

Для цитирования: Адалаева П.Ш., Айгумов Т.Г., Магомедова С.В., Челушкина Т.А. Идентификация воздушных радиолокационных целей при помощи эффекта доплера от нагретого реактивного двигателя. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2018; 45(2): 31-41. DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-31-41

For citation: Adalaeva P.Sh., Aigumov T.G., Magomedova S.V., Chelushkina T.A. Identification of air radar targets using the doppler effect from a heated jet engine. Herald of Daghestan State Technical University. Technical Sciences. 2018; 45 (2): 31-41. (In Russ.) DOI:10.21822/2073-6185-2018-45-2-31-41

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

УДК 621.362

DOI: 10.21822/2073-6185-2018-45-2-31-41

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ЦЕЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ЭФФЕКТА ДОПЛера ОТ НАГРЕТОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Адалаева П.Ш.³, Айгумов Т.Г.², Магомедова С.В.⁴, Челушкина Т.А.¹

¹⁻⁴Дагестанский государственный технический университет,

¹⁻⁴367026, г. Махачкала, пр. Имама Шамиля, 70, Россия,

¹e-mail:tatyana.chelushkina@yandex.ru, ²e-mail: 915533@mail.ru,

³e-mail:holodnaya2011@mail.ru, ⁴e-mail: romanenko_c_v@mail.ru

Резюме. Цель. Целью исследования является разработка методики диагностирования летательных аппаратов по отраженному электромагнитному радиолокационному лучу от нагретого реактивного двигателя. **Методы.** Атомы кристаллической решетки металлических деталей на работающем реактивном двигателе за счет нагрева будут находиться в состоянии хаотического броуновского движения. Электромагнитный луч, попадая на эти атомы, будет менять свою частоту в соответствии с эффектом Доплера, тем самым спектральная составляющая электромагнитного излучения будет расширяться прямо пропорционально величине температуры двигателя. При определении ширины спектральной линии пеленгующего радиоизлучения можно точно идентифицировать температуру летательного аппарата для исключения ложных целей. **Результат.** При пеленгации летательных аппаратов с работающим реактивным двигателем возможно не только определение координат цели, но и идентификация нагретого двигателя. Засчет применения высокоточных методов идентификации нагретых участков, возможна не только классификация пеленгуемых целей, но и определение ориентации в пространстве, как самого летательного аппарата, так и его управляющих плоскостей и направление вектора управляемой тяги реактивного двигателя. **Вывод.** Применение инновационной методики пеленгации воздушных целей позволит с высокой точностью идентифицировать радиолокационные цели на фоне активных и пассивных помех. Кроме того, при анализе информации о величине и направлении тяги реактивного двигателя и положения органов управления летательного аппарата возможно определение не только координат пеленгуемого объекта, но и с упреждением идентифицировать выполняемые маневры.

Ключевые слова: эффект Доплера, реактивный двигатель, пеленгация, спектр, электромагнитное излучение

TECHNICAL SCIENCE
POWER, METALLURGICAL AND CHEMICAL MECHANICAL ENGINEERING

IDENTIFICATION OF AIR RADAR TARGETS USING THE DOPPLER EFFECT FROM A
HEATED JET ENGINE

*Patimat Sh. Adalaeva*³, *Timur G. Aigumov*², *Sabina V. Magomedova*⁴, *Tatyana A. Chelushkina*¹

¹⁻⁴Daghestan State Technical University,

¹⁻⁴70 I. Shamilya Ave., Makhachkala 367026, Russia,

¹e-mail: tatyana.chelushkina@yandex.ru, ²e-mail: 915533@mail.ru,

³e-mail: holodnaya2011@mail.ru, ⁴e-mail: romanenko_c_v@mail.ru

Abstract Objectives The aim of the study is to develop a methodology for identifying aircraft by the deflections of an electromagnetic radar beam by a heated jet engine. **Methods** Atoms of the crystal lattice of the metallic parts of the operating jet engine will be in a state of chaotic Brownian motion due to heating. The electromagnetic beam, falling on these atoms, will change its frequency in accordance with the Doppler effect, by means of which the spectral electromagnetic radiation component will expand in direct proportion to the magnitude of the engine temperature. When determining the width of the spectral line of the direction-finding radio emission, it is possible to accurately identify the temperature of the aircraft in order to avoid false targets. **Results** When locating aircraft having a working jet engine, it is possible not only to determine the coordinates of the target, but also to identify the heated engine. Due to the use of high-precision methods for identifying heated sections, the direction-finding targets may be classified, the spatial orientation of both the aircraft itself and its control planes to be determined and the direction of the thrust vector control of the jet engine calculated. **Conclusion** The application of an innovative technique for direction-finding air targets will allow the radar targets to be identified with high accuracy against the background of active and passive interferences. In addition, when analysing the information on the magnitude and direction of the jet engine thrust and the position of the aircraft controls, it is possible to determine not only the coordinates of the direction-finding object, but also to proactively identify the manoeuvres to be performed.

Keywords: Doppler effect, jet engine, direction-finding, spectrum, electromagnetic radiation

Введение. Современное состояние развития военно-воздушных сил в наиболее передовых и развитых в техническом отношении странах привело к основной дилемме противостояния летательных аппаратов, наземных и воздушных космических средств противовоздушной обороны [8-26]. На сегодняшний день лучшей системой противовоздушной обороны является С-500 «Прометей».

Для противодействия этим системам разработаны различные меры систем противовоздушной обороны [1-7]. Одним из факторов для идентификации воздушной цели является определение их на фоне неподвижных предметов по эффекту Доплера.

