



СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

УДК 621.396.967; 621.396.969.14; 629.7.05

DOI: 10.31799/2077-5687-2024-5-3-11

КОНЦЕПЦИЯ И МЕТОДЫ БЛИЖНЕГО НАБЛЮДЕНИЯ НИЗКОЛЕТАЮЩИХ МАЛОСКОРОСТНЫХ ОБЪЕКТОВ НА ФОНЕ МЕШАЮЩИХ ОТРАЖЕНИЙ В АВИАЦИОННЫХ РАДАРАХ С КВАЗИНЕПРЕРЫВНЫМ ЛЧМ-ИЗЛУЧЕНИЕМ

В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Предложена концепция и методические подходы для решения задач обнаружения и измерения траекторных параметров сигнала малоскоростного низколетящего объекта в ближней зоне обзора авиационного радара с квазинепрерывным ЛЧМ-излучением на фоне мешающих отражений от земли. Показаны информативность таких отражений (в аспекте микронавигации фазового центра радара) и их частичная «прозрачность» (для наблюдения сигнала объекта), обусловленные эффектом «расщепления» спектра мешающих отражений при использовании излучений с ЛЧМ несущего колебания в пачке зондирующих импульсов.

Ключевые слова: авиационный радар с квазинепрерывным излучением; линейная частотная модуляция; мешающие отражения от земли; наблюдение низковысотного малоскоростного объекта.

Для цитирования:

Коврегин, В. Н. Концепция и методы ближнего наблюдения низколетящих малоскоростных объектов на фоне мешающих отражений в авиационных радарах с квазинепрерывным ЛЧМ-излучением / В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина // Системный анализ и логистика. – 2024. – № 5(43). – с. 3-11. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-5-3-11.

CONCEPT AND METHODS OF CLOSE-RANGE OBSERVATION OF LOW-FLYING LOW-SPEED OBJECTS AGAINST THE BACKGROUND OF INTERFERING REFLECTIONS IN AIRCRAFT RADARS WITH QUASI-CONTINUOUS LFM RADIATION

V. N. Kovregin, G. M. Kovregina

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

A concept and methodological approaches are proposed for solving the problems of detecting and measuring the trajectory parameters of a signal from a low-speed, low-flying object in the near field of view of an aviation radar with quasi-continuous chirp radiation against the background of interfering reflections from the ground. The information content of such reflections (in terms of micronavigation of the radar phase center) and their partial “transparency” (for observing the object signal) are shown, caused by the effect of “splitting” the spectrum of interfering reflections when using radiation with a chirp carrier oscillation in a packet of probing pulses.

Keywords: aircraft radar with quasi-continuous radiation; linear frequency modulation; reflections from the ground; observation of a low-altitude low-speed.

For citation:

Kovregin, V. N. Concept and methods of close-range observation of low-flying low-speed objects against the background of interfering reflections in aircraft radars with quasi-continuous LFM radiation / V. N. Kovregin, G. M. Kovregina // System analysis and logistics. – 2024. – № 5(43). – p. 3-11. DOI: 10.31799/2077-5687-2024-5-3-11.

Введение

При решении типовых задач наблюдения, включая обнаружение/измерение траекторных параметров для приближающегося воздушного объекта (ВО) в авиационных РЛС традиционно используются режимы квазинепрерывного излучения (КНИ) с высокой/высокой средней частотой повторения импульсов (ЧПИ) [1]. В таких задачах сохраняются актуальность проблем, связанных с повышением эффективности применения РЛС при наблюдении на фоне земной поверхности и «свободного» воздушного пространства (СВП) малоскоростных маловысотных объектов с малой радиолокационной заметностью (эффективной площадью рассеяния) при мощных мешающих отражениях от земли (МОЗ), спектр которых «перекрывает» спектр относительно «слабого» эхосигнала ВО. При такой сигнально-



помеховой ситуации, типичной при небольшой высоте РЛС и при малой радиальной скорости цели, детектирование сигнала ВО традиционными методами [1], как правило, не представляется возможным. Существует и в настоящее время усиливается практическая необходимость в разработке новых подходов и методов, обеспечивающих возможность наблюдения ВО с указанными свойствами в условиях мощных МОЗ, принимаемых по направлениям главного луча (ГЛ) и/или боковых лепестков (БЛ) диаграммы направленности (ДН) РЛС.

