



<http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-6-53-60>

Оригинальная статья  
Original paper

УДК 621.396.96

## ЗАЩИТА ОТ ИМИТИРУЮЩИХ ПОМЕХ НА ОСНОВЕ КОГЕРЕНТНОГО НАКОПЛЕНИЯ И ИМПУЛЬСНОГО ЗОНДИРУЮЩЕГО СИГНАЛА СО СЛУЧАЙНОЙ НАЧАЛЬНОЙ ФАЗОЙ

С. Р. ГЕЙСТЕР<sup>1</sup>, ЦЯНЬЛАНЬ ХУАН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ОАО «АЛЕВКУРП» (г. Минск, Республика Беларусь)

<sup>2</sup>Национальный университет оборонных технологий (г. Чанша, Китайская Народная Республика)

Поступила в редакцию 30.06.2023

© Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2023  
Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, 2023

**Аннотация.** Противоборство радиолокационных станций и систем радиоэлектронного подавления приводит к постоянному совершенствованию обеих противодействующих сторон на все более высоком уровне по мере развития электроники. Противоборство многогранно, поэтому успех каждой из этих сторон определяется в первую очередь полнотой анализа и правильностью принимаемых системных решений. Иногда в погоне за качеством принимаются решения, дающие успех в одном и провал в другом. Одним из таких примеров является переход к построению радиолокационных станций на принципах истинной когерентности. В статье показана проблема защиты радиолокационных станций с истинной когерентностью от имитирующих помех. Представлен способ защиты от «ближних» имитирующих помех, являющихся наиболее опасными и формируемых между радиолокационной станцией и летательным аппаратом, оснащенным системой радиоэлектронного подавления. Способ основан на сочетании импульсного зондирующего сигнала со случайной начальной фазой и когерентного межпериодного накопления принятого сигнала.

**Ключевые слова:** защита радиолокатора, имитирующие помехи, зондирующий сигнал, случайная начальная фаза.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования.** Гейстер, С. Р. Защита от имитирующих помех на основе когерентного накопления и импульсного зондирующего сигнала со случайной начальной фазой / С. Р. Гейстер, Цяньлань Хуан // Доклады БГУИР. 2023. Т. 21, № 6. С. 53–60. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-6-53-60>.

## PROTECTION AGAINST SIMULATING INTERFERENCE BASED ON COHERENT STORAGE AND PULSED PROBING SIGNAL WITH A RANDOM INITIAL PHASE

SERGEY R. HEISTER, QIANLAN HUANG

<sup>1</sup>JSC “ALEVKURP” (Minsk, Republic of Belarus)

National University of Defense Technology (Changsha, People’s Republic of China)

Submitted 30.06.2023

**Abstract.** The confrontation between radar stations and radio electronic countermeasure systems leads to constant advancements on both sides as electronics continue to develop. This multifaceted confrontation determines the success of each side primarily based on the comprehensiveness of analysis and the correctness of the adopted

system decisions. Occasionally, decisions are made in pursuit of quality, resulting in success in one aspect but failure in another. One such example is the transition to building radar stations based on true coherence principles. This work highlights the issue of protecting radar stations with true coherence from simulative interference. A method is presented for protecting against “near” simulative interference, which is the most dangerous and is generated between the radar stations and an aerial vehicle equipped with a radio electronic countermeasure systems. The method is based on combining an impulse probing signal with a random initial phase and coherent inter-period accumulation of the received signal.

**Keywords:** radar protection, simulating interference, probing signal, random initial phase.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

**For citation.** Heister S. R., Qianlan Huang (2023) Protection Against Simulating Interference Based on Coherent Storage and Pulsed Probing Signal with a Random Initial Phase. *Doklady BGUIR*. 21 (6), 53–60. <http://dx.doi.org/10.35596/1729-7648-2023-21-6-53-60> (in Russian).

## Введение

Когерентная межпериодная обработка принятого сигнала включает когерентную компенсацию мешающих отражений и когерентное межпериодное накопление. Когерентное межпериодное накопление (спектральный анализ) принятого сигнала существенно повышает помехозащищенность радиолокационной станции (РЛС) при воздействии активных шумовых помех и радиотехническую скрытность РЛС в целом.

