

# СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ, УПРАВЛЕНИЕ И ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ

УДК 621.396.96

## ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ В СМЕШАННОМ РЕЖИМЕ ЛОКАЦИИ

Василенко С.И. \*, Кудряшов М.Ю. \*\*, Прокофьев А.В. \*,  
Решетников А.А. \*

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

\*\*Тверской государственной университет, г. Тверь

---

*Поступила в редакцию 13.02.2022, после переработки 11.03.2022.*

---

В работе исследуется смешанный режим работы РЛС, включающий циклическую генерацию и прием отраженных импульсных сигналов разной длительности на разной несущей частоте. В таком режиме по техническим причинам происходит потеря информации об отдельных принятых импульсах. Предложен алгоритм интерполяции значений сигнала в потерянных импульсах. Алгоритм включает в себя устранение неоднозначности определения радиальной скорости цели из-за потери информации.

**Ключевые слова:** радиолокационные сигналы, измерение радиальной скорости, когерентная обработка сигналов, интерполяция.

*Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2022. № 1. С. 33–44.*  
<https://doi.org/10.26456/vtprmk632>

### Введение

Проблема однозначного измерения радиальной скорости воздушных объектов в импульсно-доплеровских РЛС с постоянным периодом излучения зондирующих импульсов (ЗИ) связана с ограничением, которое накладывает условие Котельникова при когерентном накоплении (КН) принятых сжатых радиоимпульсов [3]:

$$F_d = \frac{2v_r}{\lambda} < \frac{1}{2T}, \quad (1)$$

где  $F_d$  - частота Доплера в принятом радиоимпульсе,  $T$  - период повторения зондирующих импульсов,  $\lambda$  - длина волны.

Диапазон однозначно измеряемых радиальных скоростей задается интервалом  $[-v_{r \max}, v_{r \max}]$ , граничные значения которого, исходя из (1), задаются выражением

$$v_{r \max} = \frac{\lambda}{4T}. \quad (2)$$

---

© Василенко С.И., Кудряшов М.Ю., Прокофьев А.В., Решетников А.А., 2022

Радиальная скорость вне указанного интервала будет измеряться неоднозначно. В частности, если радиальная скорость цели  $v_r \in (v_{r\max}, 2v_{r\max})$ , то измеренное значение представляется как  $v_r^{izm} = v_r - 2v_{r\max}$ . Если  $v_r \in (-2v_{r\max}, -v_{r\max})$ , то  $v_r^{izm} = v_r + 2v_{r\max}$ . В общем виде такое неоднозначное измерение можно представить как

$$v_r^{izm} = \begin{cases} v_r \bmod (2v_{r\max}), & v_r \bmod (2v_{r\max}) \leq v_{r\max}, \\ v_r - 2v_{r\max}, & v_r \bmod (2v_{r\max}) > v_{r\max}. \end{cases} \quad (3)$$

Для увеличения интервала однозначно измеряемых радиальных скоростей используют вобуляцию периода повторения излучаемых зондирующих импульсов [1, 3]. Однако, существует ряд импульсно-доплеровских РЛС, например [5], в которых вобуляция не применяется и для этих станций актуальной является задача расширения интервала однозначно измеряемых значений  $v_r$ .

Исходя из (2), очевидно, что одним из способов увеличения  $v_{r\max}$  является уменьшение периода повторения зондирующих импульсов  $T$ , что позволит пропорционально расширить интервал однозначного измерения радиальной скорости.

Такой подход был применен в [5]. В этой станции с заданным временным интервалом повторения  $T$  осуществляется последовательное излучение двух отличающихся по длительности зондирующих импульсов на разных несущих частотах (Рис. 1а). При этом прием отраженных импульсов возможен только во временном интервале между временем завершения излучения второго импульса и началом повторного излучения первого импульса [4]. Назовем такой режим работы аппаратуры РЛС, как смешанный. В этом режиме первый более длительный зондирующий импульс (ЗИ1) предназначен для измерения координат целей в дальней зоне обнаружения, второй, более короткий по длительности (ЗИ2), предназначен для измерения координат целей в ближней зоне.

