

УДК 621.371

**Решение задачи распознавания типа объекта на основании
использования диаграммы направленности антенны в качестве
признака**

Королев В.О., Гудаев Р.А.*, Куликов С.В., Алдохина В.Н.

Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского, ВКА имени А.Ф.

Можайского, Ждановская набережная, 13, Санкт-Петербург, 197082, Россия

**e-mail: mrgudaev@mail.ru*

Аннотация

В настоящей статье представлен алгоритм распознавания типа объекта в воздушно-космическом пространстве на основании сравнения диаграмм направленности. Привлечение новых признаков к решению задачи распознавания позволит увеличить вероятность правильного распознавания и позволит наиболее полно описать распознаваемые объекты, что в свою очередь приведет к снижению вероятности ошибки принятия решения.

Ключевые слова: диаграмма направленности, распознавание, признаки, уровень значимости, гипотеза.

Введение.

В Российской Федерации для мониторинга и контроля деятельности иностранных государств в околоземном космическом пространстве

функционирует сложная пространственно-распределенная система сбора и обработки информации. Одним из показателей качества работы данной системы является вероятность правильного распознавания. Указанный показатель зависит от множества различных факторов и в ряде случаев не достигает уровня, требуемого руководящими документами.

Повышение рассматриваемого показателя [1] при неизменном количестве типов распознаваемых объектов необходимо увеличивать количество признаков, на языке которых эти объекты описаны. Это достигается за счет использования новых средств измерений, а также совершенствования научно-методического аппарата обработки измеренной информации. В свою очередь, как показал анализ алгоритмов распознавания, информация поступающая от комплексов радиотехнического контроля, практически не используется при принятии решения.

Анализ содержательной модели, рассмотренной в [2], показал, что для типовых распознаваемых объектов в воздушно-космическом пространстве характерно определенное количество режимов функционирования. Основываясь на определенной консервативности в конструировании антенных систем и особенностях работы объектов распознавания, в статье [3] предлагается использовать в качестве дополнительных признаков спектральный портрет и диаграмму направленности.

В данной статье представлен алгоритм распознавания типа объекта в воздушно-космическом пространстве на основании использования второго из

вышеуказанных признаков. Выходные данные предлагаемого алгоритма будут использоваться в многоуровневой системе распознавания, где на первом уровне производится распознавание на основании различных признаков, на втором – вычисление информативности и назначение весовых коэффициентов, и, наконец, на третьем производится принятие решения на основании совокупности признаков методом «взвешенного голосования» [1, 4].

Использование функции расстояния при распознавании на основании диаграмм направленности

В ходе анализа ДНА в различных режимах функционирования распознаваемых объектов [5, 8] было установлено, что в отличие от спектральных портретов, сечения ДНА достаточно сложно каталогизировать. Это связано, прежде всего с тем, что форма реальной ДНА имеет сложную многолепестковую структуру (рис. 1). В связи с этим целесообразно использовать имитационное моделирование ДНА с целью получения её сечения для данных условий наблюдения. Моделирование производится для определенного типа распознаваемого объекта, работающего в заданном режиме функционирования.

Решение о принадлежности объекта к определенному типу принимается на основе результатов сравнения значений сечений ДНА, полученного в ходе сеанса работ на радиотехническом комплексе и рассчитанного в ходе имитационного моделирования.