Одно из направлений таких разработок реализуется в рамках концепции и методов адаптивно-робастного (АР) наблюдения/сопровождения ВО, инвариантного к скорости сближения РЛС и ВО, базирующегося на КНИ с линейной частотной модуляцией несущего колебания (ЛЧМ) [2-7 и др.]. Эти АР методы, в основном, ориентированы на применение в дальней зоне обзора для окологоризонтного СВП, начиная с удаления в 10...15 км и до максимальной дальности обнаружения цели, потенциально обеспечиваемой при малых отношениях «сигнал/шум» при высокой или высокой средней ЧПИ и большой базе для когерентного накопления сигнала ВО. При работе РЛС по маловысотным ВО в дальней зоне предполагается: высота РЛС меньше высоты ВО; горизонтированная ориентация нижней кромки ГЛ и, следовательно, наличие МОЗ только по направлениям БЛ; нахождение ВО на расстоянии, которое с запасом превышает дальность до наиболее удаленной от РЛС границы облучаемого БЛ фрагмента поверхности, формирующего МОЗ (далее в тексте – «следа» БЛ на поверхности). Это расстояние, по сути – существенное ограничение функциональных возможностей РЛС по минимальной дальности обнаружения малоскоростной ВО при типовых АР методах наблюдения ВО [2-7], проявляющееся в ближней зоне обзора. Отметим, что подобное ограничение сохраняется и при использовании типовой КНИ без ЛЧМ со средней ЧПИ, поскольку мощные МОЗ по БЛ присутствуют, как минимум, в нескольких первых дискретах неоднозначной задержки сигнала (НЗС)/дискретах дальности (ДД) в рабочей (прозрачной) зоне периода повторения импульсов (ППИ). Эти ДД исключаются из обработки, время закрытия приемника после импульса увеличивается, и при этом фактическая «слепая» зона в ППИ при малой высоте РЛС может составлять 1,5...2 км, что в большинстве случаев не соответствует требованиям к современным и перспективным многофункциональным РЛС.

Конечная прагматическая цель работы – расширение функциональных возможностей РЛС в режиме КНИ с ЛЧМ при решении задач наблюдения малоскоростной ВО в ближней зоне обзора СВП. *Цель статьи* – представление основных концептуальных положений и методических подходов, предлагаемых для достижений указанной прагматической цели.

Основная часть

Рассмотрим задачу наблюдения ВО в ближней зоне обзора РЛС для вышеуказанных условий – малая высота РЛС и ВО, окологоризонтная ориентация ГЛ, наличие МОЗ только по БЛ – и при типовой [1] диаграмме направленности для активной фазированной антенной решетки РЛС, вид которой представлен на рис. 1.

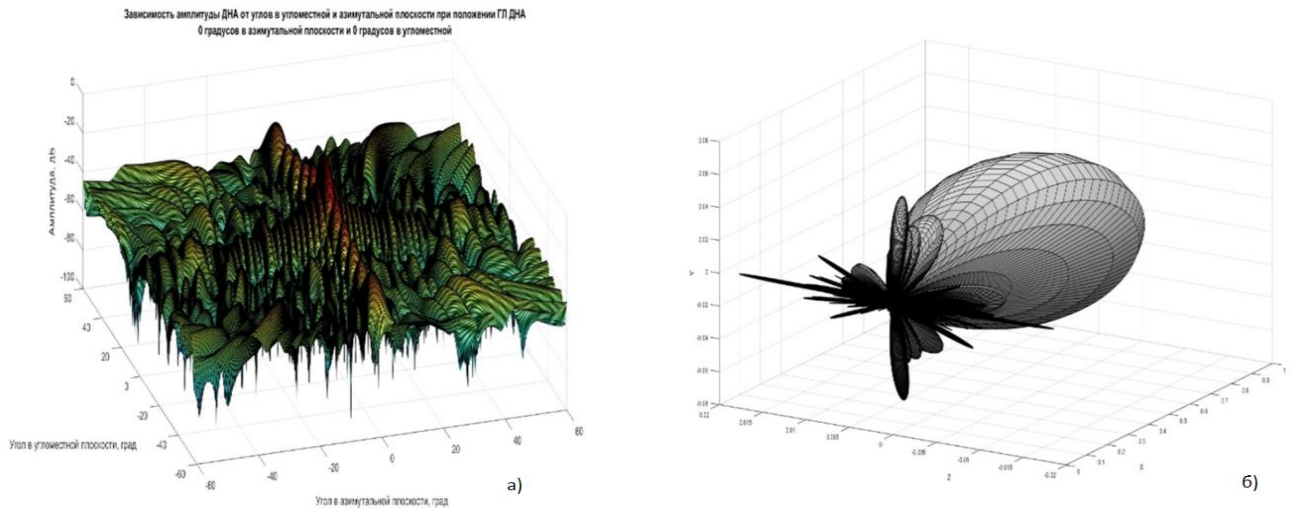


Рис. 1. Распределение амплитуды в зависимости от азимута/угла места (поз. а)) и вид пространственной ДН в антенной прямоугольной системе координат (поз. б))