Согласно (2) интервал однозначного измерения радиальной скорости в таком смешанном режиме работы аппаратуры РЛС определяется интервалом повторения зондирующих импульсов  $T$ :  $[-v_{r\max}, v_{r\max}]$ .

Увеличить интервал однозначного измерения радиальной скорости, как было отмечено, можно за счет уменьшения интервала повторения зондирующих импульсов  $T$ . В смешанном режиме работы аппаратуры РЛС это можно сделать за счет более частого излучения короткого по длительности ЗИ2. В частности, в [5] было предложено уменьшить период повторения ЗИ2 до  $\bar{T} = T/4$  (Рис. 1б).

Однако, в силу отмеченных особенностей работы аппаратуры РЛС в смешанном режиме работы, излучить четвертый короткий зондирующий импульс за время  $T$  не представляется возможным.

Как показано на Рис. 1б излучение четвертого ЗИ2, помеченного буквой "d", приходится на момент излучения ЗИ1, в силу чего четвертый ЗИ2 не излучается и, соответственно, при обработке в пачке накопленных отраженных ЗИ2 будет отсутствовать каждый четвертый отраженный радиоимпульс.

В результате после применения когерентного накопления такой пачки наряду с измерением дальности и радиальной скорости истинной цели формируются измерения ложных целей, у которых дальность совпадает с измеренной дальностью истинной цели, а значения радиальных скоростей различаются.

Так, в РЛС [5] в режиме излучения ЗИ2, показанном на Рис. 1б, с периодом повторения  $T/4 = 1.275$  мс после КН пачки принятых радиоимпульсов будут полу-

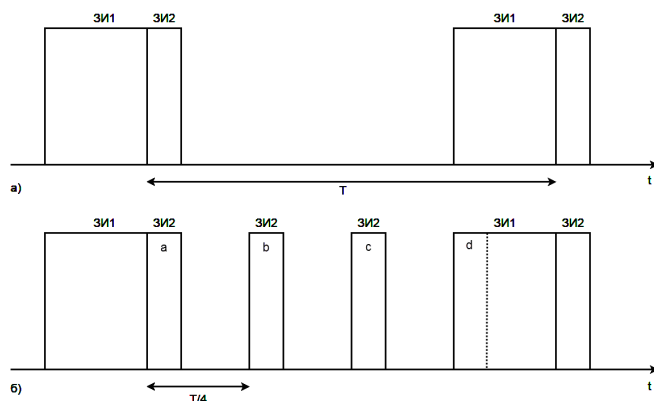


Рис. 1: Зондирующие импульсы в смешанном режиме работы

чены измеренные координаты как истинной цели на дальности 85 км с радиальной скоростью 300 м/с, так и три ложные цели на той же дальности, но с другими значениями радиальных скоростей (Рис. 2).

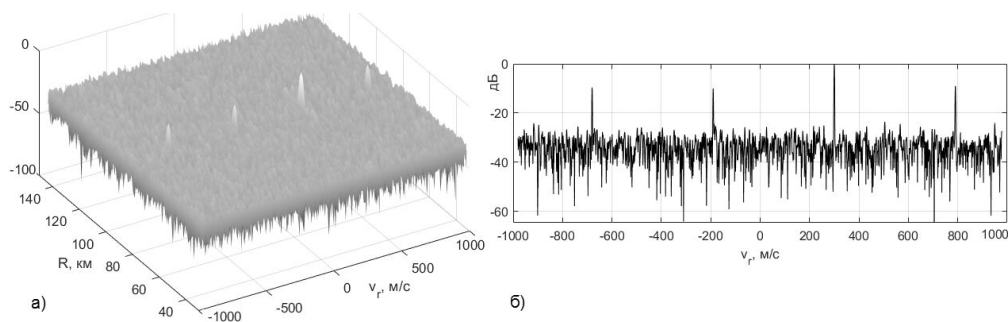


Рис. 2: а) Результат КН пачки отраженных ЗИ2 в режиме локации, показанной на Рис. 1б; б) срез по дальности

В этой связи, актуальной является задача устранения появления ложных целей и обеспечение однозначного измерения радиальной скорости в интервале  $[-4v_{r \max}, 4v_{r \max}]$  при работе станции в смешанном режиме, показанном на Рис. 1б).