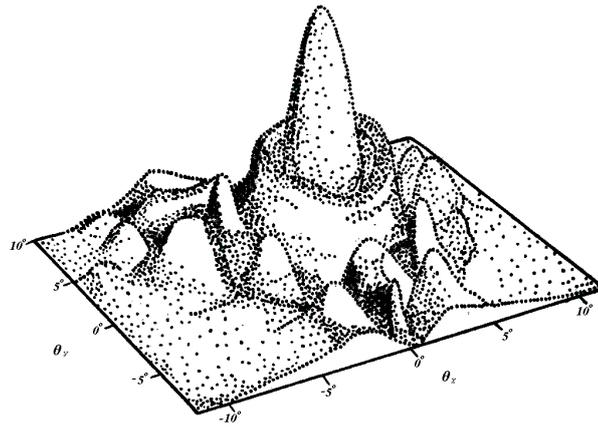


Рисунок 1 – Диаграмма направленности реальной антенны

В основу вышеописанного процесса положен принцип минимума расстояния между значениями амплитуд, симитированной и измеренной ДНА. Разница этих значений покажет насколько измеренная ДНА отличается от симитированной. При этом сечение ДНА представляется совокупностью дискрет, размер которых целесообразно задавать как можно меньшим, что позволяет в полной мере описать всю «тонкую» структуру ДНА. Зависимость разницы амплитуд симитированной и измеренной ДНА на соответствующей дискрете будем называть разностным портретом.

Рассмотрим, несколько разностных портретов, представленных на рисунке 2.

Первый $R_l^{изм}$ разностный портрет отражает степень отличия диаграммы направленности, полученной в ходе сеанса измерений от той, которая получена для идеального случая с помощью имитационного моделирования

$$R_{il}^{изм} = A_l - A_{il}^{имит.Ид.}.$$

где A_l – совокупность дискрет, с помощью которых описывается сечение ДНА, полученное в ходе сеанса измерений;

$A_{il}^{имит.Ид.}$ – совокупность дискрет, с помощью которых описывается сечение ДНА, полученное в ходе имитационного моделирования;
 $i = 1, 2, \dots, N$ – количество типов объектов;

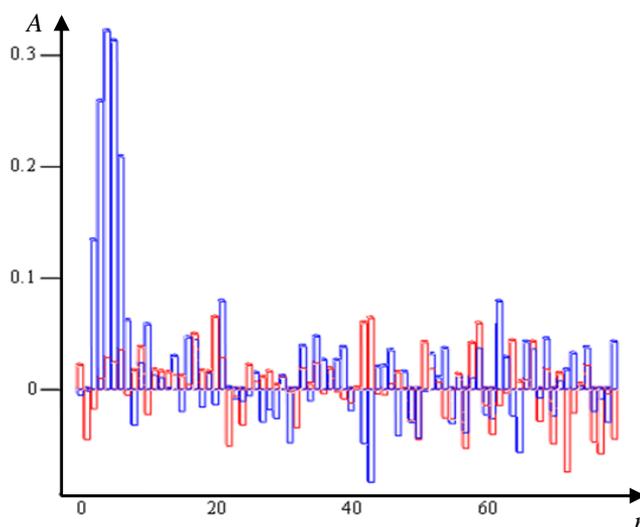


Рисунок 2 – Разностные портреты диаграмм направленности

$l = 1, 2, \dots, L$ – количество дискрет, с помощью которых описывается ДНА.

Второй $R_{il}^{изм}$ разностный портрет отражает степень отличия двух ДНА, полученных с помощью имитационного моделирования, однако, значения одной из них скорректированы за счет влияния случайных факторов, как если бы она была получена при реальном сеансе измерений $R_{il}^{кат} = A_{il}^{имит.Сл.Ф.} - A_{il}^{имит.Ид.}$. Оценку влияния случайных факторов необходимо проводить по ближайшему к распознаваемому объекту, находящемуся в зоне действия комплекса радиотехнических измерений, параметры излучения которого известны. Таким образом, указанный объект может выступать в роли «опорного».

Сравнивая разностные портреты можно предположить, что их математические ожидания равны лишь в том случае, если параметры ДНА

идентичны. Малое значение дискрет разностного портрета можно объяснить влиянием внешних факторов.