В рассматриваемом случае мощные МОЗ формируются «следами» БЛ с отрицательным углом места (положительным углом наклона), оси которых расположены в вертикальной плоскости, проходящей через ось ГЛ. При использовании типового КНИ без ЛЧМ [1] при высокой/высокой средней ЧПИ при малой высоте РЛС обычно присутствуют мощные МОЗ по БЛ практически во всех дискретах НЗС/ДД, наблюдаемых в рабочей зоне ППИ. Например, на рис. 2 показан типичный вид спектров реальных сигналов МОЗ, наблюдаемых в разных дискретах НЗС в рабочей зоне ППИ при высокой ЧПИ (без ЛЧМ). На рис. 3 – типичный спектр в одном дискрете НЗС при высокой ЧПИ (без ЛЧМ). Очевидно, что на фоне таких МОЗ наблюдение малоскоростной ВО является проблематичным.

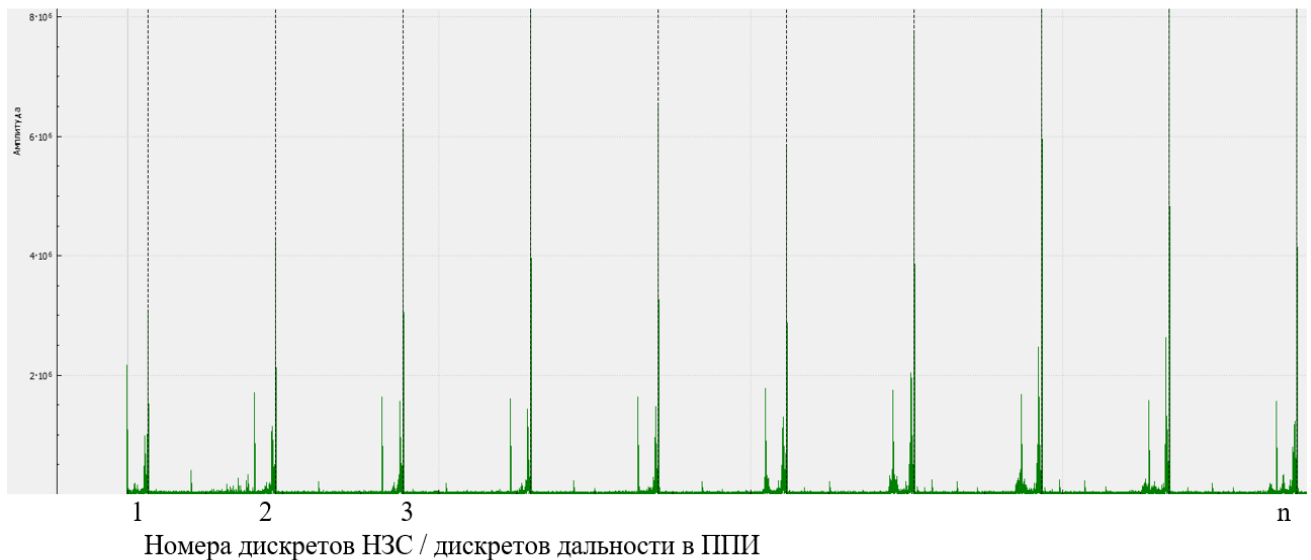


Рис. 2. Амплитуды МОЗ в зависимости номера дискрета НЗС в рабочей зоне ППИ при высокой ЧПИ (без ЛЧМ).

