



## АВТОНОМНАЯ КОРРЕКЦИЯ МИКРОНАВИГАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АВИАЦИОННОГО РАДАРА ПРИ ОРГАНИЗОВАННЫХ РАДИОПОМЕХАХ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

**В. Н. Коврегин, Г. М. Коврегина**

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

*Предложен и исследован нетрадиционный метод измерения радиальной составляющей вектора скорости фазового центра антенны импульсно-доплеровского радара и расстояния до земной поверхности по направлению главного луча радара. Показана целесообразность и потенциальные возможности применения таких радиолокационных измерений при коррекции инерциального канала в типовых системах (микро)навигации авиационных РЛС, прежде всего, в условиях организованных радиопомех, приводящих к неработоспособности/снижению эффективности спутниковых навигационных систем, традиционно используемых как высокоточный позиционно-скоростной корректор в системах микронавигации радара, в также в штатных навигационных комплексах летательного аппарата – носителя РЛС.*

*Ключевые слова: импульсно-доплеровский радар; частотно-временные измерения; радиальная скорость, дальность до земли; инерциально-радиолокационные наблюдения; калмановская фильтрация.*

### **Для цитирования:**

*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.*

## AUTONOMOUS CORRECTION OF THE MICRONAVIGATION SYSTEM OF AN AIRCRAFT RADAR IN THE EVENT OF ORGANIZED RADIO INTERFERENCE WITH SATELLITE NAVIGATION

**V. N. Kovregin, G. M. Kovregina**

St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*An unconventional method for measuring the radial component of the velocity vector of the phase center of the pulse-Doppler radar antenna and the distance to the earth's surface in the direction of the main beam of the radar has been proposed and investigated. The feasibility and potential possibilities of using such radar measurements when correcting the inertial channel in (micro)navigation systems of aviation radars are shown, primarily in conditions of organized radio interference, leading to inoperability/significant reduction in the efficiency of satellite navigation systems.*

*Keywords: pulse-Doppler radar; time-frequency measurements; radial speed; distance to ground; inertial-radar observations; Kalman filtering, quasi-continuous emission, carrier wave chirp.*

### **For citation:**

*Kovregin V. N. Autonomous correction of the micronavigation system of an aircraft radar in the event of organized radio interference with satellite navigation / V. N. Kovregin, G. M. Kovregina // System analysis and logistics. – 2023. – № 4(38). – p. 54 – 63. DOI: 10.31799/2077-5687-2023-4-54-63.*

### **Введение**

В настоящее время в развитии авиационных многофункциональных радиолокаторов (РЛС) актуальной является проблема обеспечения требуемой точности определения параметров траектории фазового центра (ФЦА)/ориентации лучей диаграммы направленности антенны (ДНА) РЛС на интервалах: синтезировании апертуры антенны РЛС, необходимых для достижения (сверх)высокого разрешения при землеобзоре; длительного когерентного накопления сигнала при обзоре воздушного пространства в дальней зоне [1, 2]. Определение указанных параметров ФЦА/ДНА на относительно коротких (от долей до 1-2 десятков сек) традиционно обозначается как задача микронавигации РЛС и решается, как правило, на основе интегрированной в РЛС на аппаратном и алгоритмическом уровнях специализированной инерциально-спутниковой микронавигационной системы (МНС), взаимодействующей со штатным навигационным комплексом (НК) летательного аппарата (ЛА) – носителя РЛС [3-6].