За последние 50–70 лет выполнен переход от передатчиков генераторного типа (например, на основе магнетрона) к передатчикам типа «усилительная цепочка», использующим высокостабильный задающий генератор. Мешающие отражения от местных предметов, гидрометеоров и дипольных отражателей могут быть скомпенсированы [1] только при обеспечении межпериодной когерентности принятых мешающих отражений:

– в РЛС с передатчиком генераторного типа (в РЛС с псевдокогерентностью) это обеспечивается путем фазирования гетеродина приемника мощным сигналом мешающих отражений или зондирующим сигналом (ЗС), часть которого ответвляется в цепь фазирования;

– в РЛС с передатчиком типа «усилительная цепочка» (в РЛС с истинной когерентностью) с высокостабильным генератором, сигнал которого используется для формирования гетеродинового сигнала.

В результате перехода к РЛС с истинной когерентностью было обеспечено создание высокопотенциальных РЛС с квазинепрерывным ЗС, имеющим высокую защищенность от мешающих отражений. Однако квазинепрерывный сигнал, наряду с существенными достоинствами, имеет ряд недостатков. Во-первых, невозможность изменения параметров ЗС (несущей частоты, периода повторения, параметров внутриимпульсной модуляции) в течение интервала когерентного накопления. Это обусловлено тем, что любые изменения характеристик квазинепрерывного зондирующего сигнала вызывают изменения межпериодной структуры мешающих отражений, принятых с разных интервалов однозначности по дальности, с соответствующим снижением качества компенсации. Во-вторых, фиксированные параметры ЗС в течение интервала когерентного накопления позволяют постановщику помех сформировать наиболее проблемные «ближние» имитирующие помехи в интервале между РЛС и постановщиком.

Таким образом, переход в РЛС к «истинной» когерентности исключил из системного проектирования РЛС саму мысль о возможности использования случайной начальной фазы ЗС в интересах защиты от помех. Целесообразность применения случайной начальной фазы в импульсном зондирующем сигнале для защиты от имитирующих помех была определена и предложена для использования в некогерентных РЛС с фазированием когерентного гетеродина тракта приема профессором С. Р. Гейстером более 20 лет назад.

В настоящее время уровень защиты РЛС от имитирующих помех с когерентным ЗС остается низким [2], что обусловлено высоким качеством воспроизведения зондирующего сигнала современными системами радиоэлектронного подавления (РЭП), использующими технологию «память на радиочастоте». Поэтому проблема защиты РЛС от имитирующих помех по-прежнему крайне актуальна, поскольку именно эти помехи приводят к наиболее существенному нарушению функционирования РЛС на этапах обнаружения и сопровождения.

В статье защита от имитирующих помех рассматривается на примере наиболее общего варианта, которым являются многократные имитирующие помехи (МИП). Эти помехи предназначены для введения в РЛС дезинформации о наличии, количестве и местоположении обнаруживаемых объектов [3–5]. Рассмотрим случай формирования МИП с реального объекта современным типовым передатчиком помех, представляющим собой ретранслятор с набором каналов задержки на управляемых линиях задержки, реализованных в цифровом виде на радиочастоте. В этих каналах одновременно возможно использование фазовых модуляторов, предназначенных для имитации доплеровского частотного сдвига. В результате воздействия МИП в обнаружителе РЛС на различных дальностях формируются сигналы обнаружения реально не существующих ложных объектов, которые могут быть расположены перед реальным объектом («ближние» МИП) или за ним («дальние» МИП). Доплеровские частоты МИП также отличаются.

### Математическая модель временной структуры многократной имитирующей помехи

Для формирования «дальних» МИП необходимо задержать ЗС в ретрансляторе реального объекта на интервал времени, сумма которого с удвоенным временем распространения меньше периода повторения зондирующих сигналов. Формирование «ближних» МИП происходит при задержке на интервал времени, сумма которого с удвоенным временем распространения больше периода повторения. Сигналы МИП, принятые РЛС, описываются выражением

$$\mathfrak{S}_g(t) = E_{I_g}(t)U_L(t - t_{I_g}) \exp(i((\omega_0 + \Omega_{ds})t + \phi_{I_g}(t))), \quad (1)$$