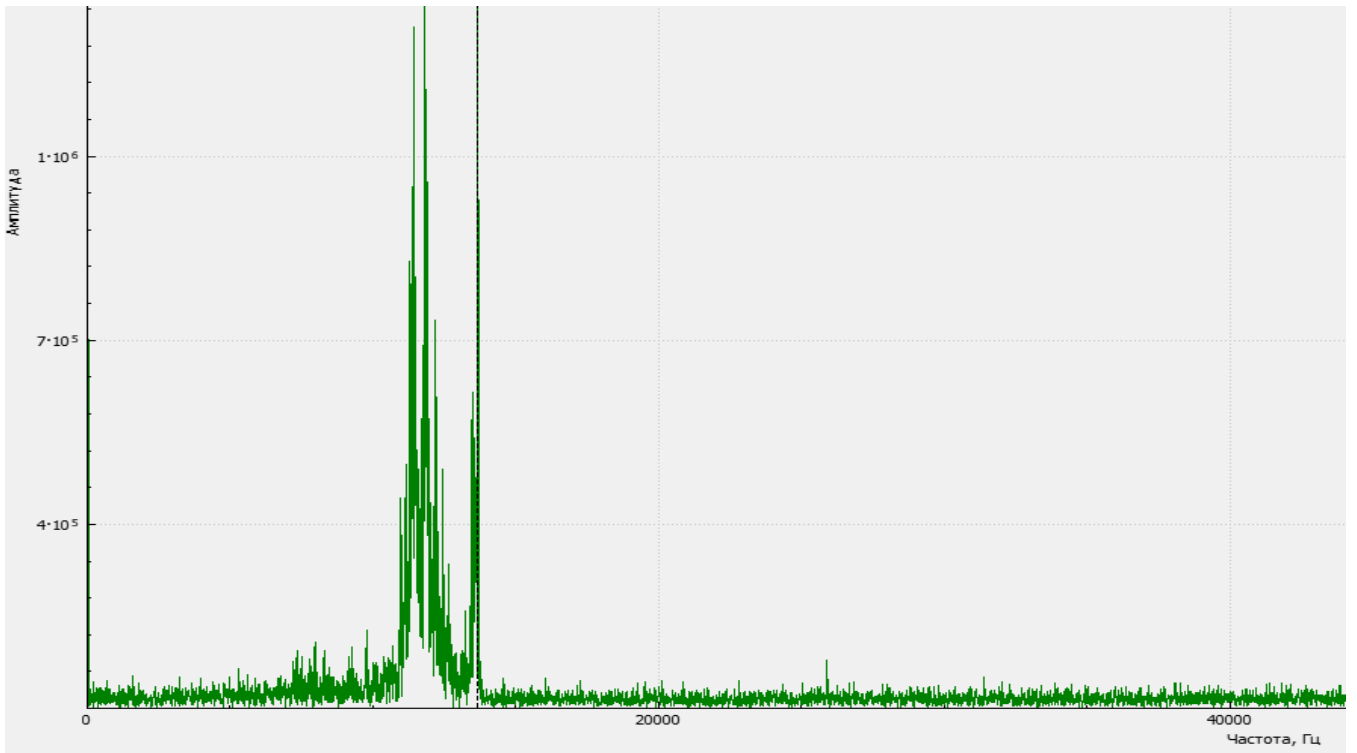


Рис. 3. Типичный спектр МОЗ в дискрете НЗС при ВЧП (без ЛЧМ)

На рис. 4 показан типичный вид спектра реальных МОЗ в дискрете НЗС, полученный при ВЧП с ЛЧМ (при прочих условиях, аналогичных получению спектров на рис. 2, 3)