В таких МНС основным режимом функционирования, обеспечивающим требуемую точность, является инерциально-спутниковый – с комплексной обработкой информации на основе калмановской фильтрации/компенсации систематических ошибок бесплатформенных инерциальных чувствительных элементов, размещенных около ФЦА, с использованием позиционно-скоростной корректирующей информации от бортовой аппаратуры потребителя спутниковой навигационной системы (СНС) с антеннами, расположенными также вблизи ФЦА радара. Однако, в условиях организованных помех типовая аппаратура СНС в МНС, а также в НК, практически неработоспособна. В такой ситуации МНС функционирует в режиме автономной инерциальной микронавигации с быстро нарастающей погрешностью. При этом существенно снижаются показатели эффективности РЛС. Практически актуальным является исследование возможностей обеспечения помехоустойчивой и достаточно точной коррекции инерциального канала МНС в условиях неработоспособности или низкой точности каналов СНС. Как показали предварительные исследования, использование с этой целью комплексной информации от НК ЛА затруднено, поскольку: при помехах СНС точность данных от НК также существенно ухудшается; измерительные центры датчиков первичной информации НК значительно удалены от ФЦА и инерциальных датчиков МНС; ширина полосы пропускания датчиков НК значительно меньше, чем требуемая для микронавигации; комплексирование инерциального канала МНС с комплексной информацией от НК (по сути, вторичное комплексирование) связано с нарушением корректности при постановке задачи калмановской фильтрации, что ведет к практической расходимости ошибок фильтрации; при обмене информацией «МНС↔НК» возникают неприемлемые запаздывания, асинхронность моментов измерения/съема информации, причем учет/компенсация таких фазовых искажений, как правило, не представляется возможным. Также рассматривалось комплексирование МНС и типового доплеровского измерителя скорости и угла сноса (ДИСС) – из состава штатного НК ЛА – при поступлении корректирующей информации непосредственно от ДИСС [3]. При неработоспособности и/или сбоях в СНС-каналах такое комплексирование позволяет сохранить работоспособность МНС, но при этом точность микронавигации ФЦА в сравнении с инерциально-спутниковым режимом (при нормальной работе СНС) снижается в 2-3 раза. Это обусловлено как уровнем потенциальной точности ДИСС, так и вышеуказанными для НК факторами, включая задержки при измерениях, информационном обмене, рассредоточение измерительных центров МНС и ДИСС. Следует отметить, что сама РЛС потенциально может быть источником высокоточной измерительной информации по ориентации и/или скорости, причем скорости именно ФЦА. Например, известно [1], что в РЛС с разностным каналом точность измерения радиальной скорости по заданному направлению главного луча (ГЛ) моноимпульсным способом потенциально может составлять 0,001 м/с. Следовательно, целесообразно рассмотрение возможностей применения РЛС как автономного корректора для собственной «встроенной» МНС, более помехоустойчивого в сравнении с аппаратурой СНС и соизмеримого с ней по уровню точности. *Цель работы* – представление метода и оценок точности определения траекторных параметров ФЦА РЛС на основе частотно-временных радиолокационных измерений, выполняемых в рамках типового режима квазинепрерывного излучения импульсно-доплеровской РЛС X-диапазона длин волн с высокой-средней частотой повторения импульсов (ЧПИ) 60-100 кГц [1] и при меньших ЧПИ (40-60 кГц), т. е. до верхней границы для режима средней ЧПИ (10-40 кГц) [1]. *Прагматическая цель* – реализация радиолокационного канала коррекции МНС, совмещаемой с решением задач класса «воздух – воздух» в указанных режимах излучения РЛС при направлении главного луча (ГЛ) вниз.

### **Основная часть**

При использовании РЛС в качестве корректора для МНС этой РЛС возможны ситуации:

- РЛС не задействована для решения основных задач при обзоре земной поверхности (ОЗП) и воздушного пространства (ОВП) и может использоваться только в интересах коррекции МНС;



- РЛС используется как корректирующий датчик МНС совместно с решением задач ОЗП/ОВП, т. е. «на фоне» решения основных функциональных задач.

Большой практический и научный интерес представляет исследование возможностей совмещенного решения основной задачи РЛС и радиолокационных измерений для микронавигации. В рамках этой работы рассматривается микронавигационное применение РЛС, совмещаемое с задачами ОВП при квазинепрерывном излучения в указанных диапазонах ЧПИ. При этом ось узкого ГЛ радара направлена к земле. Задача состоит в том, чтобы при таком режиме излучения РЛС обеспечить измерение/оценивание радиальной составляющей скорости ФЦА по направлению ГЛ, а также дальности от ФЦА до земли по этому направлению (см. рис.1). Узкий ГЛ (см. рис.2) – эллиптический конус с шириной в нормальной (угломестной) плоскости не более нескольких градусов и с азимутальной шириной, в несколько раз меньше угломестной. Облучаемая ГЛ земная поверхность («след» ГЛ) – сечение этого конуса наклонной плоскостью, под которой подразумевается плоская земная поверхность с однородным характером отражения. В рассматриваемом «след» ГЛ – ограниченный фрагмент поверхности, т. е. угол наклона оси ГЛ больше половинной угломестной ширины ГЛ (см. рис.3).