где  $E_{I_g}(t)$ ,  $\phi_{I_g}(t)$  – законы изменения амплитуды и начальной фазы  $g$ -й МИП;  $U_L(t) = \sum_{l=1}^L U_{0l} \left( t - \sum_{l \geq 2, q=1}^{l-1} T_{rq} \right) \exp(i(\Delta\omega_l t + \phi_l))$  – комплексный закон модуляции пачки из  $L$  одиночных зондирующих сигналов;  $U_{0l} \left( t - \sum_{l \geq 2, q=1}^{l-1} T_{rq} \right)$  – комплексный закон модуляции;  $\phi_l$ ,  $\Delta\omega_l$  – начальная фаза и дополнительный (при условии его реализации) частотный сдвиг  $l$ -го одиночного ЗС;  $T_{rq}$  – период повторения  $(q + 1)$ -го зондирующего импульса (временной интервал между  $q$ -м и  $(q + 1)$ -м импульсами), причем первый зондирующий импульс начинает излучаться в момент времени  $t = 0$ ;  $t_{I_g} = 2r_l/c + \Delta t_g$  – абсолютная задержка  $g$ -й МИП, включающая удвоенное время прохождения ЗС к объекту на радиальной дальности  $r_l$ , а также задержку в ретрансляторе  $\Delta t_g$  (относительно прихода зондирующего сигнала, из которого формируется помеха)  $g$ -й МИП, имитирующую сдвиг МИП по дальности на величину  $\Delta r_g = \Delta t_g c/2$ ;  $\omega_0 = 2\pi f_0$  – круговая средняя несущая частота ЗС;  $\Omega_{ds} = 2\pi \frac{2v_r}{\lambda} = 2\pi f_{ds}$  – доплеровская частота ретранслированного сигнала за счет передвижения ретранслятора на реальном объекте с радиальной скоростью  $v_r$  относительно РЛС;  $\lambda = 2\pi c/(\omega_0 + \Delta\omega_l)$  – длина волны  $l$ -го ЗС;  $G$  – число МИП.

При постановке «дальних» МИП в каждом  $l$ -м зондировании выполняется условие

$$0 \leq \Delta t_g < (T_{rl} - 2r_l/c), \quad (2)$$

где  $\Delta t_g = (T_{rl} - 2r_l/c) - \delta t_g$ ;  $\delta t_g$  – относительный сдвиг по времени  $g$ -й МИП, удовлетворяющий условию  $\delta t_g \leq T_{rl} - 2r_l/c$ .

При постановке «ближних» МИП задержка  $l$ -го зондирующего сигнала в ретрансляторе удовлетворяет условию

$$T_{rl} - 2r_l/c < \Delta t_g \leq T_{rl}, \quad (3)$$

где

$$\Delta t_g = (T_{rl} - 2r_l/c) + \delta t_g; \quad (4)$$

$\delta t_g$  – относительный сдвиг по времени  $g$ -й «ближней» МИП, удовлетворяющий условию  $\delta t_g \leq 2r_l/c$ .

Условие (3) с учетом абсолютной задержки  $g$ -й «ближней» МИП  $t_{I_g} = 2r_l/c + \Delta t_g$  предполагает приход  $g$ -й МИП перед сигналом, отраженным от носителя ретранслятора МИП, в  $(l + 1)$ -м зондировании и имитацию объекта, а с учетом (4) – имитацию отраженного сигнала на дальности

$$r_g = \frac{c}{2} \left( \frac{2r_l}{c} + \Delta t_g - T_{rl} \right) = \frac{c}{2} \left( \frac{2r_l}{c} + T_{rl} - \frac{2r_l}{c} + \delta t_g - T_{rl} \right) = \frac{c}{2} \delta t_g. \quad (5)$$

В (5) вычитание  $T_{rl}$  из общей задержки обусловлено тем, что сигнал МИП приходит после излучения очередного  $(l + 1)$ -го зондирующего импульса.

Закон изменения начальной фазы  $g$ -й МИП представляет собой сумму двух компонент

$$\phi_{lg}(t) = \phi_{Mg}(t) + \phi_{Zg}(t), \quad (6)$$

где  $\phi_{Mg}(t)$  – закон изменения фазы принятого ЗС в тракте ретранслятора;  $\phi_{Zg}(t) = 2\pi c \Delta t_g / \lambda$  – фазовая добавка  $g$ -й МИП за счет задержки в ретрансляторе, приводящая к появлению дополнительной доплеровской частоты  $\Omega_{Zg} = \frac{2\pi c}{\lambda} \frac{\partial \Delta t_g}{\partial t}$ , зависящей от скорости изменения задержки  $\partial \Delta t_g / \partial t$  МИП во времени.

