

РАДИОЛОКАЦИЯ И РАДИОНАВИГАЦИЯ / RADIO DETECTION AND LOCATION

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.45>

ОЦЕНИВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ СПЕКТРА МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ В РАДАРАХ С КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫМ ЛЧМ-ИЗЛУЧЕНИЕМ ПРИ АДАПТИВНО-РОБАСТНОМ НАБЛЮДЕНИИ/СОПРОВОЖДЕНИИ ОБЪЕКТА

Научная статья

Коврегин В.Н.^{1,*}, Коврегина Г.М.²¹ ORCID : 0000-0001-6851-1446;² ORCID : 0000-0003-2091-8786;^{1,2} Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (kovregin[at]mail.ru)

Аннотация

Показаны особенности формирования и методика аналитического расчета параметров спектра мешающих отражений от земли в авиационных бортовых радарах при квазинепрерывном излучении с линейной частотной модуляцией несущего колебания в пачках импульсов, используемых в задачах дальнего адаптивно-робастного наблюдения (обнаружения и «захвата» траектории) и сопровождения воздушного объекта в расширенном диапазоне скоростей его сближения/удаления относительно РЛС, включая нулевую и сверхзвуковые скорости. Показаны возможности управления положением и шириной спектра мешающих отражений, а также использования «прозрачных» зон этого спектра, обусловленных линейной частотной модуляцией, для наблюдения/сопровождения объекта «на фоне» мощных мешающих отражений от земли.

Ключевые слова: авиационный радар, квазинепрерывное излучение, линейная частотная модуляция, мешающие отражения, воздушный объект адаптивно-робастное наблюдение/ сопровождение.

ESTIMATION AND CONTROL OF INTERFERING REFLECTIONS SPECTRUM PARAMETERS IN RADARS WITH QUASI-CONTINUOUS LIGHT EMISSION DURING ADAPTIVE ROBUST OBJECT OBSERVATION/TRACKING

Research article

Kovregin V.N.^{1,*}, Kovregina G.M.²¹ ORCID : 0000-0001-6851-1446;² ORCID : 0000-0003-2091-8786;^{1,2} Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, Saint-Petersburg, Russian Federation

* Corresponding author (kovregin[at]mail.ru)

Abstract

The features of formation and the methodology of analytical calculation of the parameters of the interfering ground reflections spectrum in aircraft airborne radars at quasi-continuous radiation with linear frequency modulation of the carrier oscillation in pulse packs used in the tasks of long-range adaptive-robust surveillance (detection and "capture" of the trajectory) and tracking of an airborne object in the extended range of speeds of its approach/distance relative to the radio detection and ranging equipment, including zero and supersonic speeds, are shown. The possibilities of controlling the position and width of the interfering reflections' spectrum, as well as the use of "transparent" zones of this spectrum, caused by linear frequency modulation, for observation/accompaniment of the object "against the background" of powerful interfering reflections from the ground are demonstrated.

Keywords: aircraft radar, quasi-continuous radiation, linear frequency modulation, interfering reflections, air object adaptive robust surveillance/tracking.

Введение

Отмечаются устойчивые тенденции к расширению типажа, диапазонов высот, скоростей и маневренных возможностей воздушных объектов (ВО), являющихся в настоящий момент актуальными радиолокационными воздушными целями для авиационных бортовых РЛС. Постоянно усиливаются требования к РЛС по пропускной способности, дальности, точности, оперативности, помехоустойчивости при обнаружении, измерениях при «захвате» и сопровождении траектории ВО, причем эти требования необходимо выполнять в широком диапазоне возможных скоростей сближения/удаления ВО, включая нулевую и сверхзвуковые скорости, в условиях интенсивного маневра ВО, при малых отношениях сигнал/шум и мощных мешающих отражениях от земли (МОЗ) [1], [2], [3].