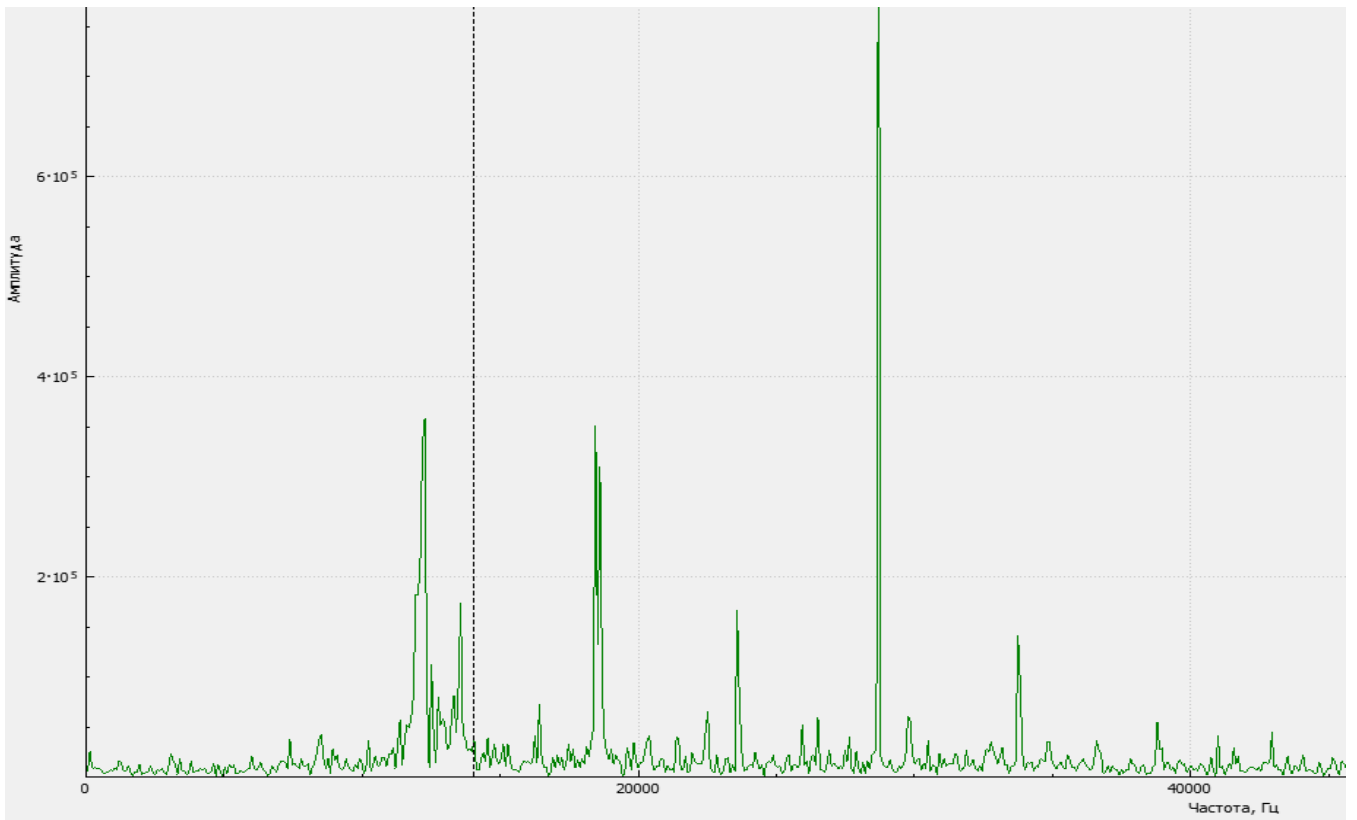


Рис. 4. Типичный спектр МОЗ в дискрете НЗС при ВЧП с ЛЧМ



Сопоставление спектров МОЗ на рис. 3 и рис. 4 показывает, что при ЛЧМ, в данном случае с положительной крутизной наблюдается смещение и деформация («расщепление») спектра МОЗ, причем отмечается регулярность в частотном положении максимумов амплитуды сигнала, амплитуды для глобального и локального максимумов при ЛЧМ значительно меньше, чем по сигналу без ЛЧМ, а в диапазонах частот между частотами, соответствующими этим максимумам, уровень шумов близок к уровню шумов приемника.

В целом, концепция традиционного дальнего АР наблюдения ВО [2-7] предполагает использование текущих данных от микронавигационной системы радара (МНС) [8-10 и др.] и от управляющего алгоритма РЛС (о ширине и параметрах и текущей ориентации ГЛ и БЛ), на основании которых рассчитываются частотные границы спектра МОЗ и осуществляется режекция всех МОЗ, буквально понимаемых как неинформативные, мешающие эхосигналы в рамках задачи дальнего наблюдения. По сути, задача решалась на основе разнесения спектров МОЗ по БЛ и ВО, обусловленного заданной ЛЧМ и разницей расстояний от фазового центра антенны РЛС (ФЦА) до цели и до границы наиболее удаленного «следа» БЛ, а также разностью радиальных составляющих скорости ФЦА по направлению БЛ и по направлению к ВО. Спектр ЛЧМ-сигнала ВО, «вынесенный» за границы спектра ЛЧМ-сигналов МОЗ, рассматривается уже только на фоне шумов приемника, а не на фоне МОЗ. Корректно утверждение, что решается задача наблюдения ВО не «на фоне мощных МОЗ по БЛ», а при «наличии таких МОЗ».