Летательный аппарат на фоне горы или земли невидим в обычном радиоизлучении, так как его отражение теряется на фоне отражения от других наземных или воздушных объектов. Чтобы определить именно перемещающийся летательный аппарат требуется идентифицировать его по скорости движения. Эффект Доплера подразумевает, что при отражении сигнала от неподвижной цели радиоволна не меняет своей фазы и частоты, а при отражении от подвижной цели, в зависимости от направления движения, меняется частота сигнала.

Для противодействия мерам обнаружения используются различные манёвры, в том числе для того, чтобы «сбить с толку» ракету, идущую по тепловому излучению двигателей, которые в этот момент работают на форсированном режиме. Так, например, фигуры высшего пилотажа типа «колокол» и «кобра» позволяют кратковременно летательному аппарату зависнуть в пространстве, и относительно неподвижной земли его скорость становится нулевой (рис. 2).

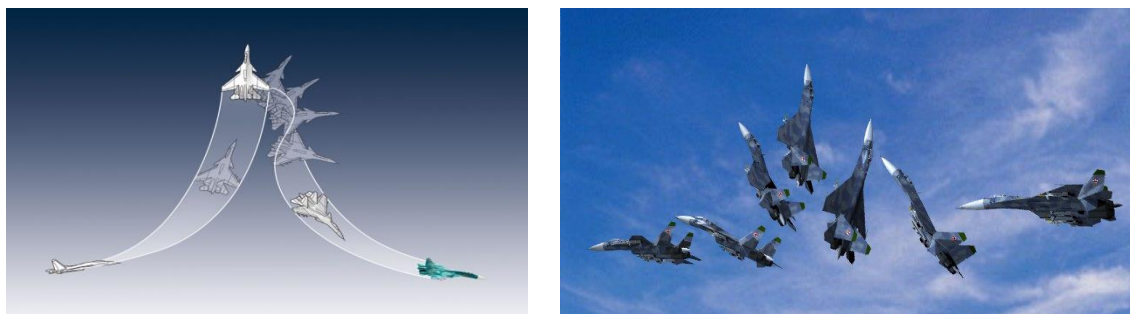


Рис. 1. Фигура высшего пилотажа типа «колокол» и «кобра»
Fig. 1. The figure of aerobatics such as «bell» and «cobra»

В этом случае ракета может не попасть в цель, так как она перестаёт видеть неподвижный объект. Хотя самолёт неподвижен и отражённый луч от него не меняет своей частоты, не позволяя его идентифицировать, тем не менее, работающий двигатель испускает тепловое излучение, и тепловой датчик в инфракрасном диапазоне прекрасно видит летательный аппарат и может продолжить наведение ракеты.

В этом случае, чтобы сбить такой датчик с толку используются тепловые ловушки. При этом отстреливаются специальные термические патроны, температура горения которых составляет 3000°C, и они отвлекают на себя ракету от основной цели.



Рис. 2. Истребитель пятого поколения F-22 Raptor и вертолет КА-52 выпускают тепловые ложные цели для защиты от ракет с инфракрасным датчиком наведения
Fig. 2. Fifth-generation F-22 Raptor fighter and KA-52 helicopter produce thermal false targets for protection against missiles with an infrared sighting sensor

Применение этих ловушек прогрессировало. Большое их количество и разнообразие используют современные летательные аппараты, например, истребители пятого поколения и вертолёты (рис. 3). Противостоять таким тепловым ловушкам современные системы воздушной обороны пока не могут.

Постановка задачи. Для успешного решения данной проблемы необходимо преодоление различных средств противовоздушной обороны. Одним из основных направлений является создание эффекта невидимости.

Эффект невидимости получается различными способами: изменение геометрии летательного аппарата, защита его радиопоглощающими покрытиями на поверхности летательного аппарата, формирование различных систем помех.

Для точной идентификации радиолокационной цели на фоне активных и пассивных помех в радиодиапазоне и исключения влияния тепловых ловушек при пеленгации и наведении на летательный аппарат необходимо использовать двойной эффект Доплера: первый эффект Доплера определяет скорость пеленгуемой цели по изменению фазы и частоты отраженного радиосигнала от летательного аппарата; второй эффект Доплера определяет рассеяние частоты при отражении от нагретых атомов двигателя летательного аппарата.

Методы исследования. Обычный параболический локатор или цифровая активная антенная решетка посылают параллельный поток электромагнитного излучения в пространство и принимают отраженные радиосигналы от различных объектов. По времени прохождения сигналов к цели и обратно с учетом скорости электромагнитного излучения можно определить расстояние до цели, а по азимутальному углу и углу места, можно определить направление на цель. Для такого типа пеленгации требуются локаторы с узкой игольчатой диаграммой направленности с возможностью сканирования заданного участка пространства.

Большинство электромагнитных радиоволн отражается от неподвижных объектов: земля, горы, водная поверхность и т.д. В этом случае частота радиосигнала остается неизменной. Но, если объект движется, то радиосигнал будет изменять частоту и фазу отраженного радиосигнала в зависимости от скорости и направления движения.

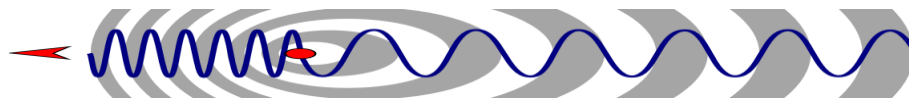


Рис. 4. Схема излучения радиоволны от подвижного объекта
Fig. 4. The scheme of radiation of a radio wave from a mobile object

На рис.4 приведена схема излучения радиоволны от подвижного объекта. В направлении движения частота максимально увеличена, за счёт того, что объект в этом направлении перемещается на определённое расстояние. В противоположном направлении частота максимально растянута.