В качестве решения поставленной задачи предложен алгоритм интерполяции отсутствующих в принятой пачке радиоимпульсов. Показано, что применение алгоритма не приводит к появлению ложных целей и, кроме того, обеспечивает однозначное измерение радиальной скорости в диапазоне  $[-4v_{r \max}, 4v_{r \max}]$ , характерном при обработке пачки со всеми принятыми радиоимпульсами с периодом повторения  $\bar{T} = T/4$ .

В целях иллюстрации особенностей работы алгоритма для расчетов и описания шагов алгоритма использованы параметры современной РЛС [5].

В первом разделе приведено описание предлагаемого алгоритма интерполяции.

Показано, каким образом осуществляется устранение неоднозначности определения радиальной скорости цели из-за потери информации.

Во втором разделе изложены основные результаты, полученные в результате моделирования.

## 1. Интерполяция отсутствующих отсчетов в пачке принятых радиоимпульсов

### 1.1 Модель сигнала

Когерентное накопление сжатых принятых радиоимпульсов представляет собой выборку значений сигналов из накопленной пачки на фиксированной дальности и преобразование полученных значений в частотную область [2]. Если выполнить такое преобразование для всех элементов дальности принятых сжатых радиоимпульсов в пачке, то по сформированной в результате двумерной функции неопределенности после пороговой обработки возможно измерение дальности и радиальной скорости цели.

Модель сигнала  $r_n$ , который в описанной обработке преобразуется в частотную область, можно представить как смесь полезного сигнала  $s_n$  и гауссовского белого шума  $w_n$

$$r_n = s_n + w_n. \quad (4)$$

Полезный сигнал  $s_n$  в (4) есть срез двумерной функции неопределенности на определенной фиксированной дальности [1]:

$$s_n = A \exp(j2\pi F_d(n-1)\bar{T}), n = 1, \dots, M, \quad (5)$$

где  $F_d$ —частота Доплера,  $\bar{T} = \frac{T}{4}$ —период повторения зондирующих импульсов,  $M$ —количество радиоимпульсов в пачке,  $A$ —значение амплитуды первого сжатого радиоимпульса в пачке на фиксированной дальности.

Согласно сделанным замечаниям каждый четвертый отсчет в сигнале  $r_n$  отсутствует, т.е.  $r_{4n} = 0, n = 1, \dots, \lfloor \frac{M}{4} \rfloor$ .

### 1.2 Интерполяция отсутствующих отсчетов в пачке принятых радиоимпульсов

С учетом того, что сигнал  $r_n$ , в котором  $r_{4n} = 0, n = 1, \dots, \lfloor \frac{M}{4} \rfloor$  является аддитивной смесью с шумом, предлагается выполнять интерполяцию нулевых значений в сигнале  $r_n$ , используя для этого все отсчеты сигнала. Данный подход основан на интерполяционной формуле Котельникова для восстановления сигнала по его дискретным отсчетам, с тем лишь исключением, что является более эффективным в вычислительном отношении.

Алгоритм интерполяции следующий:

1. В сигнале  $r_n$  выбираются нечетные отсчеты  $r_{2n-1}, n = 1, \dots, L = \lfloor \frac{M}{2} \rfloor$ .
2. По выбранным отсчетам формируется спектр сигнала:

$$R_k = \sum_{i=1}^L r_{2i-1} e^{-j2\pi ki/L}, k = 1, \dots, L.$$

3. Размерность сигнала  $R_k$  увеличивается в два раза. Т.е. посредством добавления нулей спектр  $R_k$  модифицируется в спектр  $\bar{R}_m$ :

$$\bar{R}_m = \begin{cases} R_j, & m = j = 1, \dots, \lfloor \frac{L}{2} \rfloor; \\ 0, & m = \lfloor \frac{L}{2} \rfloor + 1, \dots, 2L - \lfloor \frac{L}{2} \rfloor; \\ R_i, & m = 2L - \lfloor \frac{L}{2} \rfloor + 1, \dots, 2L; i = \lfloor \frac{L}{2} \rfloor + 1, \dots, L. \end{cases}$$