На практике сложно создать плавное изменение задержки ретранслируемого сигнала от периода к периоду повторения зондирующих сигналов для одновременной имитации доплеровской частоты и смещения по дальности. Поэтому доплеровская частота МИП, как правило, создается путем фазовой модуляции ретранслируемого сигнала. В связи с этим важно помнить, что с точки зрения приема МИП в РЛС их итоговые «доплеровские» сдвиги по фазе создают как изменения фазы МИП в ретрансляторе, так и изменения времени задержки в приходе МИП в РЛС. Следовательно, возможно проведение отдельного исследования по распознаванию летательного аппарата на фоне МИП по особенностям внесения задержки и фазовой модуляции в МИП при формировании помехи в ретрансляторе.

#### Варианты управления параметрами зондирующих сигналов для защиты от многократных имитирующих помех

Основными параметрами зондирующего сигнала, управление которыми можно использовать для защиты от имитирующих помех, являются: несущая частота  $\omega_{0l} = \omega_0 + \Delta\omega_l$ ,  $l = 1, N$  ( $l$  – номер периода повторения); период повторения  $T_{rl}$ ; начальная фаза  $\varphi_i$ ; закон внутривнутрипериодной модуляции  $U_{0l}(t)$ . Для управления можно выбрать один параметр или использовать их сочетание. Скачкообразное изменение первых трех из этих характеристик по случайному закону от периода к периоду повторения ЗС обеспечивает защиту от «ближних» имитирующих помех в интервале однозначности по времени задержки, равному периоду повторения. Использование изменения закона модуляции от периода к периоду накладывает определенные особенности на выбор законов модуляции – законы модуляции в идеале должны обладать свойством взаимной ортогональности при одинаковой длительности.

Одновременно с обеспечением защиты от «ближних» имитирующих помех изменение отмеченных параметров по случайному закону оказывает существенное влияние на обработку принятого сигнала:

- изменение несущей частоты от периода к периоду исключает возможность когерентной компенсации мешающих отражений и когерентного межпериодного накопления полезного отраженного сигнала для любого класса зондирующего сигнала (импульсного, квазинепрерывного, непрерывного модулированного);

- изменение периода повторения по случайному закону разрушает «локальную» спектральную структуру мешающих отражений от движущихся отражателей и полезного сигнала, отраженного от движущегося объекта. При этом обеспечивается возможность полноценной когерентной компенсации мешающих отражений от местных предметов только для импульсного ЗС в пределах интервала однозначного измерения дальности, соответствующего минимальному периоду повторения. Однако в этом случае (период повторения случайный) не только исключается возможность когерентной компенсации мешающих отражений от объемно распределенных отражателей, но и из-за разрушения их когерентности принятые мешающие отражения фактически превращаются в шум, маскирующий полезный сигнал. По аналогичной причине когерентное межпериодное накопление отраженного сигнала также невозможно;

- изменение начальной фазы от периода к периоду для импульсного ЗС с фазированием когерентного гетеродина приемника обеспечивает возможность как когерентной компенсации меша-

ющих отражений от местных предметов и объемно распределенных отражателей, так и когерентного межпериодного накопления отраженного сигнала при условии, что мешающие отражатели и обнаруживаемые объекты находятся в первом интервале однозначного измерения дальности;

– изменение закона внутривнутрипериодной модуляции от периода к периоду повторения создает определенные сложности, но не исключает возможность когерентной компенсации мешающих отражений и когерентного межпериодного накопления отраженного сигнала. Однако в этом варианте управления требуется специальный подбор законов внутривнутрипериодной модуляции (например, кодофазовой манипуляции на основе  $M$ -последовательностей), которые в идеале должны быть ортогональными и иметь одинаковую длительность.

Из анализа рассмотренных особенностей следует вывод – целесообразно для защиты от «передних» имитирующих помех использовать импульсный зондирующий сигнал с изменением начальной фазы зондирующего импульса от периода к периоду.