На данный момент является актуальным и практически значимым решением проблемы обеспечения «всескоростного» обнаружения, высокоточного измерения траекторных параметров и устойчивого сопровождения маловысотных маневренных ВО в дальней и ближней зоне обзора РЛС при сложной сигнально-шумовой/помеховой обстановке. Известны адаптивно-робастные методы дальнего наблюдения (обнаружения/ «захвата» траектории) и сопровождения ВО на основе квазинепрерывного излучения (КНИ) с высокой или высокой средней частотой повторения импульсов (ЧПИ) и линейной частотной модуляцией несущего колебания в пачке импульсов (ЛЧМ) [4], [5], [6], [7], [8] и др., обеспечивающие в условиях МОЗ инвариантность дальнего наблюдения/сопровождения ВО к

скорости ее сближения/удаления в широком диапазоне. Указанные методы, в общем случае, предполагают адаптивно-робастное (АР) управление параметрами КНИ (периодом повторения импульсов (ППИ) и/или крутизной ЛЧМ), обеспечивающее гарантированное нахождение сигнала ВО вне «слепой зоны» (СЗ) по неоднозначной задержке сигнала (НЗС) внутри ППИ, обусловленной временем бланкирования приемника, и вне СЗ по дальностно-доплеровской частоте (ДДЧ), обусловленной спектром «мощных» МОЗ, на фоне которых детектирование относительно «слабого» сигнала ВО не представляется возможным. Отметим, что в указанных работах [2], [3], [9], [10], в основном, рассматривались МОЗ, принимаемые по направлениям боковых лепестков (БЛ) диаграммы направленности (ДН), причем преимущественно при малой высоте носителя РЛС над землей и в состоянии «зависания», а положение ВО предполагалось в дальней зоне обзора РЛС. В такой ситуации дальность ВО значительно превышает максимальную дальность до «следов» БЛ на поверхности и ЛЧМ-сигнал ВО выносится за границы ЛЧМ-спектра МОЗ по БЛ - вследствие разности дальностей до ВО и до следов БЛ. В такой ситуации границы спектра МОЗ по БЛ рассчитывались приближенно по данным системы микронавигации/ориентации РЛС и выполнялась режекция МОЗ, причем с «большим запасом», что для задач дальнего наблюдения/сопровождения ВО не является критичным.

При нахождении ВО в ближней зоне возникает необходимость более детального анализа и оценки параметров спектра МОЗ по БЛ, в т. ч. при движении и большой высоте РЛС, исследования возможностей рационального управления параметрами спектра МОЗ, использования «прозрачных» зон этого спектра в интересах решения задач РЛС в ближней зоне, учитывая что положение, границы и структура спектра МОЗ по БЛ и ГЛ в значительной степени:

- зависят от задаваемых параметров КНИ, вида и ориентации ДН, а также траекторных параметров РЛС;
- влияют на ограничения по минимальной дальности до малоскоростных/зависших ВО при применении типовых [4], [5], [6], [7], [8] АР методов наблюдения/сопровождения.

Прагматической целью исследования является расширение функциональных возможностей РЛС в режиме КНИ с ЛЧМ при наблюдении/сопровождении ВО ближней зоне обзора в условиях мощных МОЗ – за счет устранения или существенного «смягчения» типичных ограничений по «слепым комбинациям» малых скоростей/дальностей ВЦ, зависящих от параметров спектра МОЗ.

Цель статьи – представить:

- нетрадиционную методику расчета параметров спектра МОЗ при КНИ с ЛЧМ, учитывающую эффекты нелинейной зависимости ДДЧ от скорости/высоты РЛС, ширины и ориентации лучей ее ДН/дальностей до «следов» БЛ и ГЛ на поверхности, наличие экстремумов при отрицательных ЛЧМ, «расщепление» ДДЧ-спектра МОЗ и появление «прозрачных» (рабочих) зон ДДЧ;

- возможности рационального управления текущими параметрами спектра МОЗ с использованием предложенной методики путем адаптации КНИ (по ППИ и/или крутизне ЛЧМ), изменения траектории РЛС/ориентации ДН в процессе АР наблюдения/сопровождения ВО в ближней зоне.

Основные результаты

В сеансе АР наблюдения [4], [5], [6], [7], [8] «базовый» i -ый элемент излучения – «бинарный пакет» $PP_{(i)} = \{P_1/P_2\}_{(i)}$ в виде пары ЛЧМ-пачек импульсов P_1 и P_2 , излучаемых с минимальным интервалом между моментами начала излучения $\Delta t \rightarrow \min$ при равном ППИ $T_{r1(i)} = T_{r2(i)} = T_{r(i)}$ и разной крутизне ЛЧМ $S_{1(i)} \neq S_{2(i)}$. В общем случае, когда $V_R \in [V_{R \max (-)}; V_{R \max (+)}]$, крутизна ЛЧМ назначается с разным знаком $\text{sign}(S_{1(i)}) \neq \text{sign}(S_{2(i)})$, а при $|V_{R \max (-)}| \approx |V_{R \max (+)}|$ задается ЛЧМ при $S_{1(i)} = (-S_{2(i)})$.

