

## МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ НЕЛИНЕЙНЫХ ИСКАЖЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ЛОКАЦИИ МАНЕВРИРУЮЩИХ ЦЕЛЕЙ

Василенко С.И.\*, Кудряшов М.Ю.\*\*

\*Закрытое акционерное общество Научно-исследовательский центр «Резонанс»,  
г. Москва

\*\*Тверской государственный университет, г. Тверь

---

*Поступила в редакцию 03.03.2021, после переработки 15.04.2021.*

---

В работе предложен метод решения проблемы в области обработки радиолокационных сигналов с линейной частотной модуляцией (ЛЧМ), обеспечивающий компенсацию нелинейных изменений радиальной скорости локационного объекта (ЛО) при его маневрировании. Метод основан на компенсации искажений радиолокационных сигналов, отраженных от ЛО, вызванных нелинейным характером изменения радиальной скорости при маневрировании в предположении линейного изменения скорости за время когерентного накопления (КН). Приведены результаты моделирования обработки сигналов с реализованным методом компенсации.

**Ключевые слова:** радиолокационные сигналы, линейно-частотная модуляция, радиальная скорость, когерентная обработка сигналов.

*Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2021. № 1. С. 21–32.*  
<https://doi.org/10.26456/vtpmk607>

### Введение

Известно, что начальным этапом процесса получения сведений о локационных объектах считается обнаружение и измерение координат по радиолокационному сигналу [1]. Полученные в результате сведения о ЛО носят дискретный характер в силу того, что обработка ограничена во времени интервалом наблюдения пачки эхо-сигналов.

Формирование пачки эхо-сигналов во многом связано с устройством конкретного типа радиолокационных станций (РЛС). В данной работе рассматриваются проблемы обнаружения и измерения координат ЛО в РЛС, использующих в качестве зондирующего сигнала (ЗС) радиоимпульс с линейной частотной модуляцией и допускающих когерентное накопление пачки эхо-сигналов. В результате, РЛС помимо дальности, азимута и угла места имеет возможность измерять радиальную скорость ЛО.

Дискретный характер обработки является критичным с точки зрения обнаружения, когда координаты ЛО значительно изменяются за выбранный интервал

наблюдения. Особенно явно это проявляется при маневрировании ЛО, когда существенным образом изменяется его радиальная скорость, тем более, когда характер изменения радиальной скорости становится нелинейным. Маневрирование ЛО на небольших по времени интервалах можно рассматривать как движение по окружности с постоянной курсовой скоростью, следствием чего является наличие центростремительного ускорения ЛО вплоть до нескольких  $g$ , что и приводит к нелинейному изменению радиальной скорости.

В этой ситуации в результате КН пачки эхо-сигналов происходит уширение главного лепестка в плоскости «радиальная скорость-дальность», что является причиной снижения качества измерений координат ЛО, заключающегося в увеличении ошибок измерения координат и формировании ложных целей, что в итоге может приводить к пропуску цели.

В работе предложен метод обработки, позволяющий компенсировать искажения в радиолокационных сигналах, вызванные изменением радиальной скорости ЛО за время формирования пачки эхо-сигналов. Метод апробирован на разработанной модели обработки эхо-сигналов от ЛО, выполняющих маневрирование с ускорением до  $3g$ , в импульсно-доплеровской РЛС.

В разделах 1 и 2 приведены соотношения, составляющие основу модели обработки эхо-сигналов. В разделе 3 описан предлагаемый метод компенсации, в разделе 4 проведено сравнение результатов обнаружения и измерения дальности и радиальной скорости ЛО на этапе маневра без и с применением разработанного метода компенсации.

## 1. Модель формирования эхо-сигналов

В качестве зондирующего сигнала используется ЛЧМ импульс с отрицательной девиацией [2], отсчеты которого рассчитываются по формуле:

$$X(i) = \exp \left( j \left( \pi \Delta F (i \Delta t) - \frac{\pi \Delta F}{T_{imp}} (i \Delta t)^2 \right) \right), \quad (1)$$

где  $\Delta F$  – ширина полосы ЛЧМ-импульса,  $i = 1, \dots, M - 1$ ;  $M$  – количество отсчетов в ЗС;  $\Delta t = \frac{1}{F_s}$  – время между соседними отсчетами в сигнале (интервал дискретизации);  $F_s$  – частота дискретизации;  $T_{imp}$  – длительность импульса.