По всем остальным направлениям частота занимает промежуточные значения, от максимального при движении вперёд, до минимального при движении назад радиоволны от отражённого объекта. Это справедливо в том случае если цель движется, а сам излучающий локатор не подвижен. Однако локатор может быть установлен также на подвижной цели, например, автомобиле, судне, воздушном объекте, на космическом спутнике. В этом случае необходимо определить только относительную скорость. Тем не менее, эта информация также позволяет идентифицировать радиолокатором цель.

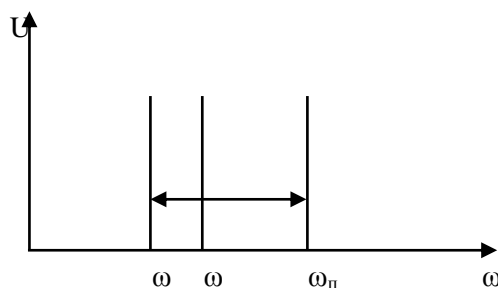


Рис. 5. График изменения основной частоты при движении объектов вперёд в сторону локатора или от локатора
Fig. 5. The graph of the change in the fundamental frequency when moving objects forward in the direction of the locator or from the locator

На рис. 5 приведён график изменения основной частоты ω_0 при движении объектов вперёд в сторону локатора с частотой приближения ω_n или от локатора с частотой удаления ω_y .

На рис. 5 видно, что скорость удаления в конкретном случае будет составлять меньшее значение по амплитуде, чем скорость приближения. Но они могут быть равны либо значительно отличаться друг от друга как в одну, так и в другую сторону. Этот эффект хорошо используется современными локационными станциями.

На рис. 6 приведен график отражения радиоволны от нагретого двигателя летательного аппарата.

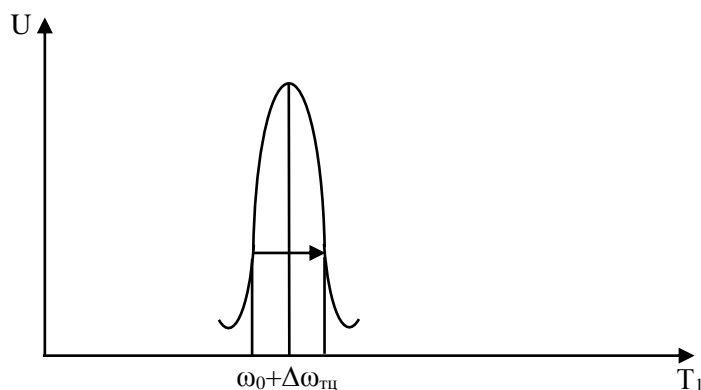


Рис. 6. График отражения радиоволны от нагретого двигателя летательного аппарата
Fig. 6. A Graph of the reflection of a Radio wave from a Heated Aircraft Engine

Здесь видно, что основная частота ω_0 испытывает воздействие от нагретого материала, за счёт того, что броуновское движение перемещает атомы и молекулы то в сторону лоатора, то в противоположную сторону от лоатора. Частота ω_0 получит приращение $\Delta\omega_{ТН}$ температурное от цели в сторону увеличения и уменьшения от среднего значения. Чем выше температура, тем больше будет рассеяние.

На рис.7 приведен график отражения от тепловой ловушки, имеющий гораздо большую температуру и придающий гораздо большее рассеяние лучу от радиолокатора с приращением $\Delta\omega_{ТЛ}$ к основной частоте ω_0 .

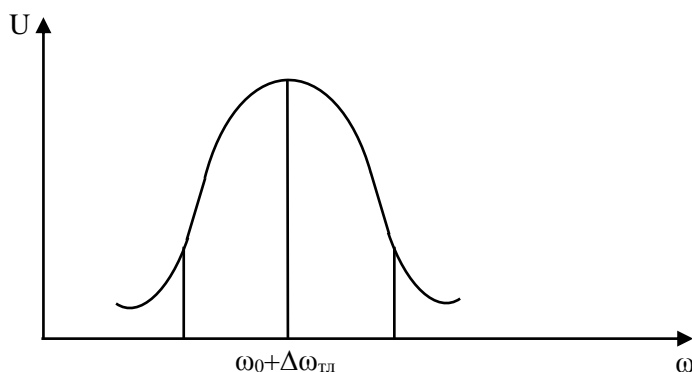


Рис. 7. График отражения от тепловой ловушки, имеющий гораздо большую температуру и придающий гораздо большее рассеяние лучу от радиолокатора
Fig. 7. The reflection from the heat trap, which has a much higher temperature and gives much more scattering to the beam from the radar

Данный эффект Доплера можно записать в следующем виде:

$$\omega = \omega_0 \frac{\left(1 + \frac{V_{л}}{c}\right)}{\left(1 - \frac{V_{ц} \pm \sqrt{\frac{3kT}{\mu}}}{c}\right)} \quad (1)$$

где ω – частота;

ω_0 – исходная частота лоатора;

$V_{л}$ – скорость движения лоатора относительно цели;

c – скорость света;

$V_{ц}$ – скорость движения цели относительно лоатора;

k – постоянная Больцмана;

T – температура поверхности цели;

μ – молярный вес атомов на нагретой поверхности цели.

Частота, отражённая от нагретого объекта будет зависеть от основной частоты ω_0 и скорости движения самого локатора, в том случае если он находится на подвижном объекте летательном аппарате судне или в автомобиле, а также от скорости от цели и приращение от того, что эта цель имеет определённую температуру нагрева.

