частотами. Такой подход позволил оценивать и учитывать при распознавании дополнительный признак-коэффициент, пропорциональный отношению модуляционных частот анализируемых ступеней КНД. В рамках данной статьи для определения типа распознаваемого объекта ограничимся использованием спектральных компонент турбинной модуляции от первой и второй ступеней двигателя.

Практическое использование СРПП для классификации наблюдаемых объектов несколько затрудняется наличием ракурсной зависимости, а также сложностью процедуры оценки значения частоты вращения вала двигателя. Проведенные исследования показали, что приемлемой эффективностью обладают алгоритмы, основанные на последовательной процедуре классификации при комплексировании сигнальных и траекторных классификационных признаков с их адаптацией к условиям наблюдения [7]. Последовательное правило принятия решения о классе объекта имеет вид [7]:

$$\begin{aligned}
 & \text{– для } n + 1 < K, \text{ если } \begin{cases} Z(\mathbf{f}'_{n+1} | A_k) > Z(\mathbf{f}'_{n+1} | A_g), g = \overline{1, M}, g \neq k; \\ Z(\mathbf{f}'_{n+1} | A_k) > \ln \left( \sum_{i=1, i \neq k}^M e^{Z(\mathbf{f}'_{n+1} | A_i)} \right) + \ln \left( \frac{1 - \Pi_{M+1}}{\Pi_{M+1}} \right), \text{ то } A_k^*, \text{ иначе } A_{M+1}^*; \end{cases} \\
 & \text{– для } n + 1 = K, \text{ если } Z(\mathbf{f}'_{n+1} | A_k) > Z(\mathbf{f}'_{n+1} | A_g), g = \overline{1, M}, g \neq k, \text{ то } A_k^*,
 \end{aligned} \tag{1}$$

где  $Z(\mathbf{f}'_{n+1} | A_g)$  – значение логарифма правдоподобия в  $g$ -м канале обработки с первого по текущий  $(n + 1)$ -й контакт;  $\Pi_{M+1}$  – стоимость принятия решения о продолжении наблюдения;  $K$  – значение номера контакта, при котором принимается решение о классе объекта без возможности продолжения наблюдения;  $\mathbf{f}'_{n+1}$  – совокупность реализаций принятого отраженного сигнала с первого по текущий  $(n + 1)$ -й контакт;  $A_k^*$  – принятое решение о классе объекта,  $k = \overline{1, M + 1}$ ;  $M$  – количество распознаваемых классов;  $M + 1$  – гипотеза о продолжении наблюдения.

На выходах каналов обработки сигнальных и траекторных признаков объекта формируются отношения правдоподобия, характеризующие степень достоверности проверяемых гипотез на текущем  $(n + 1)$ -м контакте  $Z(\mathbf{f}'_{n+1} | A_g), g = \overline{1, M}$ . Полученные значения поступают на устройство последовательного принятия решения, обеспечивая принятие решения о классе наблюдаемого объекта  $A_k^*, k = \overline{1, M}$ .

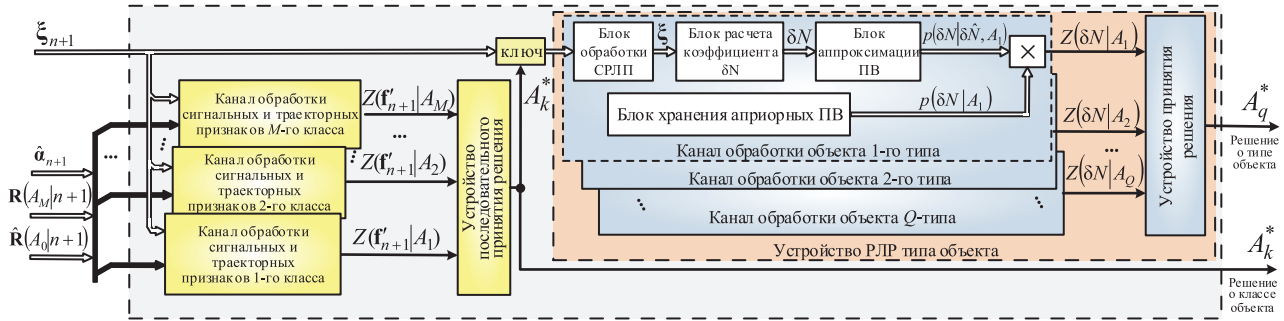
С учетом наличия в спектре анализируемых сигналов комбинационных частот в последовательном устройстве радиолокационного распознавания класса наблюдаемого объекта целесообразно реализовать возможность определения типа объекта, оснащенного турбореактивными двигателями. В этом случае правило принятия решения о типе наблюдаемого объекта, оснащенного турбореактивным двигателем, приобретает вид