ЗС излучаются в течение фиксированного времени с периодом повторения  $T$ . В модели с рассчитанным на основании уравнения радиолокации [3] соотношением сигнал/шум формируется отраженный от ЛО в текущий момент времени эхо-сигнал  $\bar{X}$ . Для этого помимо параметров РЛС и ЛО, которые входят в уравнение радиолокации, используются текущие координаты ЛО относительно РЛС (дальность, азимут, угол места) и отсчеты ЗС, задаваемого формулой (1).

Движение ЛО с радиальной скоростью  $v$  приводит к наличию в отраженном сигнале доплеровского сдвига частоты  $F_d = \frac{2vF_c}{c}$ , где  $F_c$  – несущая частота ЗС,  $c$  – скорость света. В модели доплеровский сдвиг  $F_d$  к сигналу  $\bar{X}$  задается следующей формулой:

$$S(k) = \overline{X(k)} \cdot \exp(j2\pi F_d(k\Delta t)) = \overline{X(k)} \exp \left( j2\pi \frac{2v}{\lambda} (k\Delta t) \right), \quad (2)$$

где  $k = 1, \dots, N - 1$ ;  $N$  – количество отсчетов в эхо-сигнале,  $\lambda = \frac{c}{F_c}$  – длина волны.

На Рис. 1а показан фрагмент траектории движения ЛО, выполняющего маневрирование с ускорением  $2g$  с постоянной курсовой скоростью  $V = 200$  м/с. При этом, радиус окружности, по которой движется ЛО с постоянной курсовой скоростью, определяется исходя из выражения  $R = \frac{v^2}{2g} \approx 2.041$  км. РЛС расположена в точке с координатами  $(0, 0)$ . На Рис. 1б показано как изменяется радиальная скорость ЛО за все время маневрирования. Время формирования пачки эхо-сигналов определяется периодом повторения импульсов  $T$  и количеством  $P$  эхо-сигналов в пачке. Для  $T = 5.1$  мс и при размере пачки, состоящей из 512 эхо-сигналов ( $P = 512$ ), интервал наблюдения соответствует 2.6 с. За данный интервал времени на участке маневра координаты ЛО могут существенно изменяться, особенно, как показано на Рис. 1 (выделенный участок траектории), это относится к радиальной скорости ЛО.

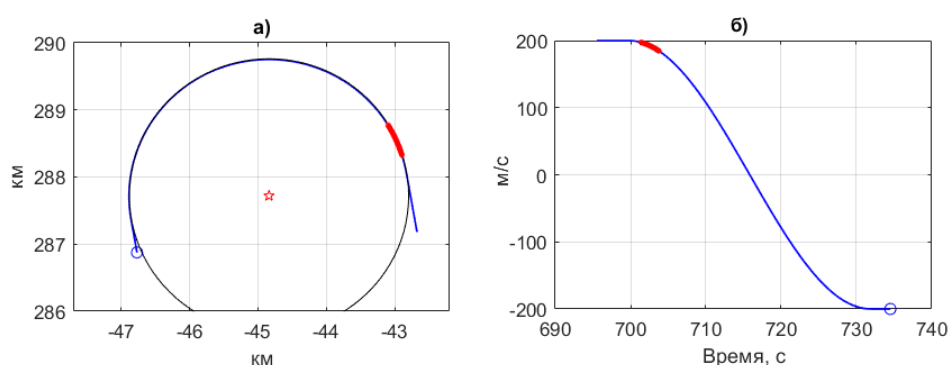


Рис. 1: а) Траектория движения маневрирующего с ускорением  $2g$  ЛО; б) Изменение радиальной скорости ЛО за все время маневрирования. Более толстой линией выделен фрагмент, относящийся к времени формирования пачки эхо-сигналов

## 2. Обработка эхо-сигналов

Рассматривается модель РЛС, которая позволяет измерять дальность и радиальную скорость, а также определять азимут и угол места ЛО. Последние параметры зависят в основном от используемой конструкции антенн, в то время как измерение дальности и радиальной скорости в большей степени зависит от формы и параметров системы. Так как, предлагаемый метод влияет на измерение радиальной скорости и связанной с ней измерением дальности, то описание обработки радиолокационных сигналов будет ограничено непосредственно областью, касающейся только измерения дальности и радиальной скорости.