В настоящей работе постановка задачи существенно отличается, прежде всего, из-за нарушения традиционного [2-7] ограничения по минимальной дальности обнаружения цели R^*_{min} , обеспечивающего возможность «разнесения» спектров МОЗ и ВО при ЛЧМ-излучении. Далее зона обзора РЛС на расстояниях $R < R^*_{min}$ условно обозначается как «ближняя зона». Возможные комбинации скорости/дальности ВО тут таковы, что спектр ЛЧМ-сигнала ВО будет находиться именно в границах спектра МОЗ, т. е. буквально «на фоне МОЗ», и режекция всего ЛЧМ-спектра МОЗ недопустима, поскольку при ней будет утрачен и сигнал ВО. При решении такой задачи информативным является весь совокупный спектр ЛЧМ-сигналов ВО и МОЗ, формируемых «следами» всех БЛ. Предлагаемая концепция наблюдения ВО в ближней зоне при ЛЧМ-излучении РЛС базируется на детальном структурно-параметрическом анализе такого спектра для каждого дискрета НЗС в рабочей зоне ППИ. Спектр, наблюдаемый в каждом дискрете НЗС, характеризует сигнально-помеховую обстановку, формируемую, в общем случае:

- в результате суперпозиции сигналов от нескольких дистанцированных друг от друга полос поверхности (ПП), пересекающих «следы» БЛ и соответствующих разным наклонным дальностям от ФЦА $R_{(r)}$, кратным длительности ППИ T_r . Дальности до двух ППИ:

$$R_{(r)} = \frac{c}{2} T_{oz(r)} = \frac{c}{2} [rT_r + \tau], R_{(r+\Delta r)} = \frac{c}{2} T_{oz(r+\Delta r)} = \frac{c}{2} [(r + \Delta r)T_r + \tau], \quad (1)$$

где c – скорость радиоволны, принимаемая в работе равной $3 \cdot 10^8$ м/с; $r = 0, 1, \dots$ – индекс (номер) ППИ $r = \text{int} \left(\frac{2R_{(r)}}{cT_r} \right)$, где $\text{int}(\cdot)$ – целая часть числа в скобках; Δr – разница индексов ППИ для рассматриваемых дальностей до двух дистанцированных ППИ; τ – оценка НЗС в ППИ, соответствующая рассматриваемому дискрету НЗС с шириной, обычно равной длительности импульса или его доли (при использовании процедур скользящего суммирования амплитуд сигнала в ППИ; $T_{oz(r)}$ и $T_{oz(r+\Delta r)}$ – однозначные задержки сигналов от рассматриваемых ППИ:

$$T_{oz(r)} = rT_r + \tau \quad \text{и} \quad T_{oz(r+\Delta r)} = (r + \Delta r)T_r + \tau = rT_r + \tau + \Delta rT_r = T_{oz(r)} + \Delta rT_r; \quad (2)$$



- сигналом ВО, находящейся на расстоянии R_{ob} , равном любой из дальностей до ПП вида (1).

Информативность совокупного ЛЧМ-спектра сигнала ВО и МОЗ может пониматься в разных аспектах: 1) спектр МОЗ содержит информацию о параметрах траектории движения ФЦА относительно земной поверхности, получение которой предоставляет дополнительные возможности по повышению точности и устойчивости микронавигации ФЦА с использованием радиолокационных измерений, что на данный момент актуально в условиях типичных радиопомех спутниковым каналам МНС, т. е. при «нештатной» работе МНС радара; 2) совокупный спектр содержит сигнал ВО и информацию о ее траекторных параметрах.

Получение и использование радиолокационных измерений по МОЗ в интересах микронавигации представлено в работах [9, 10 и др.], в настоящей статье детально не рассматривается. Основная задача, рассматриваемая в данной статье, состоит в обнаружении сигнала ВО на фоне МОЗ и измерении ее траекторных параметров относительно РЛС.

Концепция решения такой задачи при КНИ с ЛЧМ базируется на следующих основных положениях.

1. При КНИ с крутизной ЛЧМ S наблюдаемый в каждом дискрете НЗС, соответствующем оценке НЗС τ , спектр МОЗ, в общем случае, включает интенсивные составляющие на дальностно-доплеровских частотах (ДДЧ) $F_{RD(j)}$

$$F_{RD(j)} = \frac{2}{\lambda} V \cos \varphi_{(j)} + S [r_{(j)} T_r + \tau] = \left(\frac{2}{\lambda} W \cos \alpha \cos \beta_{(j)} - \frac{2}{\lambda} V_H \sin \beta_{(j)} \right) + S [r_{(j)} T_r + \tau] = F_{D(j)} + S [r_{(j)} T_r + \tau], \quad (3)$$

