

# Измерение пеленгационной характеристики по данным испытаний Изделия от 2019-09-27

Цивлин Д.

19 ноября 2019 г.

## Содержание

<b>1 Введение</b>	<b>1</b>
<b>2 Основные обозначения</b>	<b>1</b>
<b>3 Исключение мешающего сигнала</b>	<b>2</b>
<b>4 Пеленгация</b>	<b>4</b>
<b>5 Визуализация на ПК</b>	<b>4</b>

## 1 Введение

В многоканальной радиолокации с временным разделением каналов широко используются электрические системы управления лучом (СУЛ). Для требуемого положения луча антенны по азимуту и углу места СУЛ вырабатывает команды фазовращателям с целью формирования в плоскости фазированной антенной решётки (ФАР) нужного фазового распределения [1]. Положение цели может отличаться от направления главного лепестка диаграммы направленности ФАР, и угловые координаты определяются с помощью систем пеленгования.

Далее будет проведен расчёт пеленгационной характеристики для системы с амплитудным пеленгованием. Для измерения угловой координаты цели в одной плоскости луч антенны последовательно занимает два положения, симметричные относительно равносигнального положения. Вычисляется отношение  $F$  энергии разностного и суммарного сигнала. Эта пеленгационная характеристика может быть сопоставлена с экспериментальным калибровочным графиком для получения углового положения цели относительно равносигнального положения.

Визуализация данных испытаний проводится с помощью графической программы для ПК под управлением ОС Windows [2]. Приводится описание пользовательского интерфейса программы. Программа была протестирована на 32-разрядных версиях ОС Windows XP, Windows 7, а также на ОС Windows 8.1.

## 2 Основные обозначения

При формулировке алгоритма измерения угловых координат цели будем придерживаться принятых ранее обозначений [3]. Доплеровское представление сигнала определяется по формуле:

$$Y_l^{(k)}(b) = \frac{1}{N_{FFT}} \sum_{n=0}^{N_{FFT}} w_n y_l^{(n)}(b) \exp \left\{ -\frac{2\pi i k n}{N_{FFT}} \right\}, \quad (1)$$

где  $N_{FFT}$  – число точек быстрого преобразования Фурье (БПФ),  $b$  – номер луча антенны ( $b = 0, \dots, 3$ ),  $y_l^{(n)}(b)$  – сигнал на выходе согласованного фильтра,  $n$  – номер периода ( $n = 0, \dots, N_p - 1$ ),  $N_p$  – число периодов в одном стробе ( $N_p = 1024$ ),  $k$  – индекс доплеровской частоты ( $k = 0, \dots, N_{FFT} - 1$ ),  $l$  – индекс временного дискрета ( $l = 0, \dots, N_{T_-} - 1$ ),  $N_{T_-} = 80$  – количество регистрируемых дискретов для одного периода. Оконная функция Хэмминга определена как

$$w_n = \frac{25}{46} - \frac{21}{46} \cos \left( \frac{2\pi n}{N_p - 1} \right), \quad n = 0, \dots, N_p - 1. \quad (2)$$

Интервал дискретизации времени  $T_s = 0.12$  мкс, несущая частота излучения РЛС  $f_c = 9500$  МГц. Длительность одного периода зондирования  $N_T = 200$  – временных дискретов.

Для установления соответствия между элементом разрешения  $(k, l)$  и размерными физическими величинами – радиальной скоростью цели и дальностью будем использовать соотношения

$$d(l) = c T_s \cdot l / 2, \quad (3)$$

где  $c = 2.99 \cdot 10^8$  м/с – скорость света в вакууме,  $d(l)$  – дальность цели. Для определения радиальной скорости  $v(k)$  запишем:

$$v(k) = \begin{cases} c k / (2 f_c) & k < N_{FFT}/2 \\ c (k - N_{FFT}) / (2 f_c) & k \geq N_{FFT}/2 \end{cases} \quad (4)$$

Доплеровское представление сигнала формируется отдельно для каждого ”строба” (строб включает в себя четыре разделённые по времени пачки зондирующих импульсов, каждая пачка длительностью  $N_p \cdot N_T \cdot T_s$  соответствует одному лучу). Поскольку отдельные стробы обрабатываются независимо, номер строба в обозначениях опущен.