В модели РЛС реализована классическая обработка, связанная со сжатием отраженных ЛЧМ сигналов и последующим их когерентным накоплением [3].

Реализованная модель импульсно-доплеровской РЛС позволяет измерять доплеровский сдвиг частоты в эхо-сигналах и определять посредством этого радиальную скорость ЛО. Для этого используется несколько циклов передачи и приема, для того чтобы сформировать  $n$ -ю пачку отраженных эхо-сигналов:

$$\vec{S}^n = \{S_1^n(k), \dots, S_P^n(k)\}^T, \quad (3)$$

где

$$S_i^n(k) = \overline{X_i^n(k)} \cdot \exp\left(j2\pi \frac{2v_{ni}}{\lambda} (k\Delta t + T \cdot (i-1))\right), \quad (4)$$

$k = 1, \dots, N-1$ ;  $N$  – количество отсчетов в эхо-сигнале;  $n$  – номер пачки;  $i = 1, \dots, P-1$ ;  $P$  – количество эхо-сигналов в пачке,  $T$  – период повторения импульсов;  $v_i$  – радиальная скорость ЛО в момент формирования  $i$ -го эхо-сигнала в  $n$ -ой пачке.

Анализ изменения фазы каждого сигнала в пачке позволяет определить значение доплеровской частоты. Для этого используется обработка с помощью преобразования Фурье сформированной пачки эхо-сигналов, известное как когерентное накопление [4].

После КН в плоскости «дальность-радиальная скорость» формируется амплитудное распределение обработанного отраженного сигнала, где после пороговой обработки оцениваются дискретные значения траектории ЛО, такие как дальность и радиальная скорость.

Данный метод позволяет достаточно точно измерять радиальную скорость ЛО исходя из предположения, что за время формирования пачки эхо-сигналов радиальная скорость ЛО не изменяется. Однако, при маневрировании радиальная скорость ЛО меняется существенным образом даже за небольшой временной интервал формирования пачки эхо-сигналов (Рис. 1б), следствием чего является уширение главного лепестка в плоскости «дальность-радиальная скорость» (Рис. 2б).

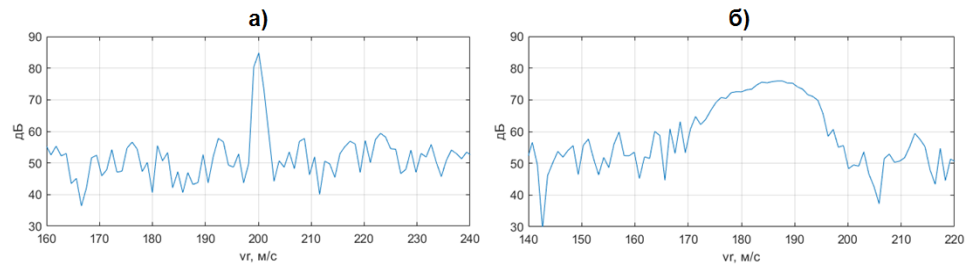


Рис. 2: а) Результат КН пачки эхо-сигналов при постоянной радиальной скорости  $v = 200$  м/с; б) Результат КН пачки эхо-сигналов при маневрировании с перегрузкой  $2g$  (Рис. 1)

Результаты КН, представленные на Рис. 2 получены при изменении в модели только одного параметра – радиальной скорости (вызванном маневрированием ЛО), чтобы продемонстрировать влияние именно этого фактора на обработку.

Уширение главного лепестка может приводить не только к понижению значения амплитуды при обнаружении, как это видно при сравнении Рис. 2а и 2б, но также и к формированию нескольких ложных отметок (совокупности измеренных координат) от ЛО, как это показано на Рис. 3, которые являются ложными обнаружениями цели [1].