$$\text{если } Z(\delta N | A_q) > Z(\delta N | A_l), l = \overline{1, Q}, l \neq q, \text{ то } A_q^*, \tag{2}$$

где  $Z(\delta N | A_q)$  – коэффициент правдоподобия  $q$ -го типа объекта класса «турбореактивный самолет»;  $\delta N$  – коэффициент, характеризующий соотношение между значением модуляционных частот первой и второй ступеней КНД;  $A_q^*$  – решение о типе объекта ( $q = \overline{1, Q}$ ,  $Q$  – число распознаваемых типов объектов).

Структурная схема устройства радиолокационного распознавания (РЛР) с дополнительным определением типа объекта класса «турбореактивный самолет» представлена на рис. 3.





**Рис. 3.** Структурная схема устройства радиолокационного распознавания с определением типа объекта класса «турбореактивный самолет»  
**Fig. 3.** Structural diagram of a radar recognition device with the definition of the type of object of the class “turbojet aircraft”

В случае принятия решения о наблюдении объекта, оснащенного турбореактивным двигателем (например, решение  $A_k^*$  – класс «турбореактивный самолет»), на вход каналов обработки устройства РЛР типа объекта поступают наблюдаемые отсчеты СРЛП ( $\xi_{n+1}$ ). В блоке обработки СРЛП с помощью адаптивного порога выбираются составляющие спектра, обусловленные турбинной модуляцией СРЛП. В блоке расчета коэффициента  $\delta N$  определяется величина, пропорциональная отношению числа лопаток первой и второй ступеней винтов КНД, с учетом текущего значения частоты вращения вала двигателя. Определение спектральных составляющих, обусловленных значениями  $F_{вр} \hat{N}_д^1$ , а также комбинационными частотами первой и второй ступеней винтов КНД  $F_{вр} \hat{N}_д^{21}$ , осуществляется путем анализа локальных максимумов СРЛП.

Следует отметить, что полученная оценка коэффициента  $\delta \hat{N}$  характеризуется наличием ошибок оценивания. В связи с этим для оценивания плотности вероятности (ПВ) текущей оценки коэффициента  $\delta \hat{N}$  целесообразно использовать численную аппроксимацию методом Монте-Карло. В основе этого метода лежит аппроксимация произвольной ПВ  $p(N)$  совокупностью случайных отсчетов  $N^{(s)}$ ,  $s = \overline{1, N_{МК}}$ ,  $N_{МК} \gg 1$ , с использованием нормированных весов этих отсчетов  $w^{(s)}$  [8]. Для аппроксимации численным методом Монте-Карло используется обобщенный гауссовский закон распределения ( $p_{GGD}(x)$ ) [9]:

$$p_{GGD}(x) = \frac{1}{2A(p, \sigma)} e^{-\left(\frac{x-\mu}{A(p, \sigma)}\right)^p}, \quad (3)$$

где  $A(p, \sigma) = \sqrt{(\sigma^2 \Gamma(1/p)) / \Gamma(3/p)}$  – параметр распределения;  $\Gamma(x) = \int_0^\infty t^{x-1} e^{-t} dt$  – гамма-функция;  $\sigma$  – среднее квадратическое отклонение;  $\mu$  – математическое ожидание;  $p$  – параметр формы.

При аппроксимации ПВ  $p(\delta \hat{N} | \delta N, A_q)$  в качестве математического ожидания использованы формируемая оценка значения  $\delta \hat{N}$ , параметр формы  $p = 10$ , а значение среднее квадратическое отклонения определялось точностью определения частоты модуляционных составляющих.