Диапазон «обслуживаемых» скоростей ВО при КНИ с ЛЧМ при $S > 0$:

$$V_{R \max (+)} = \frac{\lambda}{2} \left\{ Fr - S \frac{2R_{\max}}{c} \right\}, \quad (1)$$

$$V_{R \max (-)} = -\frac{\lambda}{2} Fr, \quad (2)$$

где $Fr = (1/Tr)$ - ЧПИ; λ - длина волны; R_{\max} – известная максимальная дальность обнаружения ВО, обеспечиваемая в РЛС. Учитывая возможное ускорение ВО $a_R \in [a_{R \max (-)}; a_{R \max (+)}]$, где априорно $a_{R \max (-)} = -10g$, $a_{R \max (+)} = 10g$, возможна и дополнительная неконтролируемая ЛЧМ эхосигнала ВЦ с крутизной вида

$$S_a = \frac{\lambda}{2} a_R, \quad (3)$$

в диапазоне

$$[S_{a \max (-)} = \frac{\lambda}{2} a_{R \max (-)} < 0; S_{a \max (+)} = \frac{\lambda}{2} a_{R \max (+)} > 0]. \quad (4)$$

Тогда, с учетом (3), (4) при предполагаемом факторе интенсивного маневра (ФИМ-факторе) ограничения

$$V_{R \max (+)} = \frac{\lambda}{2} \left\{ Fr - (S + S_a) \frac{2R_{\max}}{c} \right\}, S_a = S_{a \max (-)}; \quad (5)$$

$$V_{R \max (+)} = \frac{\lambda}{2} \left\{ Fr - S_a \frac{2R_{\max}}{c} \right\}, S_a = S_{a \max (+)}.$$

При $S < 0$, напротив, более жесткие ограничения для отрицательных скоростей:

$$V_{R \max (-)} = -\frac{\lambda}{2} \left\{ Fr + (S + S_a) \frac{2R_{\max}}{c} \right\}, S_a = S_{a \max (-)}; \quad (6)$$

$$V_{R \max (+)} = \frac{\lambda}{2} \left\{ Fr - S_a \frac{2R_{\max}}{c} \right\}, S_a = S_{a \max (+)}.$$

Присутствие ФИМ-фактора ведет к сокращению «наблюдаемого» диапазона скоростей ВО, однако в рассматриваемом диапазоне дальностей это сокращение, в совокупности, составляет не более десятка м/с и в диапазоне сверхзвуковых скоростей, обеспечиваемом при типовых параметрах КНИ с ЛЧМ можно считать несущественным.

Аналогично при маневрировании носителя РЛС появляется дополнительная ЛЧМ вида (3), обусловленная радиальными ускорениями по направлениям к «следам» БЛ, приводящая к дополнительным деформациям/смещениям в спектрах МОЗ по БЛ при КНИ с заданной ЛЧМ. Эти ускорения определяются по данным микронавигационной системы РЛС [9], [10], [11], [12] и др. и могут быть учтены. В то же время при малой высоте РЛС и сравнительно небольших расстояниях до земли по направлениям БЛ влияние ускорения РЛС можно считать малосущественным. В силу этого далее при анализе спектра МОЗ по БЛ движение РЛС рассматривается только как равномерное горизонтальное.