4. К спектру сигнала  $\bar{R}_m$  применяется обратное преобразование Фурье:

$$\bar{r}_n = \frac{1}{L} \sum_{k=1}^{2L} \bar{R}_k e^{j2\pi kn/2L}, n = 1, \dots, 2L.$$

5. Каждый 4-й отсчет сигнала  $r_n$  заменяется соответствующим интерполированным значением, взятым из сигнала  $\bar{r}_n$ :

$$r_{4n} = \bar{r}_{4n}, n = 1, \dots, \left\lfloor \frac{M}{4} \right\rfloor.$$

На Рис. 3 приведено сравнение работы предложенного алгоритма интерполяции с линейной интерполяцией по соседним отсчетам на примере комплексной синусоиды с нормированной частотой 0.249.

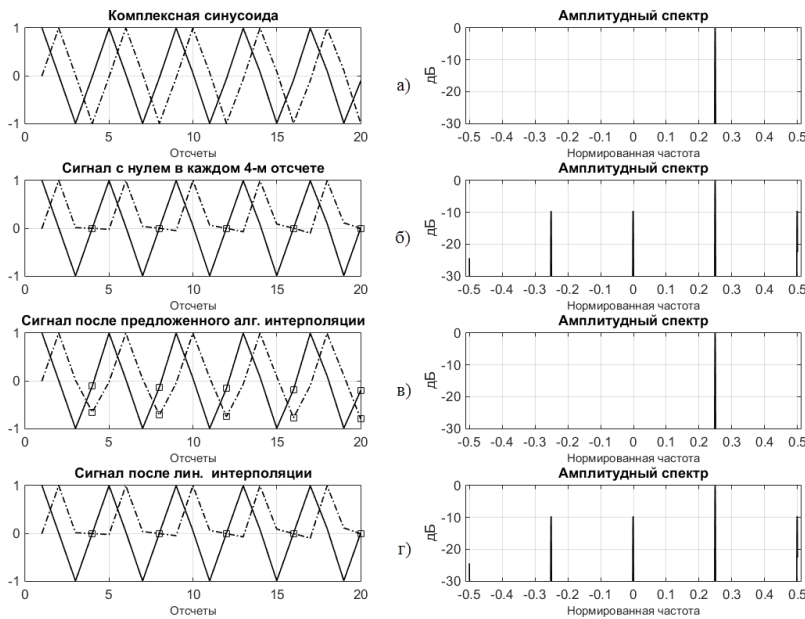


Рис. 3: а) Комплексная синусоида и ее амплитудный спектр; б) Комплексная синусоида с нулевыми значениями амплитуд в каждом 4-м отсчете и ее амплитудный спектр; в) Восстановленный сигнал после предложенного алгоритма интерполяции и его амплитудный спектр; г) Восстановленный сигнал после линейной интерполяции и его амплитудный спектр

Как показали результаты проведенных исследований ошибка при восстановлении сигнала с помощью линейной интерполяции может достигать более 100%, тогда как применение предложенного алгоритма интерполяции позволяет восстановить сигнал с ошибкой не превышающей 1%.

В результате применения предложенного алгоритма интерполяции к сигналу (4) формируется сигнал  $\tilde{r}_n$

$$\tilde{r}_n = \tilde{s}_n + \tilde{w}_n, \quad (6)$$

в котором содержится аддитивная смесь интерполированного полезного сигнала  $\tilde{s}_n$  и шума  $\tilde{w}_n$ .

Если в (5) частота сигнала  $|F_d| \leq \frac{1}{T}$ , то предложенный алгоритм интерполяции восстанавливает отсутствующие в  $r_n$  отсчеты и позволяет в результате однозначно измерять радиальную скорость в интервале  $[-2v_{r \max}, 2v_{r \max}]$ . Данный интервал соответствует периоду повторения зондирующих импульсов, равному  $2\bar{T}$ .