В блоке расчета отношения правдоподобия находили коэффициент правдоподобия каждого распознаваемого  $q$ -го типа объекта

$$Z(\delta N | A_q) = \int_{V_{N_d}^{(q)}} p(\delta N | A_q) p(\delta \hat{N} | \delta N, A_q) d\delta N, \quad q = \overline{1, Q}, \quad (4)$$

где  $V_{N_d}^{(q)}$  – область, определяемая соотношением числа лопаток первой и второй ступеней лопастей КНД двигателя  $q$ -го типа объекта класса «турбореактивный самолет»;  $p(\delta N | A_q)$  – априорная плотность вероятности распределения коэффициента  $\delta \hat{N}$  для  $q$ -го типа объекта класса «турбореактивный самолет»;  $p(\delta \hat{N} | \delta N, A_q)$  – плотность вероятности распределения оценки коэффициента  $\delta \hat{N}$  (функция правдоподобия).

В каждом канале обработки объекта  $q$ -го типа полученная численная аппроксимация ПВ  $p(\delta\hat{N}|\delta N, A_q)$  коэффициента  $\delta\hat{N}$  сопоставлялась с априорными ПВ значений коэффициента  $\delta N$  распознаваемых типов объектов  $p(\delta N|A_l)$ ,  $l=1, Q$ , аппроксимированных обобщенным гауссовским законом распределения (рис. 4).

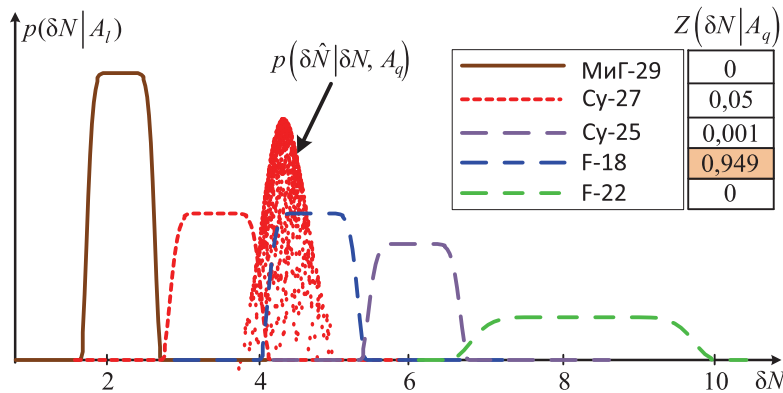


Рис. 4. Пример аппроксимации плотностей вероятности численным методом Монте-Карло  
Fig. 4. Example of approximation of density of probability a numerical method of Monte-Carlo

В результате обработки в каждом канале формируется коэффициент правдоподобия  $Z(\delta N|A_q)$ ,  $q=1, Q$ , применительно к анализируемым типам наблюдаемых объектов класса «турбореактивный самолет». В блоке принятия решений в соответствии с выражением (2) определяли тип наблюдаемого объекта класса «турбореактивный самолет». На выходе устройства РЛР типа объекта класса «турбореактивный самолет» формируется решение  $A_q^*$ .

Предложенный подход обеспечивает расширение функциональности известного алгоритма радиолокационного распознавания класса наблюдаемого объекта, позволяя дополнительно определять тип объектов, оснащенных турбореактивными двигателями (например, В-52, F-16, МиГ-29, F-22, Mirage-2000 и т. п.).

Оценка эффективности функционирования устройства РЛР типа наблюдаемого объекта класса «турбореактивный самолет» производилась методом математического моделирования. Для этого были выбраны несколько объектов класса «турбореактивный самолет» [3, 5]. При формировании входных сигналов использовалась обобщенная математическая модель имитатора, учитывающая закономерности отражений сигналов от двигательных установок [6]. В качестве показателей, характеризующих эффективность функционирования устройства радиолокационного распознавания, рассматривались значения вероятности правильного распознавания  $D(\rho)$ , где  $\rho$  – отношение сигнал-шум на выходе устройства когерентного накопления [1]. Результаты математического моделирования в виде графиков условных вероятностей правильного распознавания приведены на рис. 5.