Таким образом, частота будет варьироваться в определённом диапазоне, который зависит, во-первых, от скорости летательного аппарата относительно измеряемого локатора, то есть приближается и удаляется и, во-вторых, от ширины радиолуча, отражённого от этого объекта и определяющего температуру этого объекта.

Таким образом, математическое ожидание принятой частоты соответствует скорости перемещения относительно объекта, а дисперсия этого сигнала означает температуру этого объекта. Данные вычисления позволяют определить бортовому локатору, какая перед ним цель, с какой скоростью она движется, где находятся тепловые ловушки, где двигатель объекта и как сориентирован в пространстве сам объект. В этом случае можно будет определять все возможные эволюции в пространстве летательных объектов, и идентифицировать ориентацию в пространстве этого объекта, ориентацию его органов управления, как например реактивный двигатель с управляемым вектором тяги.

Обсуждение результатов. Для повышения точности диагностики летательных аппаратов необходимо изменить алгоритм работы управления излучателями цифровой антенны фазированной активной решётки (ЦАФАР). Это можно сделать таким образом, что вместо параллельного потока электромагнитного излучения можно сфокусировать его и сделать сходящимся, то есть заменить параболическую диаграмму направленности на – эллиптическую.

При параболической форме антенны излучатель находится в фокусе параболоида и радиоволны, выходящие из него, отражаясь от поверхности металлического параболоида, приобретают параллельные траектории. Направление полёта радиоволн зависит от направления самого параболического зеркала. В эллиптической антенне металлическая поверхность имеет форму эллипса, фрагмента эллиптической поверхности так же, как и фрагмента параболической поверхности у обычных антенн.

В этом случае лучи будут идти не параллельно, а сходитьсь из одного фокуса в другой. В одном фокусе будет находиться излучатель электромагнитных волн, а в другом будет находиться пеленгуемый объект. Недостатком такой антенны является то что, расстояние между фокусами является фиксированной величиной для заданной формы эллипса. Но с появлением ЦАФАР появилась возможность изменять точку схождения, то есть менять дистанцию между фокусами эллиптической антенны. В этом случае при изменении настройки приёмопередающих модулей ЦАФАР можно таким образом формировать поток электромагнитного излучения, что он будет сходитьсь в выбранной точке пространства.

Такой подход является ценным в отличие от обычных локаторов тем, что он позволяет проигнорировать все активные пассивные помехи, которые расположены между целью и локатором. Если раньше любая помеха, находящаяся между ними, создавала препятствие для приёма полезного сигнала, отражённого от цели, то в этом случае, только сигнал, отражённый от цели будет суммироваться и находиться в резонансе с входными контурами антенны, а все объекты, которые находятся между этими фокусами, не будут оказывать существенного влияния.

В акустике подобный эффект наблюдается в галереях, в овальных кабинетах и т. д.

Аналогичную систему, когда даже слабый сигнал будет восприниматься как мощное излучение, передаваемое из одного фокуса в другой, можно достичь и в радиолокации. Аналогом эллиптической сферы может служить освещение прожекторами самолёта противника в ночное время. Параллельный пучок зенитного прожектора позволяет нам осветить самолёт на ночном небе, но, если параллельный пучок заменить на сходящийся, то эти лучи сфокусируются таким образом, что мы увидим ослепительный пучок света на отдельно выбранном фрагменте самолёта крыле, корпусе, в хвостовом оперении и так далее. Аналогично можно сфокусировать и

электромагнитные волны, и тогда они будут отражаться не от всей поверхности летательного аппарата, а только от его отдельных фрагментов. При этом этот фрагмент будет облучаться с гораздо большей мощностью по сравнению с обычными параболическими локаторами.

При таком подходе можно сфокусировано облучать нос, корпус, хвостовое оперение, либо двигатели летательного аппарата и, тем самым, диагностировать точное место расположения и ориентацию в пространстве летательного аппарата.

Также можно не только сам летательный аппарат оценить размещённый в пространстве, но и положение его органов управления, хвостового оперения, закрылков, предкрылков или управляемых векторов тяги двигателей. Это позволит определить эволюцию летательного аппарата и экстраполировать его манёвры, что даст несомненное преимущество при проведении боевых действий. Кроме того, эллиптическая диаграмма направленности позволит так сфокусировать дистанцию до объекта, что это будет дополнительной информацией помимо определения дистанции по времени прохождения радиолуча туда и обратно от цели.

При таком подходе, произвольно выбираемая дистанция также даёт дополнительную точность при оценке расстояния до летального аппарата. Кроме того, фокусирование радиоизлучения на двигателях позволит точно оценить их температуру и провести идентификацию, что это именно летательный аппарат температурой двигателя 700-800°С, а не тепловая ловушка с температурой до 3000°С.

Применение такой параболической диаграммы направленности, за счёт изменения режимов работы ЦАФАР, позволит провести точную диагностику не только места положения летательного аппарата, но и его ориентацию в пространстве конкретным местоположением его органов управления. Кроме того, данная методика позволит нам провести целенаправленный поиск заданной точки пространства не одного летательного аппарата, а одновременно нескольких. Это является необходимым в условиях маневренных боевых действий с применением большого количества летательных аппаратов.

Ещё одним преимуществом такой диаграммы направленности является то, что сам летательный аппарат не будет знать о том, что его облучают при такой диаграмме направленности, так как можно направить точку облучения на двигатели, где нет приёмных устройств и можно точно диагностировать перемещение летательного аппарата. Излучение от наземных объектов будет слишком малой величины и не позволит пилоту идентифицировать, что он уже захвачен как цель и не даст ему возможности совершить противоракетный манёвр.