### Способ защиты от «ближних» имитирующих помех на основе когерентного накопления и импульсного зондирующего сигнала

Перестройка начальной фазы зондирующих импульсов представляет интерес по следующим причинам. Во-первых, обеспечивается защита от «ближних» МИП благодаря разрушению межпериодной когерентности на выходе смесителя-преобразователя РЛС, опорный сигнал которого фазирован текущим зондирующим импульсом. Во-вторых, отсутствует разрушение межпериодной когерентности сигнала, отраженного от объекта на дальности, не превышающей интервал однозначного измерения  $r_{odn} = ct_r/2$ . В-третьих, возможно простое формирование зондирующего сигнала со случайно изменяющейся начальной фазой. Например, в простейшем случае зондирующий сигнал со случайной начальной фазой формируется естественным образом в магнетронном передатчике.

Сигнал  $m(t)$ , отраженный от объекта, находящегося на дальности  $r_t = ct_r/2$  в пределах интервала однозначного измерения, и сигнал гетеродина  $U_G(t)$  смесителя-преобразователя описываются выражениями:

$$m(t) = E_m(t) \sum_{l=1}^L U_{0l} \left( t - t_r - \sum_{l \geq 2, q=1}^{l-1} T_{rq} \right) \exp(i\phi_l) \exp(i((\omega_0 + \Omega_{ds})t)); \quad (7)$$

$$U_G(t) = E_G \sum_{l=1}^L \exp(i\phi_l) \exp(i((\omega_0 - \omega_{pr})t)), \quad (8)$$

где  $\phi_l$  – начальная фаза, изменяющаяся в соответствии с номером  $l$  текущего периода повторения.

При импульсном ЗС доплеровская частота, как правило, оценивается неоднозначно. Поэтому в условиях неопределенности относительно доплеровской частоты не будем изменять несущую частоту зондирующего сигнала для исключения разрушения когерентности отраженного сигнала. Период повторения в данном случае полагаем постоянным ( $T_{rq} = T_{r(q-1)}$ ), однако при этом не исключается использование переменного периода повторения для защиты от «слепых» скоростей. Преобразование отраженного сигнала на промежуточную частоту осуществляется путем перемножения сигнала (7) на комплексно-сопряженное значение сигнала гетеродина (8). В результате сигнал на выходе смесителя-преобразователя имеет вид

$$m(t) = E_m(t) \sum_{l=1}^L U_{0l} \left( t - t_r - \sum_{l \geq 2, q=1}^{l-1} T_{rq} \right) \exp(i((\Omega_{ds} + \omega_{pr})t)). \quad (9)$$

Таким образом, при фазировании когерентного гетеродина зондирующими сигналами случайная начальная фаза  $\phi_l$  навязывается сигналу гетеродина и компенсируется при преобразовании частоты. В отличие от согласованного во времени приема отраженного сигнала «ближние» МИП принимаются с задержкой на период повторения, и они на выходе смесителя-преобразователя в  $l$ -м периоде описываются выражением

$$\mathfrak{J}_{Jm}(t) = E_{Jg}(t) \sum_{l=1}^L U_{0l} \left( t - t_{Jg} - \sum_{l \geq 2, q=1}^{l-1} T_{rq} \right) \exp(i((\Omega_{ds} + \omega_{pr})t + \phi_{Jg}(t) + \phi_{l-1} - \phi_l)). \quad (10)$$



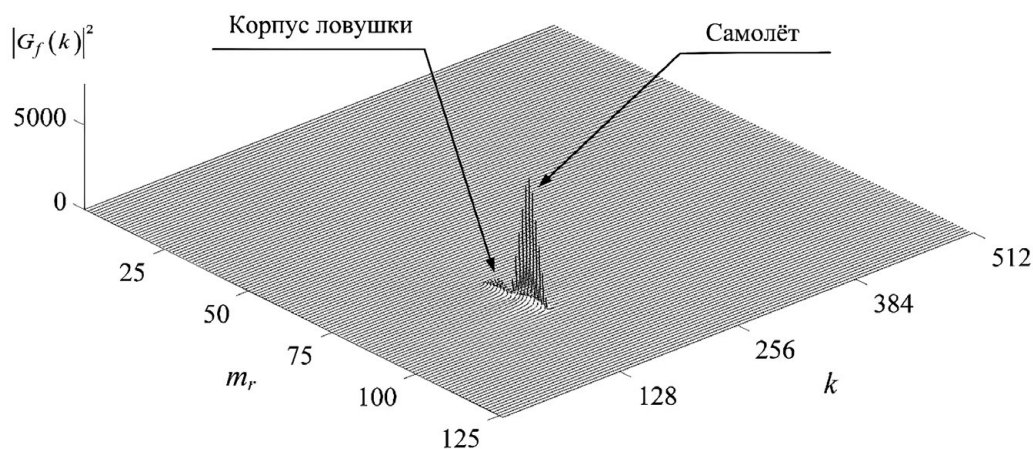
В (10) разность  $(\varphi_{l-1} - \varphi_l)$  является случайной величиной, изменяющейся от периода к периоду повторения. Следовательно, сигналы «ближних» МИП не могут быть когерентно накоплены. Объективно необходимая для формирования «ближних» МИП задержка в приеме даже на один период разрушает их гребенчатую спектральную структуру и преобразует ее в шум в пределах  $\Delta f_0$ .