Рассматриваемая ориентация ДН предполагает, что присутствуют МОЗ по БЛ, формируемые сигналами от «наступающих» (или неподвижных при зависшей РЛС) фрагментов земной поверхности. В общем случае, при большом азимутальном отклонении ГЛ от вектора путевой скорости РЛС (при переднебоковом/боковом обзоре) возможны и «отступающие» следы ряда БЛ. Эти ситуации в работе не рассматриваются. Для каждого k -го БЛ направление горизонтальной проекции его оси характеризуется азимутальным углом $\alpha_{(k)}$ относительно вектора скорости РЛС W и проекция скорости на это азимутальное направление $V_{(k)} = W \cos \alpha_{(k)}$. Доплеровская частота (ДЧ) $F_{DSL(k)}$ по оси БЛ с углом наклона $\beta_{SL(k)}$ и диапазон ДЧ по ширине БЛ $2\Delta\beta_{SL(k)}$:

$$F_{D0SL(k)} = \frac{2}{\lambda} V_{(k)} \cos \beta_{SL(k)}; \quad (7)$$

$$\left[F_{D1SL(k)} = \frac{2}{\lambda} V_{(k)} \cos (\beta_{SL(k)} + \Delta\beta_{SL(k)}); F_{D2SL(k)} = \frac{2}{\lambda} V_{(k)} \cos (\beta_{SL(k)} - \Delta\beta_{SL(k)}) \right], \quad (8)$$

где $\beta_{SL(k)} + \Delta\beta_{SL(k)} = \beta_{SLmax(k)}$ и $\beta_{SL(k)} - \Delta\beta_{SL(k)} = \beta_{SLmin(k)}$ – соответственно максимальный и минимальный углы наклона по направлению ближней и дальней границам «следа» k -го БЛ в пределах его угловой ширины в вертикальной плоскости.

Для КНИ с крутизной ЛЧМ S дальностно-доплеровская частота (ДДЧ) $F_{RD0SL(k)}$ по оси БЛ, а также ДДЧ $F_{RD1SL(k)}$ и $F_{RD2SL(k)}$ по направлениям к ближней и дальней границе «следа» БЛ, соответственно:

$$F_{RD0SL(k)} = F_{DSL(k)} + S \left(\frac{2R_{(k)}}{c} \right) = F_{DSL(k)} + S \left(\frac{2}{c} \frac{H}{\sin \beta_{SL(k)}} \right), \quad (9)$$

$$F_{RD1SL(k)} = F_{D1SL(k)} + S \left(\frac{2}{c} \frac{H}{\sin \beta_{SLmax(k)}} \right); \quad (10)$$

$$F_{RD2SL(k)} = F_{D2SL(k)} + S \left(\frac{2}{c} \frac{H}{\sin \beta_{SLmin(k)}} \right). \quad (11)$$

В работах [4], [5], [6], [7], [8] детально рассмотрены только ситуации при «зависшей» на малой высоте РЛС – частный случай при $W=0$, $V_{(k)}=0$ и, следовательно, при нулевых значениях ДЧ в выражениях (7)-(11). Очевидно, что в этом случае положение и ширина спектра МОЗ по k -му БЛ определяется крутизной ЛЧМ, расстояниями до центра и ближней/дальней точки в границах его «следа» (или высотой РЛС и соответствующими углами наклона) и не зависит от азимутальной ориентации БЛ.

В сравнении со спектром доплеровских частот МОЗ по БЛ при типовом КНИ ($S=0$), при КНИ с ЛЧМ спектр ДДЧ этих МОЗ смещается и расширяется, причем при $S < 0$ спектр уже, чем при $S > 0$.

Отметим, что «мощные» МОЗ, как правило, формируются только направлениям «первых» и «вторых» БЛ в ДН и, соответственно, спектр ДДЧ при окологоризонтной ориентации ГЛ локализуется в границах, определяемых при малых (не более $10^\circ \dots 15^\circ$) углах наклона БЛ и небольших азимутальных отклонениях от оси ГЛ для этих БЛ, т. е. при циклическом выполнении процедур вида (9)-(13) для двух «первых» и двух «вторых» при известной ориентации оси ГЛ, скорости, высоте РЛС и ширине лепестков в ДН РЛС. В ряде типовых ДН все направленные вниз БЛ совпадают по азимуту с направлением оси ГЛ (см. рис. 1). В таком случае для МОЗ по БЛ расчет (12) - (14) выполняется по двум БЛ при одном азимуте и также при малых углах их наклона, когда влияние ЛЧМ на деформацию спектра наиболее интенсивно.