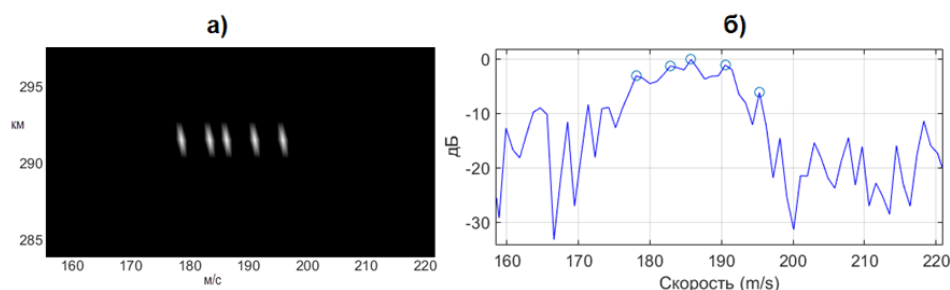


Рис. 3: а) Результат КН пачки эхо-сигналов при маневрировании с перегрузкой 2g (Рис. 1) в плоскости «дальность-радиальная скорость»; б) Соответствующий срез по дальности

Понижение уровня амплитуды главного лепестка в плоскости «дальность-радиальная скорость» ниже порогового уровня может привести к не обнаружению ЛО.

Таким образом, изложенный в разделе подход к обработке радиолокационных сигналов, характерный для импульсно - доплеровских РЛС приводит к плохому качеству обнаружения ЛО, выполняющего маневрирование, при котором происходит значительное изменение радиальной скорости ЛО. Плохое качество обнаружения, вызванное нелинейным характером изменения радиальной скорости за время формирования пачки эхо-сигналов, выражается в уширении главного лепестка в плоскости «дальность-радиальная скорость», что, в свою очередь, приводит либо к формированию множества ложных отметок вместо одной или вообще к не обнаружению ЛО.

### 3. Метод компенсации искажений эхо-сигналов, вызванных нелинейностью изменения радиальной скорости

За время формирования пачки эхо-сигналов радиальная скорость ЛО  $v_i$ , которая входит в формулу (4) может быть постоянной, изменяться линейно или нелинейно как при рассматриваемом случае маневрирования (Рис. 1б).

Как показано в разделе 2, нелинейный характер изменения радиальной скорости приводит к уширению главного лепестка при КН пачки эхо-сигналов. Данный эффект можно уменьшить, если предположить, что за время накопления пачки эхо-сигналов радиальная скорость изменяется линейно, т.е. ЛО движется с постоянным ускорением. Таким образом, зная радиальную скорость  $v_{n_1}$  ЛО на момент

получения первого эхо-сигнала в  $n$ -ой пачке и значение углового коэффициента  $a_n$  в уравнении прямой (5), можно определить значение радиальной скорости ЛО в момент получения  $i$ -го сигнала:

$$v_{n_i} = v_{n_1} + a_n T \cdot (i - 1), \quad (5)$$

где  $i = 1, \dots, P - 1$ . Причем, угловой коэффициент является значением постоянного за время формирования пачки  $n$  ускорения ЛО. Для того, чтобы определить ускорение достаточно знать значение радиальной скорости  $v_{n_P}$  ЛО на момент получения последнего ( $P$ -го) эхо-сигнала в  $n$ -ой пачке:

$$a_n = \frac{v_{n_P} - v_{n_1}}{T \cdot (P - 1)} = \frac{v_{n_P} - v_{n_1}}{T_{KN}}, \quad (6)$$

где  $T_{KN}$  – время формирования пачки (время КН).

В результате, можно приблизить нелинейность изменения радиальной скорости на интервалах наблюдения значениями радиальной скорости, изменяющейся линейно. На Рис. 4 пунктирной линией показана линейная аппроксимация радиальной скорости на нескольких интервалах наблюдения.