Таким образом выдвинем следующую гипотезу:

$$S_{ij} = \begin{cases} 1, & H_0 \text{ при } M(R_{il}^{изм}) \approx M(R_{il}^{кам}) \\ 0, & H_1 \text{ иначе} \end{cases}$$

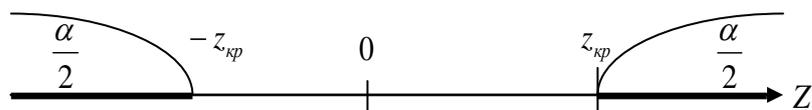
где H_0 – гипотеза о принадлежности распознаваемого объекта к i – му типу;

H_0 – гипотеза о принадлежности распознаваемого объекта к k – му типу ($k \neq i$);

Применение критерия Стьюдента для решения задачи распознавания типа наблюдаемого объекта

Для проведения распознавания типа объекта на основании диаграммы направленности антенны воспользуемся Z критерием (критерием Стьюдента), рассмотренным в работе [6]. При этом при проверке выдвинутой гипотезы на правильность будем использовать статистический метод.

Принцип проверки статистических гипотез сформулируем следующим



образом: если наблюдаемое значение критерия Z принадлежит критической области $z_{кр}$, то гипотезу отвергают, если наблюдаемое значение критерия принадлежит области принятия гипотезы – гипотезу принимают [6]. Все множество возможных значений критерия разобьем на три непересекающихся множества и сформируем двухстороннюю область, определяемую неравенством $|Z| > z_{кр}$, где $z_{кр}$ – положительное число (рис. 3). На рисунке рассматривается случай, когда критические точки симметричны относительно нуля в предположении, что $z_{кр} > 0$.

Рисунок 3 – Двухсторонняя критическая область

Таким образом, необходимо найти значение $z_{кр}$, которое разделяло бы множество значений на три, указанных выше области.

Анализ разностных портретов показал, что значения отсчетов являются величинами случайными и при увеличении числа измерений закон их распределения стремится к нормальному. По своей сути разностные портреты представляют собой генеральные выборки значений амплитуд.

В свою очередь выборочные средние являются несмещенными оценками генеральных средних, т. е. $M(R_{il}) = M(\bar{R}_{il})$. Ввиду того, что генеральные выборки R_{il} распределены нормально, то и выборочные средние \bar{R}_{il} тоже распределены нормально.

Исходя из всего вышесказанного, величина Z является нормированной случайной величиной, которая распределена нормально, так как является линейной комбинацией нормально распределенных величин \bar{R}_{il}^{u3M} и \bar{R}_{iq}^{kam} .

На основании выборочных средних разностных портретов R_{il}^{u3M} и R_{iq}^{kam} производится расчет величины Z , в соответствии со следующей формулой

$$Z = \frac{\bar{R}_{il}^{u3M} - \bar{R}_{iq}^{kam}}{\sigma(\bar{R}_{il}^{u3M} - \bar{R}_{iq}^{kam})} = \frac{\bar{R}_{il}^{u3M} - \bar{R}_{iq}^{kam}}{\sqrt{D(R_{il}^{u3M})/L_{выб} + D(R_{iq}^{kam})/Q_{выб}}} \quad (2)$$

где $L_{выб}$ – количество дискрет разностного портрета, полученного при сравнении с измеренным сечением ДН;

$Q_{выб}$ – количество дискрет разностного портрета, полученного при сравнении со смоделированным сечением ДН.

По определению среднего квадратического отклонения –

$$\sigma(\bar{R}_{il}^{u3M} - \bar{R}_{iq}^{kam}) = \sqrt{D(\bar{R}_{il}^{u3M} - \bar{R}_{iq}^{kam})}.$$

На основании свойства дисперсии разности двух независимых случайных величин получим $D(\bar{R}_{il}^{u3M} - \bar{R}_{iq}^{kam}) = D(\bar{R}_{il}^{u3M}) + D(\bar{R}_{iq}^{kam})$.

В связи с тем, что дисперсия среднего арифметического l одинаково распределенных взаимно независимых случайных величин в L раз меньше дисперсии D каждой из величин, то: $D(\bar{R}_{il}^{u3M}) = D(R_{il}^{u3M})/L_{выб}$, $D(\bar{R}_{iq}^{kam}) = D(R_{iq}^{kam})/Q_{выб}$.