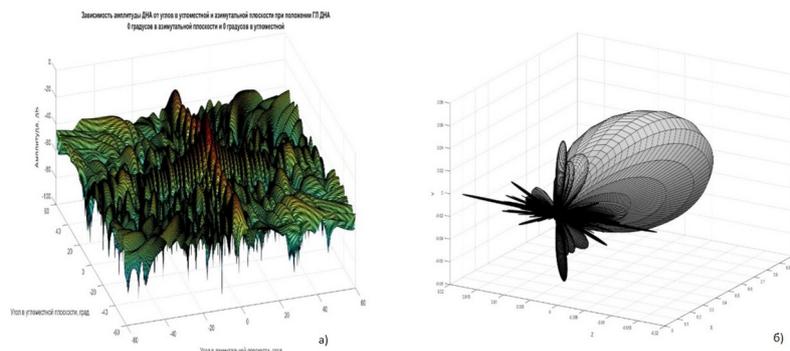


Рисунок 1 - Распределение амплитуд в зависимости от азимута/угла места и вид пространственной ДН
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.145.45.1>

Примечание: a – в зависимости от азимута/угла места; b – вид пространственной ДН

При $S < 0$ есть экстремум ДДЧ при угле наклона $\beta^*_{SL(k)}$ при условии: $(\frac{2}{\lambda} V_{(k)} \cos \beta^*_{SL(k)} + S(\frac{2}{c} \frac{H}{\sin \beta^*_{SL(k)}}))' = 0$, из которого следует

$$2\lambda V_{(k)} \left(-\sin \beta^*_{SL(k)} \right) + \left(\frac{2S}{c} H \right) \left(-\frac{\cos \beta^*_{SL(k)}}{\sin \beta^*_{SL(k)} \sin \beta^*_{SL(k)}} \right) = -\frac{2}{\lambda} V_{(k)} \sin \beta^*_{SL(k)} - \left(\frac{2S}{c} H \right) \left(\frac{\sqrt{1-\sin^2 \beta^*_{SL(k)}}}{\sin^2 \beta^*_{SL(k)}} \right) = 0$$

или

$$\left(\frac{2}{\lambda} V_{(k)} \right)^2 \sin^2 \beta^*_{SL(k)} = \left(\frac{2S}{c} H \right)^2 \left(\frac{1-\sin^2 \beta^*_{SL(k)}}{\sin^4 \beta^*_{SL(k)}} \right) \quad (12)$$

При подстановке $X = \sin^2 \beta^*_{SL(k)}$, $A = \left(\frac{2}{\lambda} V_{(k)} \right)^2$, $B = \left(\frac{2S}{c} H \right)^2$ это выражение имеет вид $AX = B \left(\frac{1-X}{X^2} \right)$, который преобразуется в двучленное кубическое уравнение $X^3 + pX + q = 0$, где $p = (B/A)$, $q = (-B/A)$, решение которого находится по формуле Кардано [12].

Искомый угол $\beta^*_{SL(k)}$ и соответствующая ему дальность $R^*_{SL(k)}$ в данном БЛ:

$$\beta^*_{SL(k)} = \arcsin \sqrt{X}; R^*_{SL(k)} = \frac{H}{\sqrt{X}}. \quad (13)$$

Из соотношений вида (9)-(11) с учетом (7), (8) также следует, что при известных значениях высоты РЛС, угла наклона БЛ и крутизны $S < 0$ граница скоростной проекции $V^*_{(k)}$, ниже которой ДДЧ $F_{RD0 SL(k)} < 0$:

$$V^*_{(k)} < \left(-\frac{S\lambda}{c} \right) \left(\frac{H}{\cos \beta_{SL(k)} \sin \beta_{SL(k)}} \right). \quad (14)$$

Например, при $S = -20$ кГц/мс, $\beta_{SL(k)} = 2^\circ$, $H = 1000$ м значение $V^*_{(k)} \approx 57,3$ м/с, ниже которой ДДЧ уже отрицательная и «видимая» ДДЧ будет проявляться уже вблизи значения ЧПИ.