## 3 Исключение мешающего сигнала

Обнаружение отраженного сигнала цели на фоне шумов в документе [3] предложено проводить при помощи критерия Фишера. Для построения выборочной статистики использовались значения квадрата модуля сигнала (1) в нескольких элементах разрешения  $(k_w^1, l), \dots, (k_w^{12}, l)$  вокруг текущего элемента  $(k, l)$ . При этом существенным предположением являлось равенство функций распределения шума для всех возможных элементов разрешения ( $k = 0, \dots, N_{FFT} - 1$  и  $l = 0, \dots, N_{T_-} - 1$ ).

При проведении практических испытаний выяснилось, что это предположение нарушено. Дисперсия шума зависела как от индекса доплеровской частоты  $k$ , так и от индекса временного дискрета задержки  $l$ . Не было выявлено зависимости закона распределения

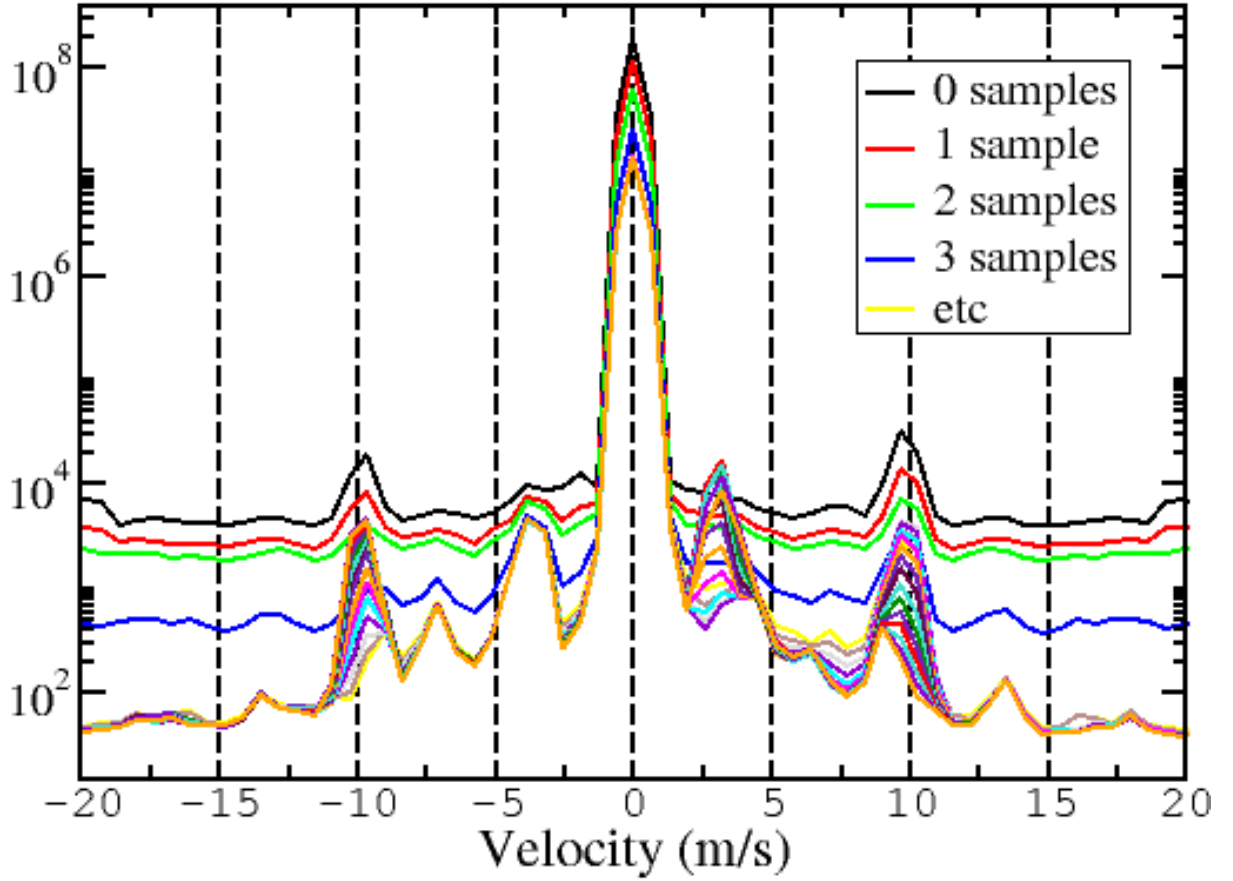


Рис. 1: Зависимость среднеквадратической энергии мешающего сигнала от доплеровского смещения и задержки. Доплеровское смещение отложено по горизонтальной оси в единицах (м/с). Значения задержки представлены в единицах дискретизации времени (120 нс) в виде отдельных кривых различного цвета. Представлен диапазон задержек от 0 до 19 временных дискретов. Среднеквадратическая энергия мешающего сигнала отложена по вертикальной оси в относительных единицах и в логарифмическом масштабе. Масштаб оси энергии одинаков для различных значений задержки.

шума от номера строка и от номера луча  $b = 0, \dots, 3$ . Для компенсации неравномерности распределения шума по элементами разрешения  $(k, l)$  был вычислен выборочный средний квадрат модуля зарегистрированного сигнала (1) с использованием  $N_{\text{strobs}} = 9217$  стробов, зарегистрированных в ходе испытаний 2019-09-27. Более формально, было вычислено выражение

$$M2(k, l) = \frac{1}{4 N_{\text{strobs}}} \sum_{\text{strobs}} \sum_{b=0}^3 \left| Y_l^{(k)}(b) \right|^2. \quad (5)$$