Следовательно,

$$\sigma(\bar{R}_{il}^{u3M} - \bar{R}_{iq}^{kam}) = \sqrt{D(R_{il}^{u3M})/L_{выб} + D(R_{iq}^{kam})/Q_{выб}}.$$

Так как $l = q$, а $L_{выб} = Q_{выб} = L$ (объем выборок одинаков), то формула примет следующий вид

$$Z = \frac{\bar{R}_{il}^{изм} - \bar{R}_{il}^{кат}}{\sigma(\bar{R}_{il}^{изм} - \bar{R}_{il}^{кат})} = \frac{(\bar{R}_{il}^{изм} - \bar{R}_{il}^{кат})\sqrt{L}}{\sqrt{D(R_{il}^{изм}) + D(R_{il}^{кат})}}. \quad (3)$$

Следующим шагом является определение величины критериального значения $z_{кр}$, т. е. границы правосторонней критической области исходя из заданного уровня значимости α . Для этого необходимо найти значение аргумента функции Лапласа, которому соответствуют значение функции, равное $(1 - \alpha)/2$. Тогда в соответствии с вышеизложенным, область принятия нулевой гипотезы определяется неравенством $|Z_{набл}| < z_{кр}$.

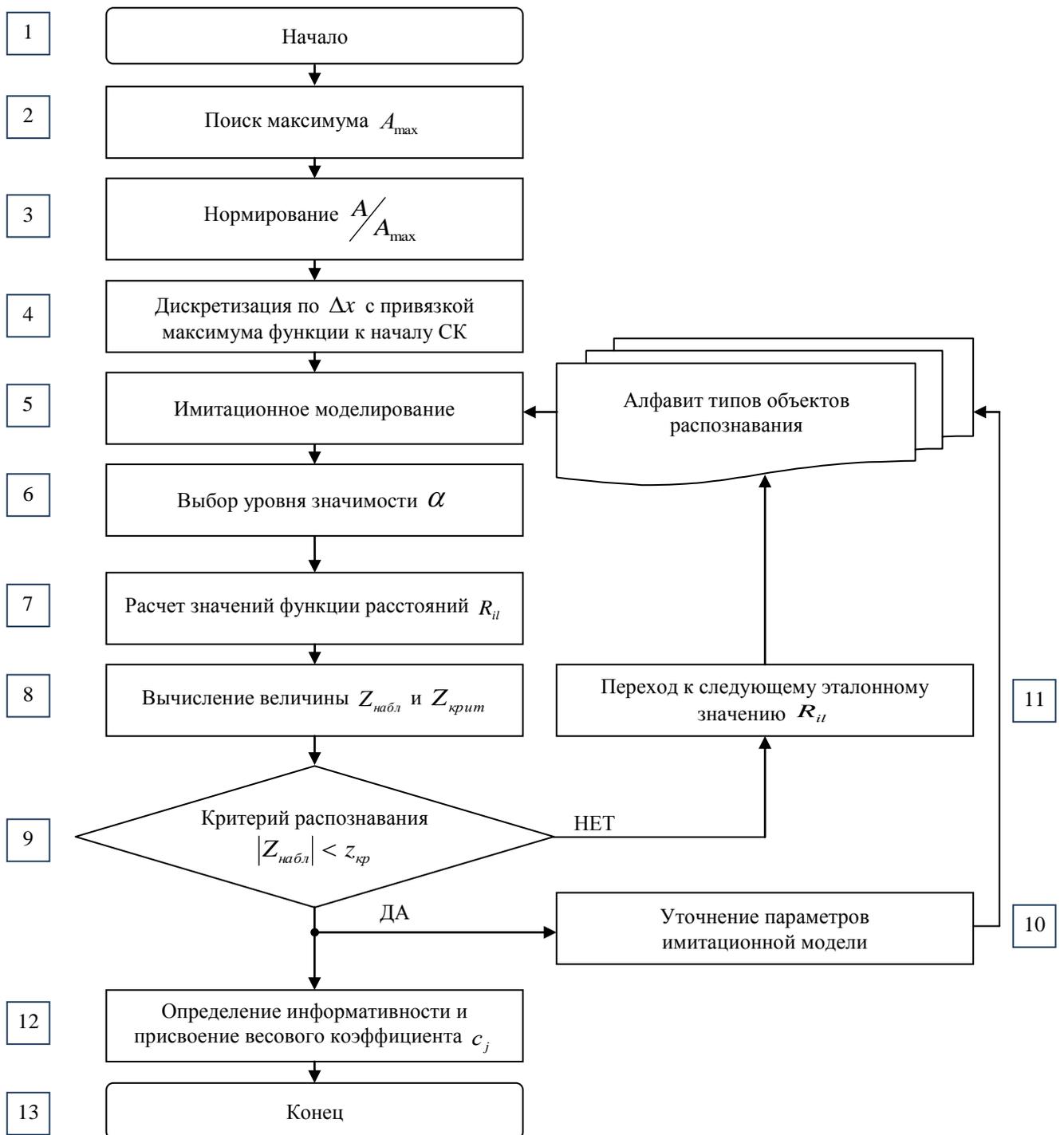


Рисунок 4 – Алгоритм распознавания типа объекта на основании диаграмм направленности

Исходные данные:

- измеренное сечение диаграммы направленности: $\hat{A}(x)$;
- количество типов объектов N ;
- количество дискрет L ;
- каталогизированные ДН $A_{il}^{kam}(x)$, полученные в ходе сеансов измерений $i = 1, \dots, N$, $l = 1, \dots, L$;
- критериальное значение: $Z_{крит}$;
- дискретность проведения измерений: Δx .

Блок 1. На вход алгоритма подается сечение диаграммы направленности антенной системы $\hat{A}(x)$, который был получен на комплексе радиотехнического с применением метода «облета» контроля или с помощью имитационного моделирования.

Блок 2. В массиве значений амплитуд, которыми характеризуется сечение диаграммы направленности, производится поиск максимального значения (пика)

$$A_{\max} = \max_x \hat{A}(x).$$

Блок 3. Производится нормирование относительно найденного максимального значения