При малом угле наклона/протяженном следе БЛ в каждом дискрете неоднозначной задержки сигнала (НЗС) в рабочей зоне ППИ с шириной $dt = \tau_{pulse} / k_{сск}$, в общем случае, присутствуют сигналы от нескольких дистанцированных полос поверхности в границах следа. Расстояния до этих полос соответствуют разным индексам ППИ r . Как следствие, при суперпозиции сигналов в дискрете НЗС при КНИ с ЛЧМ будут наблюдаться относительно узкие и разнесенные спектры для ДДЧ по сигналам от разных полос, причем интервал $\Delta F_{RD(r/r-1)}$ между близкими максимумами амплитуды сигнала на ДДЧ $F_{RD(r)}$ и $F_{RD(r-1)}$:

$$\Delta F_{RD(r/r-1)} = F_{RD(r)} - F_{RD(r-1)} = (F_{D(r)} - F_{D(r-1)}) + ST_r = \Delta F_{D(r/r-1)} + ST_r, \quad (15)$$

где $\Delta F_{D(r/r-1)} = F_{RD(r)} - F_{RD(r-1)}$ – приращение ДЧ, обусловленных радиальными скоростями по направлениям к центрам полос поверхности на дальностях, соответствующих индексам ППИ r и $r-1$. Заметим, что ширина интервала (15) может составлять сотни Гц. Например, только компонента ST_r при типовых параметрах КНИ [1], [2], [3] при $S = 20$ кГц/мс и $T_r \approx 33,3$ мкс будет $\approx 0,67$ кГц.

Таким образом, основные результаты заключаются в том, что:

- предложена оригинальная процедура аналитического оценивания границ спектра МОЗ при КНИ с отрицательной ЛЧМ – на основе решения кубического уравнения относительно углов наклона лучей/дальностей до земли, определяющих экстремальную ДДЧ в спектре МОЗ;

- показаны: наличие «прозрачных» зон ДДЧ в границах спектра МОЗ; расчет их положения, ширины и возможность их использования для наблюдения/сопровождении ВО в ближней зоне на фоне МОЗ.

Новизна полученных результатов заключается в учете эффектов «нелинейности» и «расщепления» ДДЧ-спектров МОЗ при оценке его параметров и обосновании возможности адаптивного управления параметрами спектра МОЗ для расширения функциональных возможностей РЛС в ближней зоне обзора на фоне МОЗ.

Заключение

Приведенные в литературе типовые процедуры определения границ спектра и режекции МОЗ по БЛ ориентированы на решение задач наблюдения/сопровождения ВЦ в дальней зоне, полностью исключают из обработки все ДДЧ от нуля до границы спектра при максимальной дальности до земли в «следах» БЛ. При этом режекция осуществляется с «запасом», без учета экстремума при формировании спектра МОЗ при отрицательной крутизне ЛЧМ, «прозрачных» зон ДДЧ в рамках спектра каждого БЛ и между БЛ. Для дальнего наблюдения ВЦ, при малой высоте и скорости РЛС такая упрощенная режекция МОЗ не является критичной, но в других ситуациях (в ближней зоне, большей высоте/скорости РЛС) может существенно ограничивать возможности наблюдения ВЦ. Представленные в работе результаты анализа и методика определения параметров спектра МОЗ по БЛ позволяют учесть указанные факторы, осуществить уточненную и избирательную режекцию МОЗ, расширить возможности наблюдения малоскоростных/зависших ВЦ в ближней зоне, в т.ч. и при целенаправленном управлении параметрами КНИ, влияющими на структуру, положение и границы спектра МОЗ по БЛ.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Российской научный фонд (Разработка и совершенствование адаптивно-робастных методов и алгоритмов дальнего обнаружения/«захвата»/сопровождения разнотипных воздушных целей в авиационных импульсно-доплеровских радарх с повышением их эффективности и обеспечением функциональности в расширенных диапазонах скоростей и высот на фоне пассивных помех и маневрирования № 22-19-00058.)

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Funding

The work was supported by Russian Science Foundation (Development and improvement of adaptive robust methods and algorithms for long-range detection/"capture"/tracking of different types of air targets in aviation pulse-Doppler radars with increasing their efficiency and providing functionality in extended speed and altitude ranges against the background of passive interference and manoeuvring)