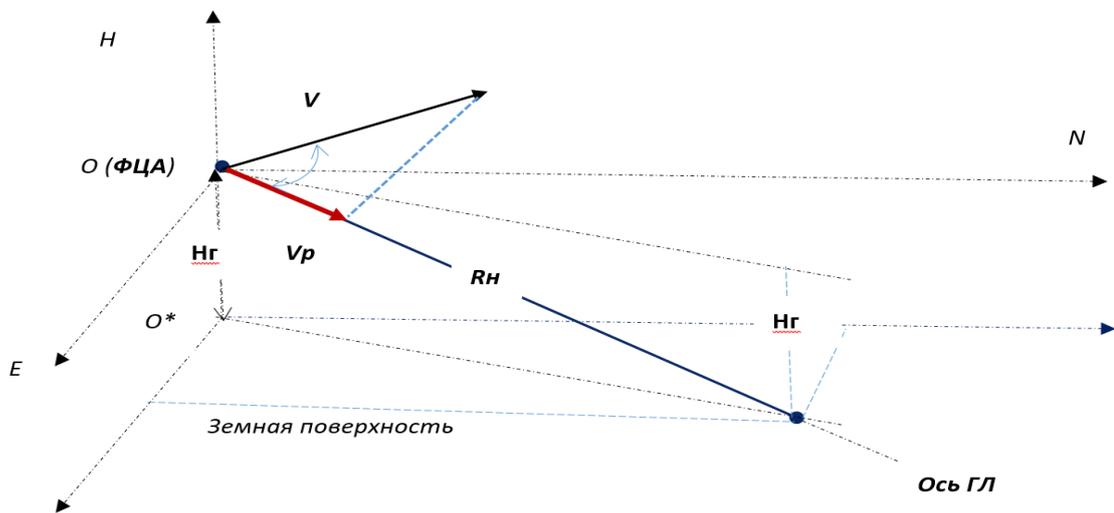


Рис. 1. Радиальная составляющая  $V_r$  траекторной скорости  $V$  ФЦА, дальность  $R_n$  от ФЦА с геометрической высотой  $H_o$  до земной поверхности  $R_n$  по заданному направлению ГЛ в навигационной (геодезической) системе координат  $OENH$  (НСК)

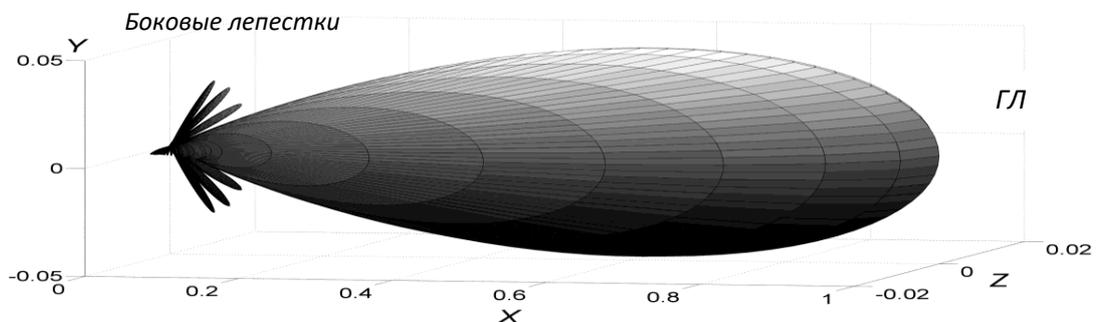


Рис. 2. Вид пространственной ДНА в антенной системе координат  $OXYZ$

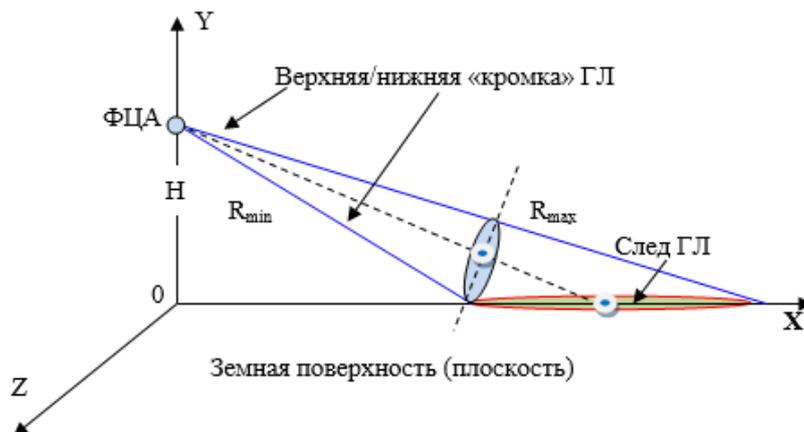


Рис. 3. Пространственно-ограниченный «след» ГЛ на подстилающей земной поверхности

Как известно [1, 2], в общем случае спектр отражений от земли является функцией доплеровской частоты и дальности, но при достаточно высокой ЧПИ  $F_r$  он становится практически независимым от дальности – вследствие «наложения» эхосигналов от различных изодальей на облучаемой поверхности, удаленных друг от друга на расстояния, зависящие от периода повторения импульсов (ППИ)  $T_r = 1/F_r$ . Мощные отражения от «следа» ГЛ, а также от «следов» боковых лепестков (БЛ) и по линии высоты (альтиметровых помех) наблюдаются во всех элементах разрешения по дальности – дискретах дальности (ДД) в «рабочей» зоне ППИ вне зон бланкирования приемника. После режекции альтиметровых помех и других типовых процедур первичной обработки сигнала максимум амплитуды после быстрого преобразования Фурье (БПФ) в каждом ДД будет соответствовать спектру отражений по ГЛ. Характерный вид спектра реального эхосигнала от земли в разных ДД показан на рис. 4.