$$\hat{A}(x) / A_{\max}.$$

Блок 4. После нормирования производится дискретизация по Δx $\left(L = \left[\frac{X}{\Delta x} \right] \right)$ с привязкой максимума относительно начала системы координат, с целью устранения неоднозначности при вычислении разностных портретов:

$$A_l = \hat{A}(l\Delta x - x_0) / A_{\max}, \quad l = 1, \dots, L.$$

Присвоим i значение «1»

$$i := 1.$$

Блок 5. Производится имитационное моделирование с применением моделей описанных во второй главе с целью получения исходных данных для проведения моделирования – $A_{il}^{имит.Ид.}$ и $A_l^{имит.Сл.Ф.}$.

Блок 6. Исходя из требований [6] оператором выбирается уровень значимости α .

Блок 7. Далее производится вычисление двух разностных портретов для i -го типа объекта в соответствии со следующей формулой:

$$R_{il}^{изм} = A_l - A_{il}^{имит.Ид.}, \quad i = 1, \dots, N, \quad l = 1, \dots, L.$$

$$R_{il}^{мод} = A_l^{имит.Сл.Ф.} - A_{il}^{имит.Ид.}, \quad i = 1, \dots, N, \quad l = 1, \dots, L.$$

Блок 8. Рассчитывается значение $Z_{набл}$ по формуле:

$$Z = \frac{(\bar{R}_{il}^{изм} - \bar{R}_{il}^{кат})\sqrt{L}}{\sqrt{D(R_{il}^{изм}) + D(R_{il}^{кат})}}$$

Затем по таблицам функций Лапласа, исходя из выбранного уровня значимости α определяется $z_{iкр}$.

Блок 9. Критерий принятия решения относительно истинности той или иной гипотезы распознавания объекта примет следующий вид:

$$S_i = \begin{cases} 1, & H_0 \text{ при } |Z_{\text{набл}}| < z_{i_{кр}} \quad M(R_{il}^{uzm}) \approx M(R_{il}^{kzm}), \quad i = 1, \dots, N, l = 1, \dots, L. \\ 0, & H_1 \text{ иначе} \end{cases}$$

Блок 10. В случае необходимости параметры моделей могут быть уточнены. Качество выполненных мероприятий можно оценить за счет проверки гипотезы о равенстве математических ожиданий разностных портретов.