Необходимо отметить, что использование случайной начальной фазы также приводит к разрушению когерентности и гребенчатой спектральной структуры мешающих отражений, принятых со второй, с третьей и так далее разверток дальности [2]. Данный результат можно рассматривать как положительное явление, которое в сочетании с когерентным межпериодным накоплением позволяет разрушить спектральную структуру этих отражений и исключить их обнаружение, как и полезных отраженных сигналов. Это явление позволяет в РЛС малой дальности осуществить переход к более высоким частотам повторения ЗС, увеличивая их в 3–4 раза и обеспечивая таким образом соответствующее уменьшение требуемой импульсной мощности.

Для иллюстрации работоспособности предлагаемого способа было выполнено моделирование. При этом ЗС представлял собой последовательность простых прямоугольных радиоимпульсов с длительностью импульса  $T_0 = 0,5$  мкс, частотой повторения  $F_r = 80$  кГц, длиной волны  $\lambda = 0,03$  м и начальной фазой в двух вариантах – с постоянной (РЛС с когерентным ЗС) и с изменяющейся начальной фазой от импульса к импульсу (РЛС с псевдокогерентным ЗС). В текущем периоде зондирования случайная начальная фаза навязывалась когерентному гетеродину и компенсировалась для отраженных сигналов в интервале однозначного измерения дальности. Моделировались следующие составляющие принятого сигнала:

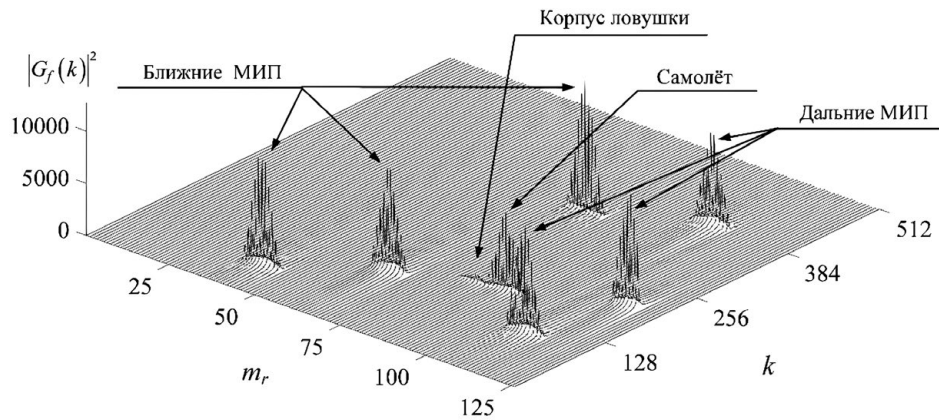
- сигнал, отраженный от корпуса летательного аппарата, который для упрощения представлялся без флуктуаций с доплеровской частотой  $f_{ds} = 20\ 300$  Гц;
- сигнал, отраженный от корпуса буксируемой ловушки. Длина корпуса ловушки – менее 1 м, а длина троса для буксировки – 150 м. Мощность сигнала, отраженного от корпуса ловушки, примерно на порядок меньше мощности сигнала, отраженного от корпуса самолета;
- сигналы «ближних» и «дальних» МИП с отличающимися дальностями и доплеровскими частотами.