Рис. 4. Амплитуды эхосигнала от земли в разных ДД при ВЧП и движении ЛА

Анализ спектров эхосигналов, полученных в 20 натуральных экспериментах, показал, что спектры отражений от земли, в целом, и по направлению ГЛ, в частности, во всех ДД имеют приблизительно одинаковую форму, а максимальные амплитуды, рассматриваемые по всем ДД, варьируются в узком диапазоне частот/номеров фильтров, соответствующем расчетной радиальной скорости ФЦА по направлению оси ГЛ, вычисленной по данным от МНС при нормальном функционировании ее СНС-каналов. Например, при геометрической высоте ФЦА 646,75 м, расчетных значениях азимута и угла места в НСК  $-88.875368^\circ$  и  $-4.494520^\circ$ , соответственно, и проекциях траекторной скорости  $V_E = -31.2$  м/с,  $V_N = 1.2$  м/с,  $V_H = 0$  м/с получена оценка радиальной скорости ФЦА 31.122 м/с и соответствующая ей доплеровская частота при ППИ  $T_r \approx 12$  мкс и базе БПФ  $N_{\text{БПФ}} = 4096$  соответствует номеру фильтра  $n_f = 91$ . На рис. 5 приведены результаты обработки сигналов и амплитудно-частотные измерения, полученные в натурном эксперименте при вышеуказанных условиях.

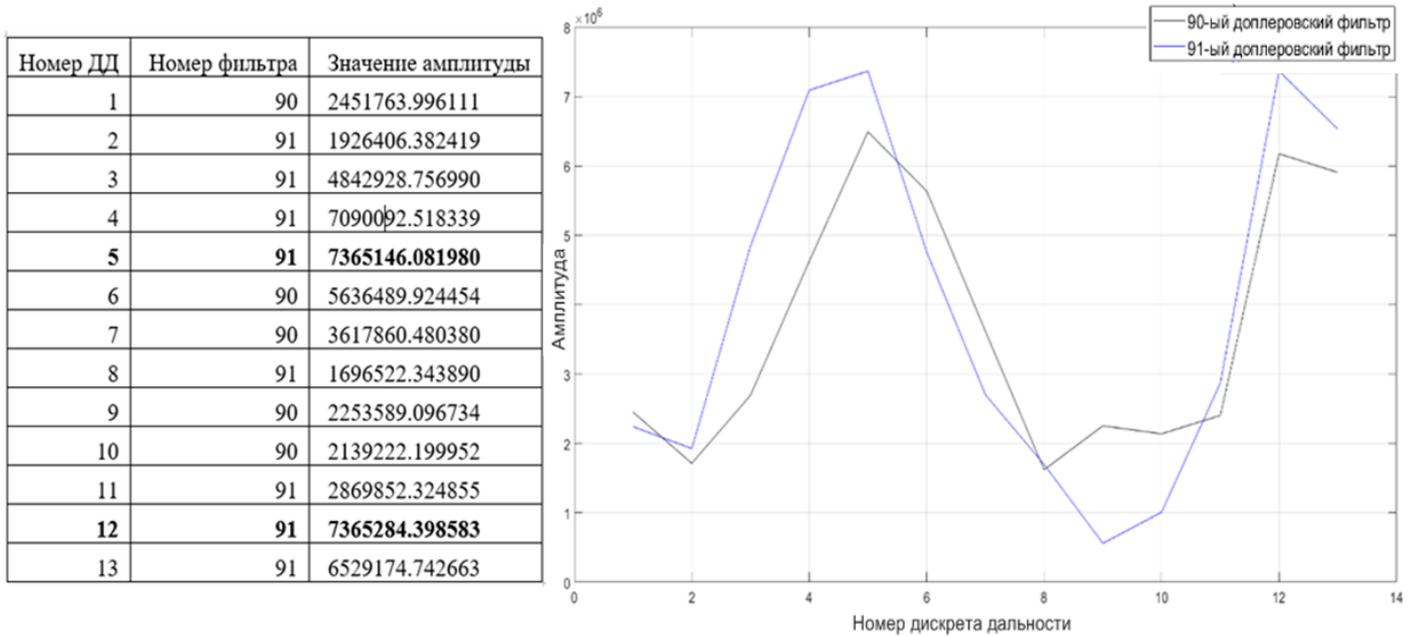


Рис. 5. Амплитуды эхосигнала от земли в разных ДД при ВЧП и движении ЛА

Можно видеть, что по всем ДД вариации номеров фильтров с максимумом амплитуды сигнала укладываются в ширину двух фильтров, причем номера фильтров, определенные по измерениям в большинстве ДД (в 8 из 13) совпадают с рассчитанным по данным от МНС номером фильтра. Ширина фильтра  $\Delta f = F_r / N_{\text{БПФ}}$ . При гипотезе о равномерном распределении ошибок частотных измерений на интервале  $2\Delta f$  их среднеквадратическое отклонение (СКО)