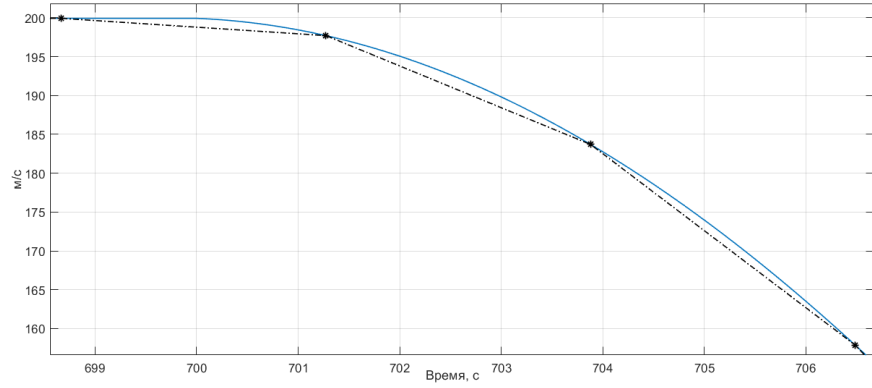


Рис. 4: Нелинейность изменения радиальной скорости и ее линейное приближение

Подставив (5) в (4), получим

$$S_i^n(k) = \overline{X_i^n(k)} \cdot \exp\left(j2\pi \frac{2v_{n_1}}{\lambda} (k\Delta t + T \cdot (i - 1))\right) \cdot \exp\left(j2\pi \frac{2a_n T \cdot (i - 1)}{\lambda} (k\Delta t + T \cdot (i - 1))\right). \quad (7)$$

Первая экспонента в (7) соответствует экспоненте в (2) при предположении, что радиальная скорость постоянна за все время формирования пачки. Вторая экспонента в (7) отвечает за линейный характер изменения радиальной скорости за время  $T_{KN}$ . Таким образом,  $S_i^n(k)$  представляет собой ЛЧМ сигнал.

Теперь, для того чтобы компенсировать влияние второго множителя следует каждый сигнал из пачки домножить на соответствующую экспоненту в (7) только с обратным знаком:

$$\overline{S_i^n(k)} = S_i^n(k) \cdot \exp\left(-j2\pi \frac{2a_n T \cdot (i-1)}{\lambda} (k\Delta t + T \cdot (i-1))\right), \quad (8)$$

где  $\overline{S_i^n(k)}$  –  $i$ -ый эхо-сигнал в  $n$ -ой пачке после компенсации.

Для того, чтобы выполнить компенсацию в  $n$ -ой пачке в соответствии с формулой (8) необходимо знать значение ускорения  $a_n$ . Получить значение  $a_n$  непосредственно по формуле (6) не представляется возможным, т.к. в результате КН оценивается значение радиальной скорости ЛО за все время формирования пачки. Т.е. нет возможности непосредственно измерить значения  $v_{n_1}$  и  $v_{n_P}$  радиальной скорости ЛО в момент формирования первого и последнего сигналов в  $n$ -ой пачке. Вместо этого предлагается оценивать значение  $a_n$  по результату анализа двух последовательных пачек.

В результате обработки пачки эхо-сигналов формируется набор измерений дальности  $r$  и радиальной скорости  $v$ , которые представляют собой отметку. При условии, что отметки являются измерениями параметров одного и того же ЛО, анализ двух соседних по времени формирования отметок позволяет оценить ускорение  $a$ .

После обработки  $(n-1)$ -ой пачки формируется отметка с измеренными значениями дальности и радиальной скорости  $(\tilde{r}_{n-1}, \tilde{v}_{n-1})$ . Обработка  $n$ -ой пачки позволяет сформировать отметку (при условии обнаружения) с параметрами  $(\tilde{r}_n, \tilde{v}_n)$ . В результате имеется возможность оценить значение  $a_n$ :

$$\tilde{a}_n = \frac{\tilde{v}_n - \tilde{v}_{n-1}}{T_{KN}}, \quad (9)$$

где  $T_{KN}$  – интервал времени, за который осуществляется формирование очередной пачки эхо-сигналов (время КН).

### 3.1 Алгоритм вычисления ускорения для $n$ -ой пачки эхо-сигналов

На момент обработки  $n$ -ой пачки известно значение  $\tilde{a}_{n-1}$ , полученное в результате обработки предыдущих пачек по формуле (9). Корректировка эхо-сигналов  $S_i^n(k)$  текущей ( $n$ -ой) пачки  $\vec{S}^n$  выполняется следующим образом.