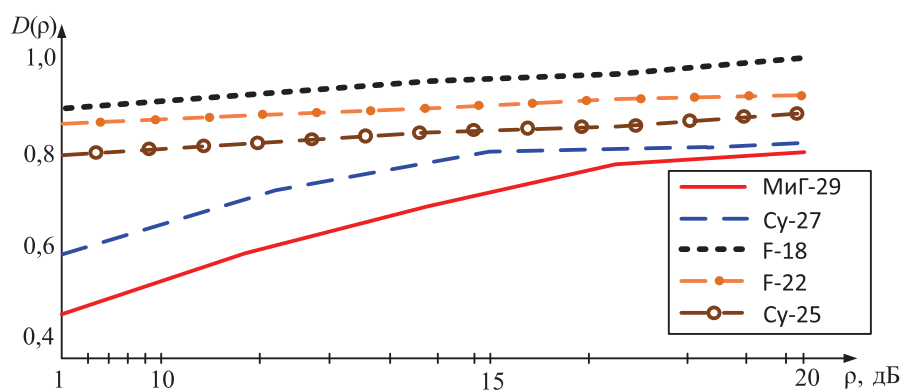


Рис. 5. Вероятности правильного распознавания типа наблюдаемого объекта класса «турбореактивный самолет»

Fig. 5. Probabilities of correct recognition of observable object type of a class “the turbojet plane”

## Результаты исследований

Полученные результаты показывают, что при высоких отношениях сигнал-шум представленное устройство РЛР позволяет с приемлемой достоверностью определять тип наблюдаемого объекта класса «турбореактивный самолет». Однако стоит отметить, что при малых отношениях сигнал-шум для объектов Су-27 и Mirage-2000 наблюдается низкая достоверность распознавания, связанная с тем, что их СРЛП теряют контрастность по отношению к другим СРЛП на фоне шумов. Полученные результаты не противоречат физическим аспектам и подтверждают эффективность рассмотренного устройства определения типа наблюдаемого объекта.

## Заключение

1. Предложен вариант расширения функциональных возможностей устройства радиолокационного распознавания объектов по спектральным портретам. Представлен вариант устройства радиолокационного распознавания, который для объекта класса «турбореактивный самолет» дополнительно позволяет определить тип наблюдаемого объекта.

2. Проведено математическое моделирование, результаты которого показали высокую эффективность разработанного устройства распознавания типа наблюдаемого объекта при больших отношениях сигнал-шум. Рассмотренное устройство может быть достаточно просто реализовано в современных когерентных радиолокаторах.

## Список литературы

1. Радиоэлектронные системы: основы построения и теория. 2-е изд., перераб. и доп. / Я. Д. Ширман и [др.]. М.: Радиотехника, 2007. 512 с.
2. Слюсарь, Н. М. Рассеяние и вторичная модуляция радиолокационных сигналов динамическими объектами / Н. М. Слюсарь. Минск: Воен. акад. Респ. Беларусь, 2015. 288 с.
3. Слюсарь, Н. М. Частотные спектры сигналов, отраженных от самолетов с турбореактивными двигателями / Н. М. Слюсарь // Информационные радиосистемы и радиотехнологии – 2020: матер. Респуб. науч.-практ. конф., г. Минск, 28–29 окт. 2020 г. Минск: Белор. госуд. ун-т информ. и радиоэлектр., 2014. С. 257–267.
4. Гейстер, С. Р. Адаптивное обнаружение-распознавание с селекцией помех по спектральным портретам / С. Р. Гейстер. Минск: Воен. акад. Респ. Беларусь, 2000. 172 с.
5. Military Jet Engine Acquisition: Technology Basics and Cost-Estimating Methodology / Obaid Younossi [et al.]. USA: Santa Monica, 2002. 167 p.
6. Надточий, В. Н. Исследование особенностей описания признаков радиолокационного распознавания воздушных целей в бортовых радиолокационных системах / В. Н. Надточий // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2017. № 10. С. 20–24.
7. Синтез оптимального устройства последовательного сигнально-траекторного распознавания с адаптацией к пространственной ориентации наблюдаемого объекта / С. Н. Ярмолик [и др.] // Вестник Военной академии Республики Беларусь. 2020. № 3. С. 80–91.
8. Особенности использования метода Монте-Карло для аппроксимации статистических распределений результатов нелинейных преобразований в радиолокационных задачах / А. С. Солонар [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук. 2016. № 4. С. 91–98.
9. Лукин, В. В. Оценивание параметра сдвига для семейства обобщенных гауссовых распределений / В. В. Лукин, Д. А. Куркин, А. А. Роечко // Радиоэлектронные и компьютерные системы. 2011. Т. 50, № 2. С. 37–44.