$$\sigma_f = \sqrt{(2\Delta f)^2 / 12} = \Delta f / \sqrt{3} \approx 0,577\Delta f. \quad (1)$$

В рассматриваемом примере  $\Delta f \approx 20$  Гц. При длине волны  $\lambda=3$  см СКО для ошибок измерения/ оценивания радиальной скорости составит  $\approx 0,17$  м/с. Очевидно, что инструментальная точность измерения может быть улучшена при снижении ЧПИ и/или увеличении базы БПФ. Ширина спектра доплеровского сигнала зависит от угловых размеров ГЛ, ограничивающих вариацию текущей радиальной скорости по различным направлениям в пределах пространства ГЛ. В целом же, измерения радиальной скорости ФЦА по потенциальной точности уступают СНС-каналам МНС, но в условиях, организованных для СНС помех, тем не менее, могут быть использованы для коррекции инерциального канала МНС.

Однако, при интеграции МНС и РЛС существуют методические возможности для повышения точности по радиальной скорости ФЦА, а также расширения информативности частотно-временных измерений за счет определения дальности до земли по текущему фактическому направлению оси ГЛ и угла наклона оси ГЛ.

Рассмотрим протяженность  $L$  следа ГЛ на плоской земной поверхности:

$$L = L_k - L_n; \quad (2)$$

$$L_k = R_k \cos(\beta - \Delta\beta) = \frac{c}{2}(r_k T_r + \tau_k) \cos(\beta - \Delta\beta) = \left(\frac{H}{\sin(\beta - \Delta\beta)}\right) \cos(\beta - \Delta\beta) = H \operatorname{ctg}(\beta - \Delta\beta); \quad (3)$$

$$L_n = R_n \cos(\beta + \Delta\beta) = \frac{c}{2}(r_n T_r + \tau_n) \cos(\beta + \Delta\beta) = \left(\frac{H}{\sin(\beta + \Delta\beta)}\right) \cos(\beta + \Delta\beta) = H \operatorname{ctg}(\beta + \Delta\beta), \quad (4)$$

где  $\beta$  и  $\Delta\beta$  - угол наклона и половина угломестной ширины ГЛ;  $R_k$  и  $R_n$  - максимальная и минимальная дальность от ФЦА (до дальней и ближней границы «следа» ГЛ, соответственно по направлениям верхней и нижней кромки ГЛ);  $H$  - геометрическая высота ФЦА (при



плоской поверхности);  $c$  – скорость радиоволны;  $r_n, \tau_n$  – индекс ППИ, неоднозначная задержка эхосигнала в ППИ, соответствующие произвольной наклонной дальности от ФЦА до земли

$$R_n = \frac{c}{2}(r_n T_r + \tau_n) = \frac{H}{\sin \beta_n} \quad (5)$$

При относительно длинном следе, когда  $\Delta r = r_k - r_n \gg 1$ , в каждом ДД в рамках ППИ наблюдается векторное суммирование («наложение») эхосигналов различной интенсивности от большого количества разнесенных элементарных участков. Площадь  $dA$  каждого такого участка определяется пересечением изодали с шириной, зависящей от элемента разрешения дальности, со следом ГЛ. Отношение  $C/N$  сигнала  $C$  от участка на дальности  $R$  к шуму  $N$  [1,2]:

$$C/N = \frac{P_{AVE} G_T G_R \lambda^2 \sigma^o dA}{(4\pi)^3 R^4 L_C k T_S B_n} \quad (6)$$

где  $P_{AVE}$  – средняя мощность передатчика;  $G_T$  и  $G_R$  – коэффициент усиления передающей и приемной антенны в направлении участка, соответственно;  $\sigma^o$  – коэффициент обратного рассеяния;  $L_C$  – сопутствующие потери;  $k$  – постоянная Больцмана;  $T_S$  – шумовая температура системы;  $B_n = \Delta f$  – ширина доплеровского фильтра. При этом площадь участка:

$dA = \frac{c\tau_{pulse}}{2 \cos \alpha} R \theta_\alpha$ , где  $\tau_{pulse}$  – длительность импульса;  $\alpha$  – угол скольжения на участке;  $\theta_\alpha$  – ширина ГЛ ДНА по азимуту на уровне половинной мощности. Отношение  $C/N$  в одном видимом ДД получается суммированием по всем неоднозначным ДД в пределах ГЛ [1,2].

$$C/N = \frac{P_{AVE} \lambda^2 \theta_\alpha (c\tau_{pulse} / 2)}{(4\pi)^3 R^4 L_C k T_S B_n} \sum \frac{G_T G_R \sigma^o}{R^3 \cos \alpha} \quad (7)$$

где пределы суммирования – это нижний и верхний края ГЛ по углу места. Как следствие, «глобальный» максимум, определяемый по всем ДД в рабочей зоне ППИ, нестабилен, может наблюдаться в общем случае произвольно, а не только в том ДД, который соответствует направлению оси ГЛ (например, см. рис. 5). В такой ситуации ДД с глобальным максимумом, по сути, неинформативен с точки зрения дальности и возможна оценка только доплеровской частоты/скорости, точность которой может быть улучшена, например, путем усреднения частотных измерений по всем ДД в ППИ.

Однако, возможна ситуация, когда дальность  $R$  до земли по направлению оси ГЛ (направлению максимума), определяемая по соотношению (5), дает значение неоднозначной задержки сигнала  $\tau$  в рабочей зоне ППИ, например, в середине (см. рис. 6), а разница значений максимальной  $R_{max} = R_k$  и минимальной  $R_{min} = R_n$  дальностей до земли в границах ГЛ не превышает расстояния  $\Delta R \approx (c/2)T_r$ .

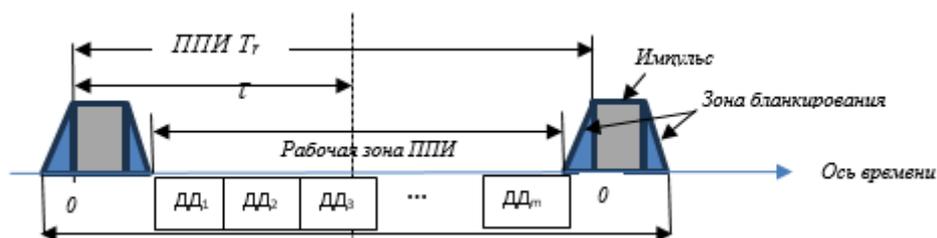


Рис. 6. Рабочая зона, зоны бланкирования приемника и положение задержки эхосигнала по направлению оси ГЛ в ППИ



В такой ситуации «наложение» сигналов от нескольких неоднозначных дальностей отсутствует и наблюдается явно выраженный глобальный максимум в одном из ДД в рабочей зоне ППИ (см. рис.7).