где V , W и V_H – траекторная, путевая и вертикальная скорости ФЦА, соответственно; $\varphi_{(j)}$ – угол между вектором траекторной скорости и направлением на j -ую ПП в границах «следа» БЛ, находящуюся на удалении вида (1) от ФЦА; α – азимутальный угол оси ГЛ относительно вектора путевой скорости; $\beta_{(j)}$ – угол наклона для направления к j -ой ПП. Соответственно (2) в спектре наблюдаются глобальный (ГМА) и локальные максимум амплитуды (ЛМА), каждый из которых однозначно соответствует определенной дальности до ПП. Но при этом интервал $\Delta F_{RD(j/j-1)}$ между ближайшими амплитудными максимумами на ДДЧ вида (3) составляет:

$$\Delta F_{RD(j/j-1)} = F_{RD(j)} - F_{RD(j-1)} = \left(\frac{2}{\lambda} V \right) (\cos \varphi_{(j)} - \cos \varphi_{(j-1)}) + S T_r = F_{D(j)} - F_{D(j-1)} + S T_r = \Delta F_{D(j/j-1)} + S T_r, \quad (4)$$

что при типичных для КНИ значениях ППИ и крутизны ЛЧМ обеспечивает ширину интервала (4), значительно превышающую суммарную ширину спектров ЛЧМ-сигналов от двух рассматриваемых ПП. Например, при ППИ 40 мкс и крутизне ЛЧМ 20 кГц/мс этот интервал составляет 800 Гц. Обеспечивается «различимость» этих ЛМА и ГМА в спектре МОЗ для каждого дискрета НЗС и при этом присутствует относительно широкие «прозрачные» полосы частот (сотни Гц), в которых возможно обнаружение сигнала цели, находящейся в ГЛ и имеющей такую комбинацию скорости, дальности и угловых параметров ВО, которые в соотношении, аналогичном (3), дадут ДДЧ сигнала цели, соответствующее одной из указанных «прозрачных» зон в спектре МОЗ.

2. При формировании МОЗ по разным направлениям БЛ возможны ситуации, когда их «следы» не пересекаются. Рассматривая выражение (4) для углов $\varphi_{(k)}$ и $\varphi_{(k+1)}$, соответственно, характеризующих направления на ближайшую границу следа k -го БЛ и наиболее удаленную границу следа $(k+1)$ -го БЛ, например, первого и второго БЛ в рассматриваемой ДН (см. рис. 1) определяется ширина диапазона «прозрачных» ДДЧ, обусловленного видом ДН в вертикальной (угломестной) плоскости и разными углами наклона осей для рассматриваемых БЛ. Такие интервалы «прозрачности» по ДДЧ далее обозначаются как «междупестковые»



или «МЛ-интервалы» ДДЧ. Интервалы «прозрачности» по ДДЧ, показанные в позиции 1, далее будут обозначаются как «внутрилепестковые» или «ВЛ-интервалы» ДДЧ.

3. При известных с высокой точностью траекторных параметрах ФЦА, определяемых МНС в штатном инерциально-спутниковом режиме, и известных параметрах угловой ширины и текущей ориентации ГЛ и БЛ, например, для рассматриваемой ДН РЛС (см рис.1) с калиброванными/юстированными характеристиками ДН, для спектров МОЗ при заданном КНИ с ЛЧМ в каждом дискрете НЗС в рабочей зоне ППИ обеспечивается возможность расчета (на базе соотношениям вида (3), 4)) границ для МЛ- и ВЛ-интервалов «прозрачных» ДДЧ, в рамках которых традиционными способами [1] может быть обнаружен ЛЧМ-сигнал ВО только «на фоне шумов», без воздействия пассивных помех от земли. При излучении РЛС бинарных ЛЧМ-пачек с различной крутизной для обнаруженной таким образом цели определяются дальность, радиальные составляющие скорости и ускорения сближения с РЛС, например, используя представленные в работах [2-7 и др.] методы измерения траекторных параметров ВО в РЛС при КНИ с ЛЧМ.
4. Процедуры обработки сигналов при решении задач наблюдения ВО на фоне МОЗ могут сочетаться с параллельной обработкой сигналов и для участков спектра МОЗ вне указанных диапазонов «прозрачных» ДДЧ, которая выполняется в интересах микронавигационных радиолокационных измерений параметров движения ФЦА, например, используя методы, представленные в работах [10-12 и др.].