При этом, если частота сигнала  $|F_d| > \frac{1}{T}$ , то из-за наложения частот вместо одного пика в частотной области будет несколько, что и приводит к формированию ложных целей.

В следующем разделе доказывается утверждение, применение которого к рассматриваемой обработке радиолокационных сигналов позволяет однозначно измерять радиальную скорость в интервале  $[-4v_{r \max}, 4v_{r \max}]$ .

### 1.3 Устранение неоднозначности определения скорости цели из-за потери информации

**Утверждение 5.** Если в (5) частота сигнала  $|F_d| > \frac{1}{T}$ , то после умножения каждого 4-го отсчета в (6) на  $-1$  радиальная скорость однозначно измеряется в интервале  $[-4v_{r \max}, 4v_{r \max}]$ .

*Доказательство.* Согласно представленному в разделе 1.2 алгоритму интерполяции, каждый 4-й отсчет в (6) представляется как

$$\bar{r}_{4n} = \bar{s}_{4n} + \bar{w}_{4n}, n = 1, \dots, \left\lfloor \frac{M}{4} \right\rfloor. \quad (7)$$

Если  $F_d > \frac{1}{T}$ , то согласно теореме Котельникова имеет место наложение частот и в (6) вместо частоты  $F_d$  будет содержаться частота  $\bar{F}_d = F_d - \frac{2}{T}$ .

Тогда,  $\bar{s}_{4n}$  в (7) исходя из (5) можно записать как

$$\begin{aligned} \bar{s}_{4n} &= \tilde{A} \exp\left(j2\pi F_d(4n-1)\frac{T}{4}\right) = \tilde{A} \exp\left(j2\pi\left(\bar{F}_d + \frac{2}{T}\right)(4n-1)\frac{T}{4}\right) = \\ &= \tilde{A} \exp\left(j2\pi\bar{F}_d(4n-1)\frac{T}{4} + j2\pi\frac{2}{T}(4n-1)\frac{T}{4}\right) = \\ &= \tilde{A} \exp\left(j2\pi\bar{F}_d(4n-1)\frac{T}{4}\right) \cdot \exp(j\pi(4n-1)). \end{aligned}$$

Т.к.  $\exp(j\pi(4n-1)) \equiv -1$ , то

$$\bar{s}_{4n} = -1 \cdot \tilde{A} \left( \exp \left( j2\pi \bar{F}_d (4n - 1) \frac{T}{4} \right) \right).$$

Для случая, когда  $F_d < -\frac{1}{T}$  в (6) вместо частоты  $F_d$  будет содержаться частота  $\bar{F}_d = F_d + \frac{2}{T}$ .

Тогда

$$\begin{aligned} \bar{s}_{4n} &= \tilde{A} \exp \left( j2\pi F_d (4n - 1) \frac{T}{4} \right) = \tilde{A} \exp \left( j2\pi \left( \bar{F}_d - \frac{2}{T} \right) (4n - 1) \frac{T}{4} \right) = \\ &= \tilde{A} \left( \exp \left( j2\pi \bar{F}_d (4n - 1) \frac{T}{4} \right) - \exp \left( j2\pi \frac{2}{T} (4n - 1) \frac{T}{4} \right) \right) = \\ &= \tilde{A} \frac{\exp \left( j2\pi \bar{F}_d (4n - 1) \frac{T}{4} \right)}{\exp \left( j\pi (4n - 1) \right)}. \end{aligned}$$

Следовательно,

$$\bar{s}_{4n} = -1 \cdot \tilde{A} \left( \exp \left( j2\pi \bar{F}_d (4n - 1) \frac{T}{4} \right) \right). \quad (8)$$

□

## 2. Результаты применения алгоритма

Ниже представлены результаты измерения радиальной скорости, полученные с помощью разработанной имитационной модели, соответствующей смешанному режиму работы аппаратуры РЛС [5] (Рис. 16). В данном режиме период повторения ЗИ2  $T = 1.275$  мс. Представленные ниже результаты получены при  $\lambda = 5$  м.