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Сколник М.И. Справочник по радиолокации: в 2 т.; / М.И. Сколник — Москва: Техносфера, 2015. — 1 т.
2. Сколник М.И. Справочник по радиолокации: в 2 т.; / М.И. Сколник. — Москва: Техносфера, 2015. — 2 т.
3. Дудник П.И. Авиационные радиолокационные комплексы и системы / П.И. Дудник, Г.С. Кондратенков, Б.Г. Татарский и др. — Москва: Изд. ВВИА им. проф. В.И. Жуковского, 2006. — 1112 с.
4. Kovregin V.N.. Method for observing a hovering object against the background of the earth in radars with quasi-continuous chirp radiation / V.N. Kovregin, G.M. Kovregina; — Issue 1. — Saint Petersburg: Concern CSRI Elektropribor, 2023. — p. 1-4. DOI: 10.23919/ICINS51816.2023.10168478.
5. Коврегин В.Н. Адаптивно-робастное всеракурсное наблюдение разнотипных объектов в главном луче радара с квазинепрерывным ЛЧМ-излучением / В.Н. Коврегин, Г.М. Коврегина, А.С. Мурзаев // Радиотехника. — 2023. — 87. — с. 69-78. DOI: 10.18127/j00338486-202301-00.
6. Kovregin V.N.. Adaptive-robust methods for detecting, capturing and tracking hovering, low- and high-speed objects in integrated radar-inertial systems with quasi-continuous radiation / V.N. Kovregin, G.M. Kovregina; — Saint Petersburg: Concern CSRI Elektropribor, 2021. — p. 1-4. DOI: 10.23919/ICINS43216.2021.9470845.
7. Пат. 26975092 Российская Федерация, МПК2017118191/1 G01S 13/08 (2006/02). Способ обнаружения, измерения дальности и скорости низколетящей малоскоростной цели в импульсно-доплеровских радиолокационных станциях при высокой частоте повторения и инвертируемой линейной частотной модуляции / Коврегин В.Н.; — № 2017118191/1; заявл. 2017-05-25; опубл. 2024-05-05, ФИПС. — 14 с.
8. Пат. 26929121 Российская Федерация, МПК2017143611/1 G01S 13/00 (2006/01). Способ одновременного измерения дальности, скорости и ускорения малоскоростной маневрирующей воздушной цели в импульсно-доплеровских радиолокационных станциях при высокой частоте повторения импульсов и линейной частотной модуляции / Коврегин В.Н.; — № 2017143611/1; заявл. 2018-02-13; опубл. 2019-07-01, ФИПС. — 17 с.
9. Чернодаров А.В.. Инерциально-спутниковая система микронавигации для радиолокатора с синтезированной апертурой и доплеровским каналом измерения траекторной скорости / А.В. Чернодаров, В.Н. Коврегин, Г.М. Коврегина // Сборник материалов «XXX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам»; — Санкт-Петербург: Концерн Электроприбор, 2023. — с. 38-40.
10. Chernodarov A.V. Using an inertial satellite navigation system for determination of motion parameters of the radar antenna phase center / A.V. Chernodarov, A.P. Patrikeev, V.N. Kovregin et al. — Saint-Petersburg: Concern CSRI Elektropribor, 2016. — p. 315-323.
11. Коврегин В.Н. Автономная коррекция микронавигационной системы авиационного радара при организованных радиопомехах спутниковой навигации / В.Н. Коврегин // Системный анализ и логистика. — 2023. — 4(38). — с. 54-53. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-4-54-63.
12. Чернодаров А.В. Летная отработка распределенной системы инерциально-спутниковой микронавигации для радиолокатора с синтезированной апертурой / А.В. Чернодаров, А.П. Патрикеев, В.Н. Коврегин и др. // Научный Вестник МГТУ ГА. — 2017. — 20(1). — с. 222-231.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Skolnik M.I. Spravochnik po radiolokatsii [Radar Handbook]: in 2 vol.; / M.I. Skolnik — Moskva: Tehnosfera, 2015. — 1 vol. [in Russian]
2. Skolnik M.I. Spravochnik po radiolokatsii [Radar Handbook]: in 2 vol.; / M.I. Skolnik. — Moskva: Tehnosfera, 2015. — 2 vol. [in Russian]
3. Dudnik P.I. Aviatsonnyye radiolokatsionnyye komplekсы i sistemy [Aircraft radar complexes and systems] / P.I. Dudnik, G.S. Kondratenkov, B.G. Tatarskij et al. — Moskva: From the VVIA named after prof. V.I. Zhukovsky, 2006. — 1112 p. [in Russian]