Данный режим может быть реализован на обычной ЦАФАР без переделки аппаратной части только за счёт изменения соответствующего программного обеспечения, которое управляет фазовращателями. В случае экспортного варианта локатора или уничтожения летательного аппарата с бортовым локационным оборудованием соответствующего назначения, программное обеспечение может быть легко уничтожено, либо заменено на другое «фальшивое» для того, чтобы не дать противнику возможности повторить подобную систему на своих летательных аппаратах.

Эллиптическая диаграмма направленности в составе ЦАФАР может быть реализована и в распределённом варианте, когда одновременно обрабатывается информация от нескольких летательных аппаратов наземных, надводных, подводных и космических аппаратов. Единая система радиолокации позволит не только повысить точность идентификации, но и затруднит самому пеленгуемому объекту определить, откуда, и кто его облучает. Так как у разных углов облучения будет слишком много и, кто именно его в этот момент запеленговал, летательному аппарату будет не известно. В этом случае возрастёт точность и дальность пеленгации за счёт интегральной обработки поступающей информации.

Дальнейшее развитие этой методики позволяет подключить оптические лазеры, которые также отражаясь от нагретых участков самолёта, будут модулироваться эффектом Доплера и позволят ещё с большей точностью оценить температуру нагретых поверхностей в условиях прямой видимости летательных аппаратов для более высокой точности поражения перспективных целей.

Принципы нахождения объектов в воздухе и под водой одинаковые. Подводная лодка,

находящаяся на глубине, или торпеда, имеют температуру, немного отличающуюся от окружающего океана. В результате, подобная методика может быть использована не только для летательных аппаратов, но и для подводных лодок и торпед, тем самым позволяя идентифицировать именно необходимую цель для принятия последующих решений.

Вывод. Подобная методика позволяет эффективно отстраниться от активных и пассивных помех, которые предпринимает противник для несанкционированного доступа в зону, охраняемую военно-воздушной обороной, для нанесения ракетно-бомбовых ударов.

Данные системы могут быть установлены на спутниках, морских судах, наземных неподвижных стационарных и подвижных стационарных объектах. Информация может в них компилироваться и обрабатываться. Наиболее целесообразным является использование данного метода в ЦАФАР, которые позволяют с высокой точностью идентифицировать как саму цель, так направление движения, а также остальные параметры, необходимые для сопровождения целей.

Библиографический список:

1. Патент RU №2358284. МПК: G01S 13/08. Устройство устранения неоднозначных измерений дальности до целей, находящихся за пределами рабочей зоны радиолокационной станции/ Беляков Е.С., Кострова Т.Г., Антуфьев Р.В., Костров В.В.// Оpubл. 10.06.2009. Бюл. №16.
2. Патент RU №2149421. МПК: G01S 13/04. Способ радиолокационного обнаружения и сопровождения объектов и РЛС для его реализации / Беляев Б.Г., Голубев Г.Н., Жибинов В.А., Щекотов Ю.П.// Оpubл. 20.05.2000. Бюл. №14.
3. Патент RU №2389039. МПК: G01S 13/58. Способ измерения радиальной скорости воздушной цели в режиме перестройки частоты от импульса к импульсу по случайному закону при пониженном отношении сигнал-шум / Митрофанов Д.Г., Силаев Н.В., Майоров Д.А., Тулузаков В.Г., Немцов А.В.// Оpubл. 20.05.2010. Бюл. №13.
4. Патент RU №2341813. МПК: G01S 13/04. Подвижная наземная двухкоординатная РЛС кругового обзора метрового диапазона/ Башев В.В., Грачев О.Д., Зачепиский А.А., Зяблов Н.Е., Кокурошников С.М., Малков М.А.// Оpubл. 20.12.2008. Бюл. №35.
5. Патент RU №2302077. МПК: H04B 1/04. Способ обработки сигнала / Анташев А.Б., Анташев В.Б., Анташев Д.А., Анташев П.В.// Оpubл. 27.06.2007. Бюл. №18.
6. Патент RU №2326401. МПК: G01S 13/34, H04D 7/00. Способ обнаружения сигнала / Анташев А.Б., Анташев В.Б., Анташев Д.А., Анташев П.В., Дементьев Р.С.// Оpubл. 10.06.2008. Бюл. №16.
7. Под ред. Соколов М. Вопросы перспективной радиолокации. - М.: Радиотехника. 2003. – 512 с.
8. Перунов Ю.М., Куприянов А.И. Радиоэлектронная борьба: радиотехническая разведка. - М.: Вузовская книга. 2016. – 190 с.
9. Радзиевский В.Г., Трифонов П.А. Обработка сверхширокополосных сигналов и помех. - М.: Радиотехника. 2009. – 288 с.
10. Панычев С.Н., Питолин В.М., Самоцвет Н.А. Универсальный показатель для оценки эффективности маскирующих и имитационных помех//Радиотехника. - 2016. - №6. - С. 26-30.
11. Литвинов Н.Н., Лаврентьев А.М. Анализ. Возможности маскировки зондирующих сигналов радиолокационных станций группировки противовоздушной обороны//Вестник Воздушно-космической обороны. - М.: ПАО «НПО «Алмаз». - 2017. - № 1 (13). - С. 38-43.
12. Головков А.А., Минаков В.Г. Синтез согласующе-фильтрующих устройств амплитудно-фазовых манипуляторов при включении управляемого элемента последовательно источнику сигнала//Телекоммуникации. - 2005. - № 3. - С. 33-37.
13. Головков А.А., Головков В.А. Параметрический синтез амплитудно-фазовых модуляторов с различными вариантами включения нелинейного элемента относительно резистивного четырехполосника//Радиотехника и электроника. - 2013. - № 8. - С. 609-618.
14. Головков А.А., Семенов А.А. Математическое и схемотехническое моделирование амплитудно-фазовых модуляторов с использованием резистивного согласующего устройства при последовательном соединении трехполосного нелинейного элемента и цепи обратной связи//Нелинейный мир. - 2013. - № 6. - Т. 11. - С. 417-422.
15. Под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования - М.: Радиотехника. 2010. – 688 с.