Принятый сигнал, над которым выполнено частотное преобразование с компенсацией начальной фазы в текущем периоде, подвергался внутрипериодной обработке и межпериодному когерентному накоплению с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ). Дискретизация принятого сигнала по времени задержки составила  $\delta t_z = 0,1$  мкс. На рис. 1–3 представлены квадраты модулей комплексных амплитуд принятого сигнала, прошедшего фильтровую внутрипериодную обработку и когерентное межпериодное накопление путем БПФ с числом точек  $N_{FFT} = 512$  в интервале  $r_{odn} = cT_r/2 = 1875$  м с дискретностью по дальности  $\delta r = \delta t_z c/2 = 15$  м (так называемая матрица «дальность – доплеровская частота»). Квадраты модулей представлены:



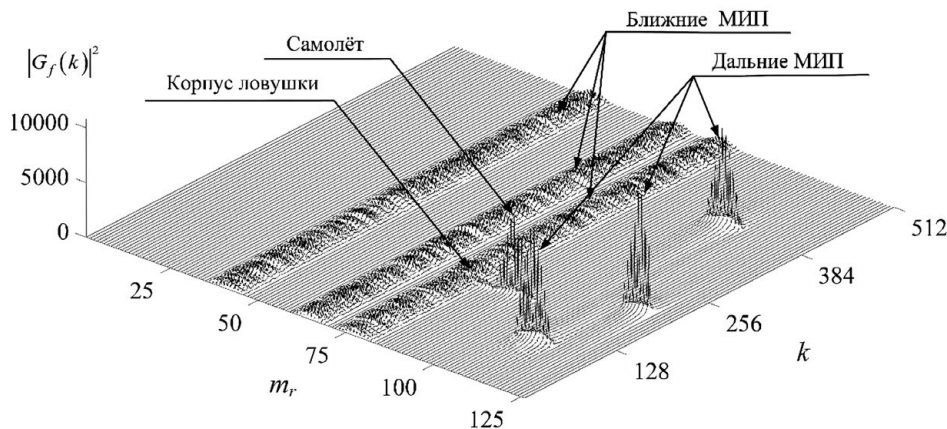
**Рис. 1.** Квадраты модулей комплексных амплитуд принятого сигнала после быстрого преобразования Фурье при отсутствии многократных имитирующих помех

**Fig. 1.** Squared moduli of complex amplitudes of the received signal after fast Fourier transform in the absence of multiple simulated interference



**Рис. 2.** Квадраты модулей комплексных амплитуд принятого сигнала после быстрого преобразования Фурье при наличии многократных имитирующих помех для радиолокационных станций с когерентным зондирующим сигналом

**Fig. 2.** Squared moduli of complex amplitudes of the received signal after fast Fourier transform in the presence of multiple simulated noise for radar stations with a coherent sounding signal



**Рис. 3.** Квадраты модулей комплексных амплитуд принятого сигнала после быстрого преобразования Фурье при наличии многократных имитирующих помех для радиолокационных станций с псевдокогерентным зондирующим сигналом

**Fig. 3.** Squared moduli of the complex amplitudes of the received signal after the fast Fourier transform in the presence of multiple simulating interference for radar stations with a pseudo-coherent sounding signal

– на рис. 1 – при отсутствии МИП (результаты одинаковы для любого из двух вариантов ЗС);  
– на рис. 2 – при наличии МИП для РЛС с когерентным ЗС, формируются три «ближних» и три «дальних» МИП;

– на рис. 3 – при наличии МИП для РЛС с псевдокогерентным ЗС.

На рис. 1–3 использованы обозначения:  $m_r$  – номер элемента дискретизации по дальности;  $k$  – номер фильтра БПФ;  $|G_f(k)|^2$ ,  $k = \overline{0, 511}$  – квадраты модулей комплексных амплитуд, о. е.

Из представленных результатов моделирования следует очевидный вывод: использование в РЛС псевдокогерентного зондирующего сигнала в сочетании с когерентным межпериодным накоплением позволяет разрушить локальную по частоте структуру «ближних» МИП и выделить сигнал, отраженный от самолета с буксируемой ловушкой.