Заключение

В сравнении с типовым КНИ при использовании пачек импульсов при КНИ с ЛЧМ происходит смещение и деформация («расщепление») спектра «мешающих» отражений от земли, в результате которых эти отражения приобретают информативность (в аспекте определения параметров микронавигации фазового центра антенны радара) и частичную «прозрачность» спектра – как наличие относительно широких диапазонов дальностно-доплеровских частот, в рамках которых потенциально обеспечивается возможность обнаружения ЛЧМ-сигнала малоскоростного объекта, находящегося в ближней зоне обзора воздушного пространства. Излучение бинарных с разной крутизной ЛЧМ позволяет измерить траекторные параметры (дальность, радиальные составляющие скорости и ускорения) объекта, обнаруженного в зонах прозрачности (просветах») на фоне мешающих отражений, базируясь на типовых методах, разработанных ранее для задач дальнего адаптивно-робастного наблюдения воздушных объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по радиолокации / Под ред. М. И. Сколника. Пер. с англ. под общей редакцией В. С. Вербы. В 2 книгах. Книга 1. – Москва: Техносфера, 2015. – 672 с.
2. *Kovregin V. N., Kovregina G. M.* Adaptive-robust methods for detecting, capturing and tracking hovering, low- and high-speed objects in integrated radar-inertial systems with quasi-continuous radiation. [Электронный ресурс] // 28th Saint-Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS). Saint-Petersburg, 2021. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9470845> (дата обращения: 17.10.2021)
3. *Kovregin V. N., Kovregina G. M., Murzaev A. S.* A Unified Method for Observation of an Air Object with a Complex Spectrum in Radar with Quasi-Continuous Radiation // 29th Saint-Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, State Research Center of the Russian Federation Concern CSRI Elektropribor. JSC. – Saint-Petersburg, 2022. – P. 56-59.
4. *Коврегин В. Н., Коврегина Г. М., Мурзаев А. С.* Адаптивно-робастное всеракурсное наблюдение разнотипных объектов в главном луче радара с квазинепрерывным



- ЛЧМ-излучением // Радиотехника. – 2023. – Т. 87 №1. – С 69–78. DOI: <https://doi.org/0.18127/j00338486-202301-00>
5. Пат. 28013193 РФ. Способ обнаружения, измерения дальности и скорости низколетящей малоскоростной цели в импульсно-доплеровских РЛС при высокой частоте повторения импульсов и инвертируемой ЛЧМ / Коврегин В. Н. (RU), Коврегина Г. М. (RU); приор. 25.05.2017; патентообладатель - Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (RU)
 6. Пат. 26929121 РФ. 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. (RU), Коврегина Г. М. (RU); приор. 13.02.2017; патентообладатель - Российская Федерация, от имени которой выступает Министерство промышленности и торговли Российской Федерации (RU).
 7. Пат. 2801393 РФ. Способ обнаружения, измерения дальностей, скоростей и ускорений нескольких малоскоростных низковысотных целей в главном луче импульсно-доплеровских радиолокаторов / Коврегин В. Н. (RU), Коврегина Г. М. (RU); приор. 19.12.2022; патентообладатель Федеральное государственное автономное образовательное учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» (RU).
 8. Chernodarov A. V., Patrikeev A. P., Kovregin V. N., Kovregina G. M. Using an inertial satellite navigation system for determination of motion parameters of the radar antenna phase center // 23rd Saint-Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, ICINS 2016 – Saint-Petersburg, 2016. – P. 315-323.
 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 «XXIX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам». – Санкт-Петербург, 2023 г. – С. 38-40.
 10. Коврегин В. Н. Автономная коррекция микронавигационной системы авиационного радара при организованных радиопомехах спутниковой навигации / В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина // Системный анализ и логистика. – 2023. – № 4(38). – с. 54 – 63. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-4-54-63.
 11. Kovregin V. N., Kovregina G. M. Method of combined micronavigation measurements in a quasi-continuous radiation radar during a survey of airspace against the back-ground of the earth // 31th Saint-Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems, State Research Center of the Russian Federation Concern CSRI Elektropribor. JSC. – Saint-Petersburg, 2024. – p. 223-226.
 12. Коврегин В. Н. Адаптивно-робастные методы сопутствующих микронавигационных измерений по мешающим отражениям при поиске/ наблюдении/ сопровождении низколетящей цели / В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина // Радиотехника. – 2024. – Т. 88 №1. – с. 91-104 DOI: <https://doi.org/10.18127/j00338486-202408-09>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Коврегин Валерий Николаевич

доцент, кандидат технических наук, старший научный сотрудник
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А
E-mail: kovregin@mail.ru



Коврегина Галина Михайловна

доцент, кандидат технических наук

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д.67, лит. А

E-mail: g_kovregina@mail.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kovregin Valery Nikolaevich

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: kovregin@mail.ru

Kovregina Galina Mikhailovna

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

67, Bolshaya Morskaia str., Saint-Petersburg, 190000, Russia

E-mail: g_kovregina@mail.ru