1. Каждый сигнал из пачки  $\vec{S}^n$  домножается на экспоненту по формуле (8), причем за значение  $a_n$  в (8) принимаем  $\tilde{a}_{n-1}$ . В результате, дальнейшей обработке подвергаются сигналы  $\overline{S_i^n(k)}$ ,  $i = 1, \dots, P$  из скорректированной пачки  $\vec{S}^n$ .

2. Дальнейшая обработка заключается в согласованной фильтрации каждого сигнала  $\overline{S_i^n(k)}$  из скорректированной пачки  $\vec{S}^n$  и последующей процедуре когерентного накопления. После пороговой обработки, при условии превышения порогового уровня, формируется отметка с параметрами  $(\bar{r}_n, \bar{v}_n, \bar{a}_n)$ . Только на этом шаге удается получить оценку  $\bar{a}_n$  ускорения, определяемого формулой (6).

3. Основная цель шагов 1 и 2 – получить оценку ускорения  $\bar{a}_n$ . Получив оценку, далее выполняется корректировка эхо-сигналов  $S_i^n(k)$  текущей ( $n$ -ой) пачки  $\vec{S}^n$ ,

как это было сделано на шаге 1 с тем исключением, что в формуле (8) в качестве  $a_n$  используется полученная оценка  $\tilde{a}_n$ . В результате, дальнейшей обработке подвергаются сигналы  $\widetilde{S}_i^n(k), i = 1, \dots, P$  из скорректированной пачки  $\widetilde{S}^n$ .

4. Также как и на шаге 2, дальнейшая обработка заключается в согласованной фильтрации каждого сигнала  $\widetilde{S}_i^n(k)$  из скорректированной пачки  $\widetilde{S}^n$  и последующей процедуре когерентного накопления. После пороговой обработки, при условии превышения порогового уровня, формируется отметка с параметрами  $(\tilde{r}_n, \tilde{v}_n, \tilde{a}_n)$ .

Полученное значение  $\tilde{a}_n$  будет использоваться для корректировки эхо-сигналов  $S_i^{n+1}(k)$  следующей  $\widetilde{S}^{n+1}$  пачки в соответствии с описанными шагами 1-4.

#### 4. Результаты применения метода компенсации

На Рис. 5 приведены результаты, полученные в результате стандартной обработки отраженных сигналов от ЛО, выполняющего маневрирование с ускорением  $2g$ . На Рис. 5а показано, как падает амплитуда сигнала при маневрировании с уровня в 10 дБ над пороговым значением до уровня в 0 дБ, что соответствует необнаружению ЛО. На Рис. 5а моменты необнаружения обозначены выколотым маркером «o».

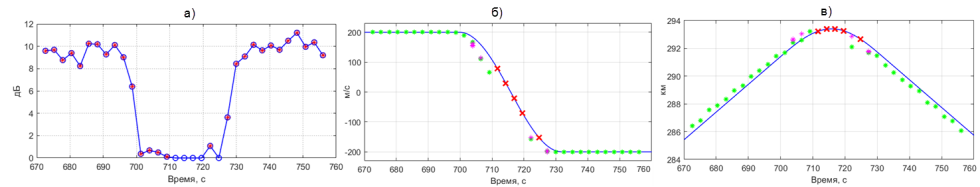


Рис. 5: а) Уровень сигнала при обнаружении; б) Измерения радиальной скорости; в) Измерения дальности

На Рис. 5б и 5в приведены результаты измерения радиальной скорости и дальности (сплошной линией показаны эталонные значения). Маркером «\*» обозначены измеренные в результате обработки параметры отметок (радиальная скорость и дальность). Специальным маркером «x» указаны моменты времени и соответствующие эталонные значения параметров, когда ЛО не был обнаружен.

Повторение эксперимента с одним лишь исключением (применение метода компенсации искажений) позволило существенным образом улучшить результаты обнаружения ЛО, которые представлены на Рис. 6. Как следует из представленных графиков, на каждом интервале наблюдения были сформированы отметки с измерениями координат ЛО. Не обнаружения отметок или формирования ложных целей на всем интервале маневрирования ЛО не наблюдалось.

Полученные результаты позволяют заключить, что применение метода компенсации нелинейных искажений не приводит к уширению главного лепестка в плоскости «дальность-радиальная скорость», и, соответственно, не наблюдается характерный при маневрировании провал значений амплитуды сигнала, следствием чего является обнаружение ЛО в каждом интервале наблюдения.