## References

1. Shirman J. D. et al. (2007) *Radioelektronic Systems: Bases of Construction and the Theory*. 2<sup>nd</sup> ed., res. and ad. Moscow, Radio Engineering. 512 (in Russian).
2. Sljusar N. M. (2015) *Dispersion and Secondary Modulation of Radar-Tracking Signals by Dynamic Objects*. Minsk, Military Academy of the Republic of Belarus. 288 (in Russian).
3. Sljusar N. M. (2014) Frequency Spectrs of the Signals Reflected from Planes with Turbojets. *Information Radio Systems and Radio Technologies – 2020. Materials of Republican Scientifically-Practical Conference, Minsk, Oct. 28–29, 2020*. Minsk, Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 257–267 (in Russian).
4. Gejster S. R. (2000) *Adaptive Detection-Recognition with Selection of Hindrances on Spectral Portraits*. Minsk, Military Academy of the Republic of Belarus. 172 (in Russian).

5. Obaid Younossi et al. (2002) *Military Jet Engine Acquisition: Technology Basics and Cost-Estimating Methodology*. USA, Santa Monica. 167.
6. Nadtochy V. N. (2017) Research of Features of the Description of Signs of Radar-Tracking Recognition of Air Targets in Onboard Radar-Tracking Systems. *Modern Science: Actual Problems of the Theory and Practice*. (10), 20–24 (in Russian).
7. Yarmolik S. N., Zaiko E. V., Khramiankou A. S., Svinarskiy M. V. (2020) Synthesis of the Optimum Device Consecutive Signal-Trajektory Recognition with Adaptation to Spatial Orientation of Observable Object. *Bulletin of the Military Academy of the Republic of Belarus*. (3), 80–91 (in Russian).
8. Solonar A. S., Yarmolik S. N., Khramiankou A. S., Michalkovsky A. A. (2016) Features of Use of a Method of Monte-Carlo for Approximation of Statistical Distributions of Results of Nonlinear Transformations in Radar-Tracking Problems. *Vesti National Academy of Sciences of Belarus. Gray Physics and Technical Sciences*. (4), 91–98 (in Russian).
9. Lukin V. V., Kurkin D. A., Roenko A. A. (2011) Assessment Parametre of Shift for a Family of Generalised Gaussian Distributions. *Radio-Electronic and Computer Systems*. 50, (2), 37–44 (in Russian).

#### **Вклад авторов / Authors' contribution**

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

#### **Сведения об авторах**

**Зайко Е. В.**, м. н. с. научно-исследовательской части Военной академии Республики Беларусь

**Шумский П. Н.**, к. т. н., доцент, заместитель директора по научной работе Центра радиотехники Национальной академии наук Беларуси

#### **Адрес для корреспонденции**

220057, Республика Беларусь,  
г. Минск, просп. Независимости, 220  
Военная академия Республики Беларусь  
Тел.: +375 29 810-02-09  
E-mail: zaiko.eugene@mail.ru  
Зайко Евгений Викторович

#### **Information about the authors**

**Zaiko E. V.**, Junior Researcher at R&D Department of the Military Academy of the Republic of Belarus

**Shumsky P. N.**, Cand. of Sci., Associate Professor, the Deputy Director for Scientific Work of the Radio Engineering Center of the National Academy of Sciences of Belarus

#### **Address for correspondence**

220057, Republic of Belarus,  
Minsk, Nezavisimosti Ave., 220  
Military Academy of the Republic of Belarus  
Tel.: +375 29 810-02-09  
E-mail: zaiko.eugene@mail.ru  
Zaiko Eugenie Victorovich