4. Kovregin V.N.. Method for observing a hovering object against the background of the earth in radars with quasi-continuous chirp radiation / V.N. Kovregin, G.M. Kovregina; — Issue 1. — Saint Petersburg: Concern CSRI Elektropribor, 2023. — p. 1-4. DOI: 10.23919/ICINS51816.2023.10168478.
5. Kovregin V.N. Adaptivno-robustnoe vserakursnoe nabljudenie raznotipnyh ob'ektov v glavnom luche radara s kvazinepreryvnym LChM-izlucheniem [Adaptive-robust all-around observation of different types of objects in the main radar beam with quasi-continuous LFM radiation] / V.N. Kovregin, G.M. Kovregina, A.S. Murzaev // Radio engineering. — 2023. — 87. — p. 69-78. DOI: 10.18127/j00338486-202301-00. [in Russian]
6. Kovregin V.N.. Adaptive-robust methods for detecting, capturing and tracking hovering, low- and high-speed objects in integrated radar-inertial systems with quasi-continuous radiation / V.N. Kovregin, G.M. Kovregina; — Saint Petersburg: Concern CSRI Elektropribor, 2021. — p. 1-4. DOI: 10.23919/ICINS43216.2021.9470845.
7. Pat. 26975092 Russian Federation, MPK2017118191/1 G01S 13/08 (2006/02). Sposob obnaruzhenija, izmerenija dal'nosti i skorosti nizkoletjashej maloskorostnoj tseli v impul'sno-doplerovskih radiolokatsionnyh stantsijah pri vysokoj chastote povtoreniya i invertiruemoj linejnoy chastotnoj moduljatsii [Method of detecting, measuring range and speed of low altitude low-speed target in pulse-doppler radar stations with high frequency of pulses repetition and inverted linear frequency modulation] / Kovregin V.N.; — № 2017118191/1; appl. 2017-05-25; publ. 2024-05-05, FIPS. — 14 p. [in Russian]
8. Pat. 26929121 Russian Federation, MPK2017143611/1 G01S 13/00 (2006/01). Sposob odnovermennogo izmerenija dal'nosti, skorosti i uskorenija maloskorostnoj manevrirujushej vozduшной tseli v impul'sno-doplerovskih radiolokatsionnyh stantsijah pri vysokoj chastote povtoreniya impul'sov i linejnoy chastotnoj moduljatsii [Method for simultaneous measurement of range, speed and acceleration of low-speed maneuvering air target in pulse-doppler radar stations with high frequency of repetition of pulses and linear frequency modulation] / Kovregin V.N.; — № 2017143611/1; appl. 2018-02-13; publ. 2019-07-01, FIPS. — 17 p. [in Russian]
9. Chernodarov A.V.. Inertsial'no-sputnikovaja sistema mikronavigatsii dlja radiolokatora s sintezirovannoj aperturoj i doplerovskim kanalom izmerenija traektornoj skorosti [Inertial satellite micro-navigation system for radar with synthesized aperture and Doppler channel for trajectory velocity measurement] / A.V. Chernodarov, V.N. Kovregin, G.M. Kovregina // 30th Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS); — Sankt-Peterburg: Kontsern Elektropribor, 2023. — p. 38-40. [in Russian]
10. Chernodarov A.V. Using an inertial satellite navigation system for determination of motion parameters of the radar antenna phase center / A.V. Chernodarov, A.P. Patrikeev, V.N. Kovregin et al. — Saint-Petersburg: Concern CSRI Elektropribor, 2016. — p. 315-323.
11. Kovregin V.N. Avtonomnaja korrektsija mikronavigatsionnoj sistemy aviatsionnogo radara pri organizovannyh radiopomehah sputnikovoj navigatsii [Autonomous correction of the micronavigation system of an aircraft radar in the event of organized radio interference with satellite navigation] / V.N. Kovregin // System analysis and logistics. — 2023. — 4(38). — p. 54-53. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-4-54-63. [in Russian]
12. Chernodarov A.V. Letnaja otrabotka raspredelennoj sistemy inertsial'no-sputnikovoj mikronavigatsii dlja radiolokatora s sintezirovannoj aperturoj [Flight testing of a distributed inertial satellite micro-navigation system for a synthesized aperture radar] / A.V. Chernodarov, A.P. Patrikeev, V.N. Kovregin et al. // Scientific Bulletin of MSTU CA. — 2017. — 20(1). — p. 222-231. [in Russian]