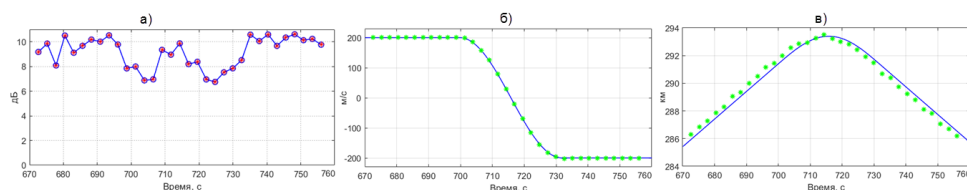


Рис. 6: а) Уровень сигнала при обнаружении б) Измерения радиальной скорости; в) Измерения дальности

Применение стандартной обработки для обнаружения ЛО с большим отношением сигнал/шум, например, порядка 20 дБ, как это показано на Рис. 7, несмотря на получение измерений в каждом интервале времени, имеет существенный недостаток, заключающийся в том, что в каждый момент времени на этапе маневрирования ЛО наряду с истинной отметкой с параметрами измерения координат ЛО, формируется множество ложных отметок, как это продемонстрировано на Рис. 7б и 7в.

На этих рисунках фиолетовыми маркерами помечены сформированные ложные отметки. Полученный результат также является следствием расширения главного лепестка в плоскости «дальность-радиальная скорость», вызванного нелинейным характером изменения радиальной скорости ЛО на этапе его маневрирования.

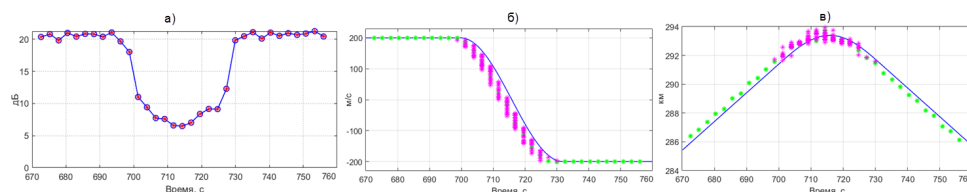


Рис. 7: а) Уровень сигнала при обнаружении б) Измерения радиальной скорости (зеленые маркеры - истинные отметки, фиолетовые маркеры - ложные отметки); в) Измерения дальности

Применение предложенного метода компенсации искажений позволяет, как показывают полученные результаты (Рис. 8), избавиться от этого недостатка.

Таким образом, обработка эхо-сигналов с применением предложенного метода компенсации искажений позволяет улучшить обнаружение ЛО при его маневрировании и избавиться от формирования множества ложных отметок.

Полученные посредством моделирования результаты подтвердили указанные преимущества от применения предложенного метода компенсации искажений при обработке эхо-сигналов, отраженных от ЛО, выполняющего маневрирование с ускорением до 3g.

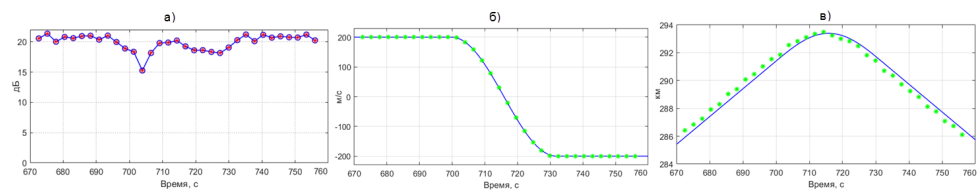


Рис. 8: а) Уровень сигнала при обнаружении б) Измерения радиальной скорости; в) Измерения дальности

### Заключение

В работе предложен метод компенсации нелинейных искажений радиолокационных сигналов, вызванных изменением радиальной скорости маневрирующего ЛО. Искажения проявляются при КН, что приводит к формированию ложных отметок или даже к не обнаружению ЛО.

Приведено обоснование и описание предложенного метода. Выполнена его реализация на модели импульсно-доплеровской РЛС.

Получены результаты моделирования, которые подтверждают, что применение метода позволяет убрать указанные недостатки присущие стандартной обработке эхо-сигналов, полученных от маневрирующего ЛО с ускорением до  $3g$ .