Блок 11. После того как параметры диаграмм направленности удовлетворяют требованиям, они могут быть записаны в каталог, откуда они могут быть в дальнейшем изъяты для проведения очередного моделирования.

Блок 12. На основании статистической вероятности правильного распознавания, которая может быть получена в ходе работы алгоритма по априорно известным типам объектов, производится определение информативности признаков и назначение весовых коэффициентов. Методика расчета информативности и назначения весовых коэффициентов будет рассмотрена в настоящей главе.

Выходные данные:

- решение о распознавании на основании диаграммы направленности;
- статистическая вероятность правильного распознавания, которая необходима для последующего определения информативности и назначения весовых коэффициентов.

Результаты применения алгоритма распознавания типа объекта на основании диаграммы направленности

Предлагаемый алгоритм был использован при распознавании типа различных объектов [7], при этом были достигнуты следующие результаты, приведенные в таблице №1.

Таблица №1

Результаты решения задачи распознавания с использованием
функции Лапласа при различных уровнях значимости

$\varphi_1 - \varphi_2$	Количество правильных гипотез для различных уровней значимости α (500 опытов), %.				
	0.01	0.05	0.075	0.1	0.15
0,75 - 0,75	99	94,2	91,4	88	81,6
0,75 - 0,9	5	20,4	28,2	36,6	46,4
0,75 - 1,0	13,6	52,8	64,8	72,4	82,6
0,75 - 1,25	50,8	93,8	97,6	99	100
0,75 - 1,5	91,2	100	100	100	100
0,75 - 2,0	100	100	100	100	100

Анализируя данные можно заключить, что решение задачи распознавания типа объекта, используя в качестве признака диаграмму направленности возможно. Границы применимости рассмотренного алгоритма определяются, исходя из требований к показателям качества системы распознавания.

Заключение

Рассмотренный алгоритм позволяет проводить распознавание типа объекта на основании сравнения диаграмм направленности с возможностью вариации пороговых значений за счет изменения значения уровня значимости. Решение о распознавании, получаемое с помощью данного алгоритма, является одним из элементов исходных данных для реализации многоканальной системы распознавания с дискретным накоплением.

Библиографический список

1. Горелик А.Л., Барабаш Ю.Л., Кривошеев О.В., Эпштейн С.С. Селекция и распознавание на основе локационной информации. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
2. Гудаев Р.А., Шалдаев С.Е., Рогов Д.А. Содержательная модель космического аппарата дистанционного зондирования Земли как объекта радиотехнического контроля // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2015. № 649. С. 159-167.
3. Гудаев Р.А., Катюха С.В., Логунов С.В., Рогов Д.А. Применение информации, получаемой от средств радиотехнического контроля, для решения задач распознавания космических аппаратов // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2015. № 647. С. 137-142.
4. Васин В.В., Степанов Б.М. Справочник-задачник по радиолокации. – М.: Советское радио, 1977. – 320 с.
5. Чеботарев А.С., Жуков А.О., Махненко Ю.Ю., Турлов З.Н. Мониторинг космических аппаратов на основе применения корреляционно-фазовых пеленгаторов. - М.: ФИЗМАЛИТ, 2011. - 120 с.
6. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. - М.: Высшая школа, 2003. – 479 с.
7. Куликов С.В., Гудаев Р.А., Балдычев М.Т., Гайчук Ю.Н. Решение задачи распознавания излучающих объектов на основе подхода к отождествлению их диаграмм направленности // Научные технологии. 2015. № 12. С. 26-30.

8. Майоров Д.А., Перехожев В.А., Шемяков А.О. Разработка алгоритма получения и обработки спектральных признаков воздушного объекта в интересах идентификации и селекции движущихся целей // Труды МАИ. 2013. № 71. URL: <http://www.mai.ru/science/trudy/published.php?ID=47077>