16. Подкорытов А.Н. Высокоточное определение координат потребителя в глобальных навигационных спутниковых системах с использованием уточненной эфемеридно-временной информации//Вестник Московского авиационного института. - М.: МАИ. 2011. - № 3. - Т. 18. - С. 233-239.

17. Подкорытов А.Н. Высокоточное местоопределение в абсолютном режиме в ГНСС с использованием разрешения целочисленной неоднозначности псевдофазовых измерений//Электронный журнал «Труды МАИ». - № 59.

18. Никитин Д.П., Валайтите А.А. Анализ качества высокоточной эфемеридно-временной информации для определения координат низкоорбитальных космических аппаратов//Электросвязь. 2016. № 11. С. 18-24.

19. Никитин Д.П., Валайтите А.А. Алгоритм высокоточного абсолютного местоопределения по сигналам ГНСС для низкоорбитальных космических аппаратов//Электросвязь. - 2016. - № 11. - С. 12-17.

20. 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.

21. Рогов Д.А., Бабишкин А.А., Гудаев Р.А., Чистяков С.В. Алгоритм распознавания типа излучающего объекта на основе спектрального портрета в воздушно-космическом пространстве на основании использования спектрального портрета//Труды ВКА имени А.Ф.Можайского. - СПб.: ВКА имени А.Ф.Можайского. - 2016. - Вып. 654. - С. 38-42.

22. Федотов Н.Г. Теория признаков распознавания образов на основе стохастической геометрии и функционального анализа. - М.: Физматлит. 2010. - 304 с.

23. Sobolev V.S., Feshenko A.A. Accurate Cramer-Rao Bounds for a Laser Doppler anemometer//IEEE transactions on instrumentation and measurement. - 2006. - V. 55. - № 2. - P. 659-665.

24. Parkinson B., Spilker J. Global Positioning System: Theory and Practice. V. I, II. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics. - 1996.

25. Rodrigo F. Leandro. Precise point positioning with GPS a new approach for positioning, atmospheric studies, and signal analysis//Department of Geodesy and Geomatics Engineering University of New Brunswick. 2009.

26. Publication on Geodesy 68ESA's Earth Observation Programmes: Advancing Earth Science Through New Sensing Technology. Ссылка активна на 30.06.2018. URL: <http://earthzine.org/2007/10/29/esas-earth-observation-programmes-advancing-earth-science-through-new-sensing-technology>.

References:

1. Belyakov E.S., Kostrova T.G., Antuf'ev R.V., Kostrov V.V. Ustroistvo ustraneniya neodnoznachnykh izmerenii dal'nosti do tselei, nakhodyashchikhsya za predelami rabochei zony radiolokatsionnoi stantsii. Patent RU №2358284. MPK: G01S 13/08. Opubl. 10.06.2009. Byul. №16. [Belyakov E.S., Kostrova T.G., Antuf'ev R.V., Kostrov V.V. The device for eliminating ambiguous measurements of distance to targets outside the radar's working area. Patent RU No. 2358284. MPK: G01S 13/08. Publ. 10.06.2009. Bul. №16. (in Russ.)]
2. Belyaev B.G., Golubev G.N., Zhibinov V.A., Shchekotov Yu.P. Sposob radiolokatsionnogo obnaruzheniya i soprovozhdeniya ob"ektov i RLS dlya ego realizatsii. Patent RU №2149421. MPK: G01S 13/04. Opubl. 20.05.2000. Byul. №14. [Belyaev B.G., Golubev G.N., Zhibinov V.A., Shchekotov Yu.P. The method of radar detection and tracking of objects and radar for its implementation. Patent RU No. 2149421. MPK: G01S 13/04. Publ. 20.05.2000. Bul. №14. (in Russ.)]
3. Mitrofanov D.G., Silaev N.V., Maiorov D.A., Tuluzakov V.G., Nemtsov A.V. Sposob izmereniya radial'noi skorosti vozduшной tseli v rezhime perestroiki chastoty ot impul'sa k impul'su po sluchainomu zakonu pri ponizhenom otnoshenii signal-shum. Patent RU №2389039. MPK: G01S 13/58. Opubl. 20.05.2010. Byul. №13. [Mitrofanov D.G., Silaev N.V., Maiorov D.A., Tuluzakov V.G., Nemtsov A.V. A method for measuring the radial velocity of an air target in the regime of frequency tuning from pulse to pulse in a random way with a reduced signal-to-noise ratio. Patent RU No. 2389039. MPK: G01S 13/58. Publ. 20.05.2010. Bul. №13 (in Russ.)]
4. Bashev V.V., Grachev O.D., Zachevitskii A.A., Zhablov N.E., Kokuroshnikov S.M., Malkov M.A. Podvizhnaya nazemnaya dvukhkoordinatnaya RLS krugovogo obzora metrovogo diapazona. Patent RU №2341813. MPK: G01S 13/04. Opubl. 20.12.2008. Byul. №35. [Bashev V.V., Grachev O.D., Zachevitskii A.A., Zhablov N.E., Kokuroshnikov S.M., Malkov M.A. Movable terrestrial two-coordinate ra-