### Список литературы

- [1] Виноградов А.П. Основы обработки радиолокационной информации. Часть 1. Первичная обработка радиолокационной информации. СПб.: ВУ ПВО (филиал г. Санкт-Петербург), 2002. 192 с.
- [2] Кук Ч., Бернфельд М. Радиолокационные сигналы. М.: Советское радио, 1971. 568 с.
- [3] Сколник М.И. (ред.) Справочник по радиолокации. Т. 1. М.: Техносфера, 2015. 627 с.
- [4] Richards M.A. Fundamentals of Radar Signal Processing. Second Edition. New York: McGraw-Hill Education, 2014. 618 p.

### Образец цитирования

Василенко С.И., Кудряшов М.Ю. Метод компенсации нелинейных искажений, возникающих при локации маневрирующих целей // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2021. № 1. С. 21–32. <https://doi.org/10.26456/vtppmk607>

**Сведения об авторах****1. Василенко Станислав Иванович**

научный сотрудник ЗАО НИЦ «Резонанс».

*Россия, 107076, г. Москва, ул. 1-я Бухвостова, д. 12/11, к. 20.*

*E-mail: [vasilenko.stanislav2017@yandex.ru](mailto:vasilenko.stanislav2017@yandex.ru)*

**2. Кудряшов Максим Юрьевич**

доцент кафедры информационных технологий Тверского государственного университета.

*Россия, 170100, г. Тверь, ул. Желябова, д. 33, ТвГУ. E-mail: [mkvm@mail.ru](mailto:mkvm@mail.ru)*

## NONLINEAR DISTORTION COMPENSATION METHOD FOR LOCATING MANEUVERING TARGETS

**Vasilenko Stanislav Ivanovich**

Researcher at ZAO SRC «Rezonans»

Russia, 107076, Moscow, 1st Buhvostova str., 12/11, building 20.

E-mail: [vasilenko.stanislav2017@yandex.ru](mailto:vasilenko.stanislav2017@yandex.ru)

**Kudryashov Maksim Yuryevich**

Associate Professor at Information Technologies department, Tver State University

Russia, 170100, Tver, 33 Zhelyabova str., TSU.

E-mail: [mkvm@mail.ru](mailto:mkvm@mail.ru)

---

Received 03.03.2021, revised 15.04.2021.

---

A method for solving the problem in the field of radar signal processing with linear frequency modulation is proposed. The method provides compensation for nonlinear changes in the radial velocity of a aircraft during its maneuvering. The method is based on the compensation of reflected pulses distortions caused by the nonlinear nature of the change in radial velocity of a aircraft during its maneuvering. It is assumed that during the time of doppler process the radial velocity changes linearly. The results of signal processing simulation with the implemented method are presented.

**Keywords:** radar signals, linear frequency modulation, radial velocity, doppler process.

### Citation

Vasilenko S.I., Kudryashov M.Yu., “Nonlinear distortion compensation method for locating maneuvering targets”, *Vestnik TvGU. Seriya: Prikladnaya Matematika [Herald of Tver State University. Series: Applied Mathematics]*, 2021, № 1, 21–32(in Russian). <https://doi.org/10.26456/vtprm607>

### References

- [1] Vinogradov A.P., *Osnovy obrabotki radiolokatsionnoj informatsii. Chast 1. Per-  
vichnaya obrabotka radiolokatsionnoj informatsii [Fundamentals of Radar Pro-  
cessing Information. Part 1. Primary processing of radar information]*, VU PVO,  
SPb., 2002 (in Russian), 192 pp.
- [2] Kuk Ch., Bernfeld M., *Radiolokatsionnye signaly [Radar Signals]*, Sovetskoe radio,  
Moscow, 1971 (in Russian), 568 pp.
- [3] Skolnik M.I. (ed.), *Spravochnik po radiolokatsii [Radar Handbook]. V. 1*, Tekhnos-  
fera, Moscow, 2015 (in Russian), 627 pp.
- [4] Richards M.A., *Fundamentals of Radar Signal Processing*, Second Edition,  
McGraw-Hill Education, New York, 2014, 618 pp.