### Заключение

1. Поимпульсная перестройка начальной фазы зондирующих сигналов в сочетании с когерентным накоплением (спектральным анализом) позволяет разрушить спектральную структуру многократных и уводящих по дальности имитирующих помех, которые находятся между радиолокационной станцией и самолетом с системой радиоэлектронного подавления, в пределах интервала однозначного измерения дальности. Максимальная эффективность разрушения «ближ-

них» по дальности имитирующих и уводящих помех обеспечивается при отсутствии межпериодной корреляции и равномерном законе распределения начальных фаз зондирующих сигналов.

2. Использование поимпульсной перестройки начальной фазы при когерентном накоплении приводит к разрушению межпериодной когерентности мешающих отражений, принятых со второго и с третьего (и последующих) интервалов однозначного измерения дальности и имеющих малую мощность. Это позволяет в радиолокационной станции малой дальности увеличить частоты повторения зондирующего сигнала в 3–4 раза и уменьшить требуемую импульсную мощность, повысив скрытность радиолокационной станции.

3. Поимпульсная перестройка начальной фазы зондирующего сигнала может быть применена только в радиолокационной станции с импульсным зондирующим сигналом, так как при ее использовании в радиолокационной станции с квазинепрерывным сигналом исключается возможность когерентной компенсации мешающих отражений.

### Список литературы

1. Бакулев, П. А. Методы и устройства селекции движущихся целей / П. А. Бакулев, В. М. Степин. М.: Радио и связь, 1986. 288 с.
2. Гейстер, С. Р. Адаптивное обнаружение-распознавание с селекцией помех по спектральным портретам / С. Р. Гейстер. Минск: Воен. акад. Респ. Беларусь, 2000. 172 с.
3. Leroy, V. Van Brunt. Applied ECM / V. Van Brunt Leroy // EW Engineering Inc., USA. 1978, 1987, 1995. Vol. 1–3.
4. Радиоэлектронное подавление информационных каналов систем управления оружием / Под ред. Ю. М. Перунова. М.: Радиотехника, 2003. 416 с.
5. Цветнов, В. В. Радиоэлектронная борьба: радиоразведка и радиопротиводействие / В. В. Цветнов, В. П. Демин, А. И. Куприянов. М.: Изд-во Москов. авиац. ин-та, 1998. 248 с.

### References

1. Bakulev P. A., Stepin V. M. (1986) *Methods and Devices for Selecting Moving Targets*. Moscow, Radio and Communications. 288 (in Russian).
2. Heister S. R. (2000) *Adaptive Detection-Recognition with Noise Selection Based on Spectral Portraits*. Minsk, Military Academy of the Republic of Belarus. 172 (in Russian).
3. Leroy V. Van Brunt (1978, 1987, 1995) *Applied ECM*. *EW Engineering Inc., USA*. 1–3.
4. Perunov Yu. M. (ed.) (2003) *Electronic Jamming of Information Channels of Weapon Control Systems*. Moscow, Radio Engineering Publ. 416 (in Russian).
5. Tsvetnov V. V., Demin V. P., Kupriyanov A. I. (1998) *Electronic Warfare: Radio Intelligence and Radio Countermeasures*. Moscow, Publishing House Moscow Aviation Institute. 248 (in Russian).

### Вклад авторов / Authors' contribution

Авторы внесли равный вклад в написание статьи / The authors contributed equally to the writing of the article.

#### Сведения об авторах

Гейстер С. Р., д-р техн. наук, проф., гл. науч. сотр. ОАО «АЛЕВКУРП»

Цяньлань Хуан, асп. при Национальном университете оборонных технологий

#### Адрес для корреспонденции

223050, Республика Беларусь,  
Минская обл., Минский р-н, Боровлянский с/с,  
д. Королев Стан, ул. Московская, 1а, ком. 17  
ОАО «АЛЕВКУРП»  
Тел.: +375 29 760-86-71  
E-mail: hsr\_aero1960@mail.ru  
Гейстер Сергей Романович

#### Information about the authors

Heister S. R., Dr. of Sci. (Tech.), Professor, Chief Researcher at JSC "ALEVKURP"

Qianlan Huang, Postgraduate at the National University of Defense Technology

#### Address for correspondence

223050, Republic of Belarus,  
Minsk Region., Minsk District, Borovlyansky S/S,  
Korolev Stan Village, Moscow St., 1a, room 17  
JSC "ALEVKURP"  
Tel.: +375 29 760-86-71  
E-mail: hsr\_aero1960@mail.ru  
Heister Sergey Romanovich