- dar system of a circular survey of meter range. Patent RU №2341813. MPK: G01S 13/04. Publ. 20.12.2008. Bul. №35. (in Russ.)]
5. Antashev A.B., Antashev V.B., Antashev D.A., Antashev P.V. Sposob obrabotki signala. Patent RU №2302077. MPK: H04B 1/04. Opubl. 27.06.2007. Byul. №18. [Antashev A.B., Antashev V.B., Antashev D.A., Antashev P.V. Method of signal processing. Patent RU №2302077. MPK: H04B 1/04. Publ. 27.06.2007. Bul. №18. (in Russ.)]
 6. Antashev A.B., Antashev V.B., Antashev D.A., Antashev P.V., Dement'ev R.S. Sposob obnaruzheniya signala. Patent RU №2326401. MPK: G01S 13/34, H04D 7/00. Opubl. 10.06.2008. Byul. №16. [Antashev A.B., Antashev V.B., Antashev D.A., Antashev P.V., Dement'ev R.S. Method of signal detection. Patent RU №2326401. MPK: G01S 13/34, H04D 7/00. Publ. 10.06.2008. Bul. №16. (in Russ.)]
 7. Voprosy perspektivnoi radiolokatsii. Pod red. M. Sokolova. M.: Radiotekhnika; 2003. 512 s. [Questions of perspective radiolocation. Ed. M. Sokolov. M.: Radiotekhnika; 2003. 512 p. (in Russ.)]
 8. Perunov Yu.M., Kupriyanov A.I. Radioelektronnaya bor'ba: radiotekhnicheskaya razvedka. M.: Vuzovskaya kniga; 2016. 190 s. [Perunov Yu.M., Kupriyanov A.I. Electronic warfare: radio technical intelligence. M.: Vuzovskaya kniga; 2016. 190 p. (in Russ.)]
 9. Radzievskii V.G., Trifonov P.A. Obrabotka sverkhshirokopolosnykh signalov i pomekh. M.: Radiotekhnika; 2009. 288 s. [Radzievskii V.G., Trifonov P.A. Processing ultra-wideband signals and interferences. M.: Radiotekhnika; 2009. 288 p. (in Russ.)]
 10. Panychev S.N., Pitolin V.M., Samotsvet N.A. Universal'nyi pokazatel' dlya otsenki effektivnosti maskiruyushchikh i imitatsionnykh pomekh. Radiotekhnika. 2016;6:26-30. [Panychev S.N., Pitolin V.M., Samotsvet N.A. Universal indicator for assessing the effectiveness of masking and imitating interferences. Radioengineering. 2016;6:26-30. (in Russ.)]
 11. Litvinov N.N., Lavrent'ev A.M. Analiz. Vozmozhnosti maskirovki zondiruyushchikh signalov radiolokatsionnykh stantsii gruppirovki protivovozdushnoi oborony. Vestnik Vozdushno-kosmicheskoi oborony. 2017;1(13):38-43. [Litvinov N.N., Lavrent'ev A.M. Possibilities of masking sounding signals of radar stations of air defense grouping. Aerospace Defense Herald. 2017;1(13):38-43. (in Russ.)]
 12. Golovkov A.A., Minakov V.G. Sintez soglasuyushche-fil'truyushchikh ustroystv amplitudno-fazovykh manipulyatorov pri vklyuchenii upravlyaemogo elementa posledovatel'no istochniku signala. Telekommunikatsii. 2005;3:33-37. [Golovkov A.A., Minakov V.G. Synthesis of matching-filtering devices of amplitude-phase manipulators when the controlled element is switched on in series with the signal source. Telecommunications. 2005;3:33-37. (in Russ.)]
 13. Golovkov A.A., Golovkov V.A. Parametricheskii sintez amplitudno-fazovykh modulyatorov s razlichnymi variantami vklyucheniya nelineinogo elementa otnositel'no rezistivnogo chetyrekhpol'yusnika. Radiotekhnika i elektronika. 2013;8:609-618. [Golovkov A.A., Golovkov V.A. Parametric synthesis of amplitude-phase modulators with different variants of switching of a nonlinear element with respect to a resistive four-terminal network. Radiotekhnika i elektronika. 2013;8:609-618. (in Russ.)]
 14. Golovkov A.A., Semenov A.A. Matematicheskoe i skhemotekhnicheskoe modelirovanie amplitudno-fazovykh modulyatorov s ispol'zovaniem rezistivnogo soglasuyushchego ustroystva pri posledovatel'nom soedinenii trekhpol'yusnogo nelineinogo elementa i tsepi obratnoi svyazi. Nelineinyi mir. 2013;6(11):417-422. [Golovkov A.A., Semenov A.A. Mathematical and circuit simulation of amplitude-phase modulators using a resistive matching device with a series connection of a three-pole nonlinear element and a feedback loop. Nonlinear World. 2013;6(11):417-422. (in Russ.)]
 15. GLONASS. Printsipy postroeniya i funktsionirovaniya. Pod red. A.I. Perova, V.N. Kharisova. M.: Radiotekhnika; 2010. 688 s. [GLONASS. Principles of construction and functioning. Eds. A.I. Perov, V.N. Harisov. M.: Radiotekhnika; 2010. 688 p. (in Russ.)]
 16. Podkorytov A.N. Vysokotochnoe opredelenie koordinat potrebitelya v global'nykh navigatsionnykh sputnikovykh sistemakh s ispol'zovaniem utochnennoi efemeridno-vremennoi informatsii. Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta. 2011;3(18):233-239. [Podkorytov A.N. High-precision determination of customer coordinates in global navigation satellite systems using refined ephemeris time information. Vestnik Moskovskogo aviatsionnogo instituta. 2011;3(18):233-239. (in Russ.)]
 17. Podkorytov A.N. Vysokotochnoe mestoopredelenie v absolyutnom rezhime v GNSS s ispol'zovaniem razresheniya tselochislennoi neodnoznachnosti psevdofazovykh izmerenii. Trudy MAI. № 59. [Podkorytov A.N. High-precision positioning in absolute mode in GNSS using the resolution of integer ambiguity of pseudo-phase measurements. Trudy MAI. № 59. (in Russ.)]
 18. Nikitin D.P., Valaitite A.A. Analiz kachestva vysokotochnoi efemeridno-vremennoi informatsii dlya opredeleniya koordinat nizkoorbital'nykh kosmicheskikh apparatov. Elektrosvyaz'. 2016;11:18-24. [Ni-