Согласно (2) в данном режиме при условии отсутствия потери каждого 4-го принятого радиоимпульса в пачке при ее КН возможно однозначное измерение радиальной скорости цели в интервале  $[-980.4, 980.4]$  м/с.

Представленные ниже результаты получены в одинаковых условиях проведения вычислительных экспериментов, за исключением абсолютной скорости воздушных объектов.

На Рис. 4 приведены результаты КН пачки из 2048 принятых ЗИ2, отраженных от цели на расстоянии 85 км и имеющей радиальную скорость 300 м/с, с применением алгоритма интерполяции значений сигнала в потерянных импульсах. На Рис. 4а показан результат КН в плоскости "дальность-радиальная скорость", а на Рис. 4б приведен срез в этой плоскости по дальности.

При сравнении с результатом КН, полученным при тех же самых условиях, но без применения алгоритма интерполяции (Рис. 2), видно, что применение предложенного алгоритма интерполяции отсутствующих значений в потерянных импульсах позволяет однозначно измерить радиальную скорость цели без формирования ложных целей.

На Рис. 5 представлены результаты КН пачки из 2048 принятых ЗИ2, отраженных от цели на расстоянии 85 км и имеющей радиальную скорость 600 м/с.

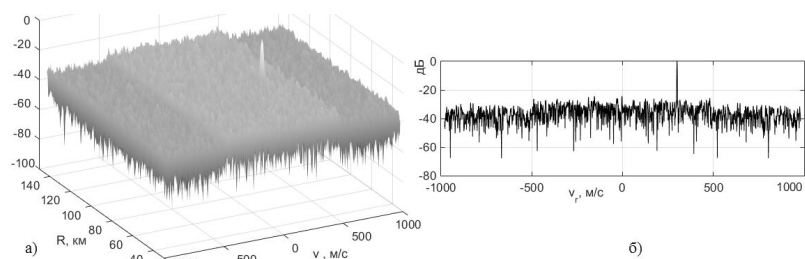


Рис. 4: а) Результат КН пачки отраженных ЗИ2 с применением алгоритма интерполяции значений сигнала в потерянных импульсах ( $v_r = 300$  м/с); б) срез по дальности

На Рис. 5а приведен результат, полученный в результате применения алгоритма интерполяции, а на Рис. 5б после последующего устранения неоднозначности измерения радиальной скорости посредством умножения интерполированных значений на -1.

Видно, что применение предложенного алгоритма интерполяции отсутствующих значений в потерянных импульсах с последующим устранением неоднозначности измерения радиальной скорости посредством умножения интерполированных значений на -1 позволяет однозначно измерить радиальную скорость цели.

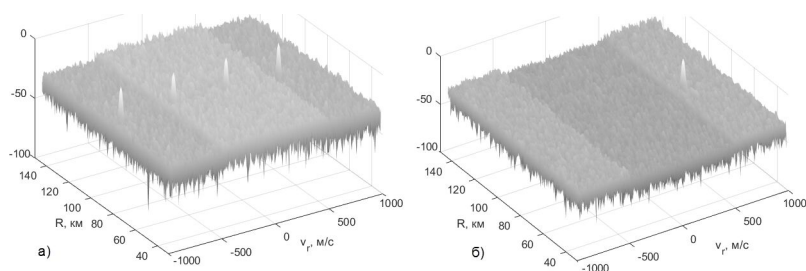


Рис. 5: Результат КН пачки отраженных ЗИ2 с применением алгоритма интерполяции значений сигнала в потерянных импульсах ( $v_r = 600$  м/с) б) после устранения неоднозначности определения радиальной скорости цели

## Заключение

В статье показано, что увеличение интервала однозначного измерения радиальной скорости в смешанном режиме локации в импульсно-доплеровских РЛС с постоянным периодом излучения зондирующих импульсов посредством уменьшения периода повторения зондирующих импульсов приводит к потере информации в отдельных принятых импульсах.

Предложен алгоритм интерполяции значений сигнала в потерянных импульсах с последующим устранением неоднозначности в измерении радиальной скорости цели из-за потери информации.