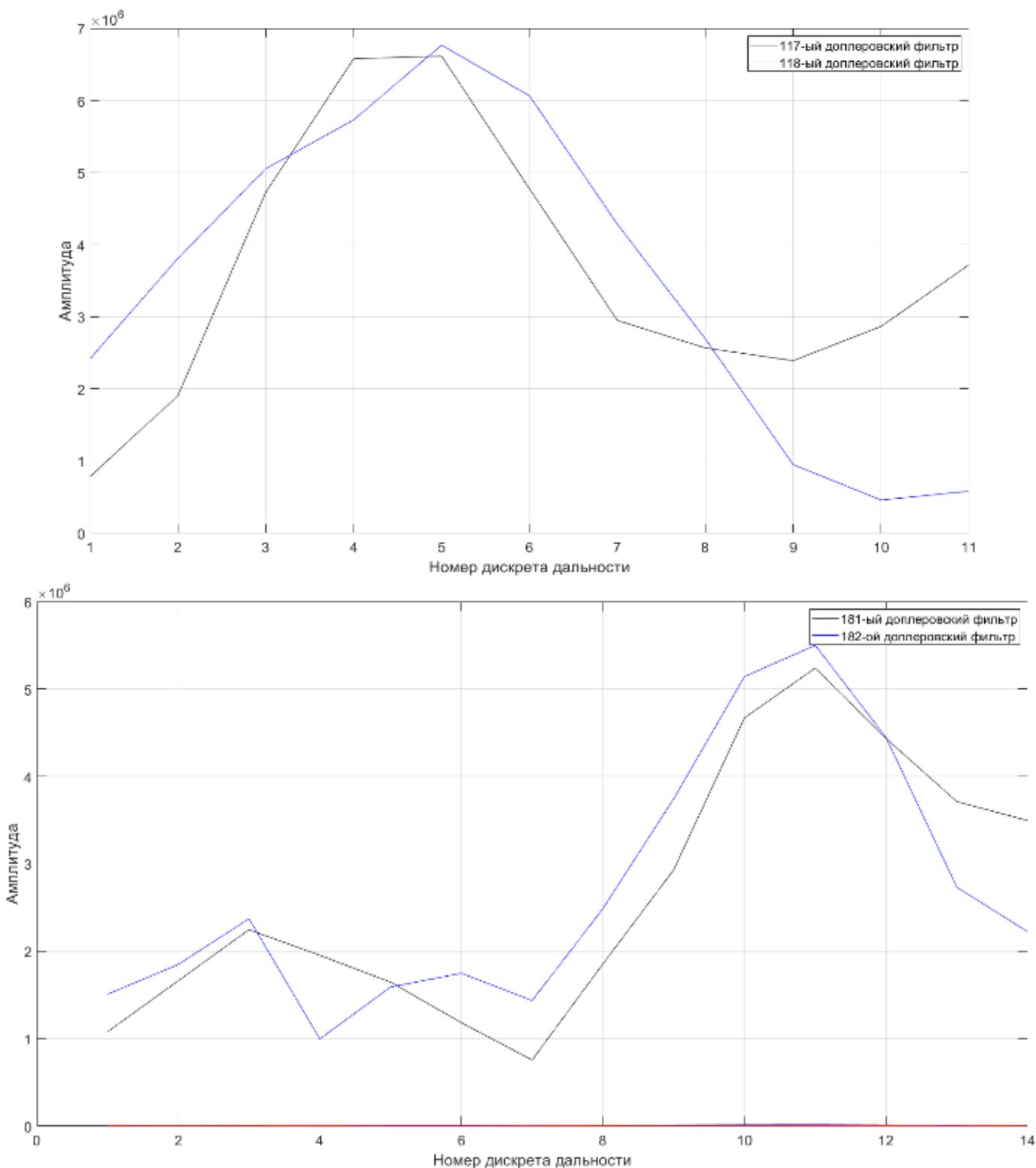


Рис. 7. Явно выраженные глобальные максимумы амплитуд сигналов, наблюдаемые в 5-м (слева) и в 11-м (справа) дискретах дальности в полосе из двух доплеровских фильтров (по данным натурального эксперимента)



При этом номер ДД с глобальным максимумом и соответствующее ему значение оценки неоднозначной задержки  $\tau^*$  уже становится информативными в аспекте измеренной дальности вида (5) при известном индексе  $r$  и значении ППИ  $T_r$  – дальности до фрагмента изодали на следе ГЛ с наиболее мощным эхо-сигналом. При предположениях о плоскости и равномерном характере отражающей поверхности земли эта дальность будет соответствовать дальности по действительному направлению максимума ГЛ, а измеренная доплеровская частота будет обусловлена радиальной составляющей скорости ФЦА именно по этому направлению. При вышеуказанных предположениях из соотношения (5) при известной высоте ФЦА  $H$ , измеренной дальности  $R$  получается выражение для угла места  $\beta^*$  оси ГЛ:

$$\beta^* = \arcsin\left(\frac{H}{R}\right) = \arcsin\left(\frac{2H}{c[rT_r + \tau^*]}\right), \quad (8)$$

т. е. в дальномерном измерении присутствует и информация о текущей ориентации оси ГЛ.

Следует отметить, что к моменту начала излучения пачки зондирующих импульсов с использованием текущей информации МНС радара, при заданной азимутальной ориентации оси ГЛ и максимальном значении ППИ  $T_{r \max}$  (с учетом ограничений режима ВЧП-излучения и многоканальной обработки сигнала) может быть определен диапазон возможных значений для угла места оси ГЛ, в рамках которого выполняется условие в виде

$$\Delta R = R_{\max} - R_{\min} < (c/2)T_{r \max} \quad (9) \text{ или в виде } \frac{1}{\sin(\beta - \Delta\beta)} - \frac{1}{\sin(\beta + \Delta\beta)} < (c/2H)T_{r \max}, \quad (10)$$

где половинная ширина ГЛ  $\Delta\beta$  и все параметры в правой части выражения (10) известны. Очевидно, что это условие даже при узком ГЛ может выполняться при определенных ограничениях высоты ФЦА. Например, при  $H=600$  м,  $T_{r \max} = 25$  мкс (3750 м),  $\beta = 10^\circ$ ,  $\Delta\beta = 4^\circ$  неравенство (9) выполняется, т. к.  $\Delta R = 3260$  м  $<$  3750 м, а при удвоенной высоте  $H=1200$  м нарушается, поскольку  $\Delta R = 6520$  м.