- kitin D.P., Valaitite A.A. Analysis of the quality of high-precision ephemeris time information for determining the coordinates of low orbital spacecraft. *Electrosvyaz*. 2016;11:18-24. (in Russ.)]
19. Nikitin D.P., Valaitite A.A. Algoritm vysokotochnogo absolyutnogo mestoopredeleniya po signalam GNSS dlya nizkoorbital'nykh kosmicheskikh apparatov. *Elektrosvyaz'*. 2016;11:12-17. [Nikitin D.P., Valaitite A.A. Algorithm of high-precision absolute location based on GNSS signals for low-orbit spacecraft. *Elektrosvyaz*. 2016;11:12-17. (in Russ.)]
 20. Kulikov S.V., Gudaev R.A., Baldychev M.T., Gaichuk Yu.N. Reshenie zadachi raspoznavaniya izluchayushchikh ob'ektov na osnove podkhoda k otozhdestvleniyu ikh diagramm napravlenosti. *Naukoemkie tekhnologii*. 2015;12:26-30. [Kulikov S.V., Gudaev R.A., Baldychev M.T., Gaichuk Yu.N. The solution of the problem of recognition of radiating objects on the basis of the approach to the identification of their directivity diagrams. *Science Intensive Technologies*. 2015;12:26-30. (in Russ.)]
 21. Rogov D.A., Babishkin A.A., Gudaev R.A., Chistyakov S.V. Algoritm raspoznavaniya tipa izluchayushchego ob'ekta na osnove spektral'nogo portreta v vozdušno-kosmicheskom prostranstve na osnovanii ispol'zovaniya spektral'nogo portreta. *Trudy VKA imeni A.F.Mozhaiskogo*. 2016;654:38-42. [Rogov D.A., Babishkin A.A., Gudaev R.A., Chistyakov S.V. Algorithm for recognizing the type of a radiating object based on a spectral portrait in airspace based on the use of a spectral portrait. *Trudy VKA imeni A.F.Mozhaiskogo*. 2016;654:38-42. (in Russ.)]
 22. Fedotov N.G. Teoriya priznakov raspoznavaniya obrazov na osnove stokhasticheskoi geometrii i funktsional'nogo analiza. M.: Fizmatlit; 2010. 304 s. [Fedotov N.G. Theory of features of pattern recognition based on stochastic geometry and functional analysis. M.: Fizmatlit; 2010. 304 p. (in Russ.)]
 23. Sobolev V.S., Feshenko A.A. Accurate Cramer-Rao bounds for a Laser Doppler anemometer. *IEEE transactions on instrumentation and measurement*. 2006;55(2):659-665.
 24. Parkinson B., Spilker J. *Global Positioning System: Theory and Practice*. V. I, II. Washington, DC: American Institute of Aeronautics and Astronautics; 1996.
 25. Leandro R.F. *Precise point positioning with GPS: a new approach for positioning, atmospheric studies, and signal analysis*. Department of Geodesy and Geomatics Engineering, University of New Brunswick. 2009.
 26. Publication on Geodesy 68ESA's Earth Observation Programmes: Advancing Earth Science through New Sensing Technology. (Access date 30.06.2018). URL: <http://earthzine.org/2007/10/29/esas-earth-observation-programmes-advancing-earth-science-through-new-sensing-technology>.

Сведения об авторах:

Адалаева Патимат Шамильевна – аспирант, кафедра радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники.

Айгумов Тимур Гаджиевич – кандидат экономических наук, доцент, кафедра программного обеспечения, вычислительной техники и автоматизированных систем.

Магомедова Сабина Владимировна – аспирант, кафедра радиотехники, телекоммуникаций и микроэлектроники

Челушкина Татьяна Алексеевна – кандидат технических наук, старший преподаватель, кафедра теоретической и общей электротехники.

Information about the authors.

Patimat Sh.Adalaeva – Graduate Student, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics.

Timur G.Aigumov – Cand. Sci. (Economics), Assoc. Prof., Department of Software, Computing and Automated Systems.

Sabina V. Magomedova – Graduate Student, Department of Radio Engineering, Telecommunications and Microelectronics.

Tatyana A.Chelushkina – Cand. Sci. (Technical), Senior Lecturer, Department of Theoretical and General Electrical Engineering.

Конфликт интересов.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 23.03.2018.

Принята в печать 04.05.2018.

Conflict of interest.

The authors declare no conflict of interest.

Received 23.03.2018.

Accepted for publication 04.05.2018.