Установлено, что применение алгоритма интерполяции с анализом результатов когерентного накопления и последующем умножении, при необходимости, каждого четвертого отсчета на -1 позволяет устранить неоднозначность измерения радиальной скорости и, тем самым, расширить диапазон однозначного измерения радиальной скорости.

Полученные при проведении вычислительных экспериментов результаты подтверждают адекватность предложенного подхода.

Кроме того, изложенные в статье подходы к решению задачи верифицированы посредством внедрения в программное обеспечение действующих в настоящее время образцов станции [5].

### Список литературы

- [1] Проскурин В.И., Ягольников С.В., Шевчук В.И. Радиолокационное наблюдение. Методы, модели, алгоритмы. М.: Радиотехника, 2017. 368 с.
- [2] Попов Д.И. Измерение радиальной скорости цели // Известия высших учебных заведений. Радиоэлектроника. 2015. № 1. С. 53–59.
- [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.
- [5] Шустов Э.И., Новиков В.И., Щербинко А.В., Стучилин А.И. Радиолокационная станция кругового обзора “Резонанс”. Патент № 2624736 С2 РФ, МПК G01S 13/00. № 2015152359.

### Образец цитирования

Василенко С.И., Кудряшов М.Ю., Прокофьев А.В., Решетников А.А. Особенности измерения радиальной скорости в смешанном режиме локализации // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2022. № 1. С. 33–44. <https://doi.org/10.26456/vtprm632>

### 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)*

3. **Прокофьев Александр Валерьевич**  
научный сотрудник ЗАО НИЦ «Резонанс».

*Россия, 107076, г. Москва, ул. 1-я Бухвостова, д. 12/11, к. 20.*  
*E-mail: [alexandr.prk@gmail.com](mailto:alexandr.prk@gmail.com)*

4. **Решетников Александр Анатольевич**  
научный сотрудник ЗАО НИЦ «Резонанс».

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

## FEATURES OF MEASURING RADIAL VELOCITY IN MIXED LOCATION MODE

**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)

**Prokof'ev Aleksandr Valer'evich**

Researcher at ZAO SRC «Rezonans»

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

E-mail: [alexandr.prk@gmail.com](mailto:alexandr.prk@gmail.com)

**Reshetnikov Aleksandr Anatol'evich**

Researcher at ZAO SRC «Rezonans»

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

---

Received 13.02.2022, revised 11.03.2022.

---

The paper investigates the mixed mode of operation of the radar, including cyclic generation and reception of reflected pulse signals different durations at different carrier frequencies. In this mode for technical reasons, there is a loss of information about the individual received pulses. An algorithm for interpolation of signal values in lost pulses is proposed.

**Keywords:** radar signals, radial velocity measurement, doppler process, interpolation.

### Citation

Vasilenko S.I., Kudryashov M.Yu., Prokof'ev A.V., Reshetnikov A.A., "Features of measuring radial velocity in mixed location mode", *Vestnik TvGU. Seriya: Prikladnaya Matematika [Herald of Tver State University. Series: Applied Mathematics]*, 2022, № 1, 33–44 (in Russian). <https://doi.org/10.26456/vtpmk632>

### References

- [1] Proskurin V.I., Yagolnikov S.V., Shevchuk V.I., *Radiolokatsionnoe nablyudenie. Metody, modeli, algoritmy [Radar surveillance. Methods, models, algorithms]*, Radiotekhnika, M., 2017 (in Russian), 368 pp.
- [2] Popov D.I., "Measuring the radial velocity of the target", *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii Rossii. Radioelektronika*, 2015, № 1, 53–59 (in Russian).

- [3] Skolnik M.I. (ed.), *Spravochnik po radiolokatsii [Radar Handbook]*. V. 1, Tekhnosfera, 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.
- [5] Shustov E.I., Novikov V.I., Shcherbinko A.V., Stuchilin A.I., *Radiolokatsionnaya stantsiya krugovogo obzora "Rezonans"*, Patent № 2624736 C2 RF, MPK G01S 13/00. № 2015152359 (in Russian).