Кроме того, по данным МНС определяется индекс ППИ и прогнозируется положение неоднозначной задержки  $\tau$  в ППИ. Ее «желательное» положение - в центре рабочей зоны ППИ, причем абсолютная ошибка  $\delta\tau$  прогнозирования  $\tau$  зависит от угла места оси ГЛ, дальности до земли по направлению оси ГЛ и ошибок МНС по высоте и углу места оси ГЛ:

$$\pm\delta\tau = \pm\frac{2}{c}\left[R\text{ctg}\beta(\delta\beta) + \frac{\delta H}{\sin\beta}\right], \quad (11)$$

где  $\delta\beta$  - ошибка по углу места [рад];  $\delta H$  - ошибка по высоте, обусловленная погрешностями измерения и неучтенным рельефом поверхности. Наряду с выполнением условия вида (9) или (10) для гарантированного попадания  $\tau$  в рабочую зону ППИ шириной  $L_{wz}$  необходимо, чтобы

$$\delta\tau < 0,5 L_{wz}. \quad (12)$$

Важно отметить, что положением неоднозначной задержки  $\tau$  в ППИ можно управлять путем изменения угла места оси ГЛ и, следовательно, дальности до земли, и/или значения ППИ (в случаях, когда индекс ППИ больше нуля).



## Заключение

Таким образом, на основе текущих данных от МНС при уже заданных управляющим алгоритмом РЛС параметрах излучения/ориентации ГЛ – для решения РЛС задач ОВП в нижней полусфере – может быть проверено: попадание расчетного значения  $\tau$  в рабочую зону ППИ; выполнение критериев (9)-(12), обеспечивающих гарантированную наблюдаемость в рабочей зоне ППИ дискрета дальности с глобальным максимумом. Также рассчитываются априорные оценки положения центра и ширины спектра сигнала следа ГЛ и соответственно назначаются рабочие номера доплеровских фильтров для дальнейшей обработки сигнала в интересах микронавигационных измерений. Вне этих фильтров выполняется типовая режекция пассивных помех по боковым лепесткам ДНА, и обработка в традиционном для задачи ОВП рабочем диапазоне частот/радиальных скоростей для обнаруживаемых РЛС воздушных объектов. В том же случае, если критерии (9)-(12) не выполняются, то оценивается только средняя доплеровская частота – путем усреднения спектров по всем ДД, определения максимальной амплитуды усредненного спектра и соответствующего ей номера фильтра. При выполнении же критериев (9)-(12) на основе измерения/оценки  $\tau$  и определенного по данным от МНС индекса ППИ по выражениям вида (5) и (8) определяется дальность до земли и угол места по направлению оси ГЛ, а доплеровская частота/радиальная скорость по этому направлению определяется по номеру фильтра, в котором наблюдался глобальный максимум для всех ДД в ППИ. В тех ситуациях, когда управление параметрами излучения/обработки сигналов в РЛС в интересах микронавигации ФЦА является возможным, перед излучением осуществляется расчет такой комбинации параметров ориентации оси ГЛ, ППИ, количества импульсов в пачке, при которых выполняются критерии (9)-(12) и достигается наилучшая точность при измерениях доплеровской частоты/радиальной скорости, дальности и угла места.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского Научного Фонда, проект № 22-19-00058.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Справочник по радиолокации. В 2-х кн. / Под ред. М.И. Сколника: Пер. с англ. под общ. ред. В.С. Вербы. Кн. 1. – М.: Техносфера, 2015. – 672 с.
2. Дудник, П. И. Авиационные радиолокационные комплексы и системы / П. И. Дудник [и др.] – М.: Изд. ВВИА им. проф. Н. Е. Жуковского, 2006. – 1112 с.
3. Чернодаров А. В., Патрикеев А. П., Коврегин В. Н., Коврегина Г. М. Использование инерциально-спутниковой навигационной системы для определения параметров движения фазового центра антенны радиолокатора // XXIII Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. СПб: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор». – Санкт-Петербург, 2016. – С. 266 - 274.
4. Чернодаров А. В., Коврегин В. Н., Коврегина Г. М. Инерциально-спутниковая система микронавигации для радиолокатора с синтезированной апертурой и доплеровским каналом измерения траекторной скорости Коврегина // XXX Санкт-Петербургская международная конференция по интегрированным навигационным системам. ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электронприбор». – Санкт-Петербург, 2023. – с. 38 - 41.
5. Kovregin V, Kovregina G. 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] // Saint Petersburg International Conference on Integrated Navigation Systems (ICINS). 2021. 28<sup>th</sup>. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9470845> (дата обращения: 17.10.2021).
6. 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.

### **ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ**

**Коврегин Валерий Николаевич –**

доцент, кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения  
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  
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 Morskaya 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 Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, Russia  
E-mail: g\_kovregina@mail.ru