Полученные данные проиллюстрированы графически на рис. 3. Для всех временных задержек характерна резкая зависимость дисперсии шума от доплеровской скорости. С целью компенсации этой зависимости в статистику критерия Фишера [3] введён мультипликативный фактор  $M2^{-1}(k, l)$ . За счёт такой корректировки качество обнаружения отраженного сигнала цели резко повысилось.

Сочетание клавиш	Описание
Ctrl+P	вызов окна диалога изменения настроек
Ctrl+X, Ctrl+Q, Alt+X, Alt+Q	выход из приложения
Ctrl+(+)	увеличение масштаба по вертикальной оси вокруг центра индикатора
Ctrl+Shift+(+)	увеличение масштаба по горизонтальной оси вокруг центра индикатора
Ctrl+wheel up	увеличение масштаба по двум осям вокруг центра индикатора
Ctrl+(-)	уменьшение масштаба по вертикальной оси вокруг центра индикатора
Ctrl+Shift+(-)	уменьшение масштаба по горизонтальной оси вокруг центра индикатора
Ctrl+wheel down	уменьшение масштаба по двум осям вокруг центра индикатора
Ctrl+Shift+wheel up	увеличение масштаба вокруг курсора мыши
Ctrl+Shift+wheel down	уменьшение масштаба вокруг курсора мыши
Right, Left, Up, Down, mouse drag	перемещение центра индикатора
Right, Left, Up, Down	перемещение центра индикатора
Ctrl+0	восстановление масштаба по умолчанию

Таблица 1: Таблица команд управления для окна индикатора.

## 4 Пеленгация

Для последующего определения угловых координат цели используются значения энергии отраженного сигнала для двух лучей одного строка зондирования. Пусть для лучей  $b_1$  и  $b_2$  максимальная энергия сигнала зарегистрирована в элементах разрешения  $(k_1, l_1)$  и  $(k_2, l_2)$ , соответственно. Обозначим значения энергии

$$\Theta_1 = \left| Y_{l_1}^{(k_1)}(b_1) \right|^2 \quad (6)$$

$$\Theta_2 = \left| Y_{l_2}^{(k_2)}(b_2) \right|^2. \quad (7)$$

Тогда пеленгационная характеристика отклонения цели от равносигнального направления будет даваться выражением:

$$F = \frac{\Theta_1 - \Theta_2}{\Theta_1 + \Theta_2}. \quad (8)$$

## 5 Визуализация на ПК

Внешний вид программы визуализации представлен на рис. 2–5. Таблица 1 показывает список возможностей управления отображения координатной сетки и отметок целей в окне индикатора.

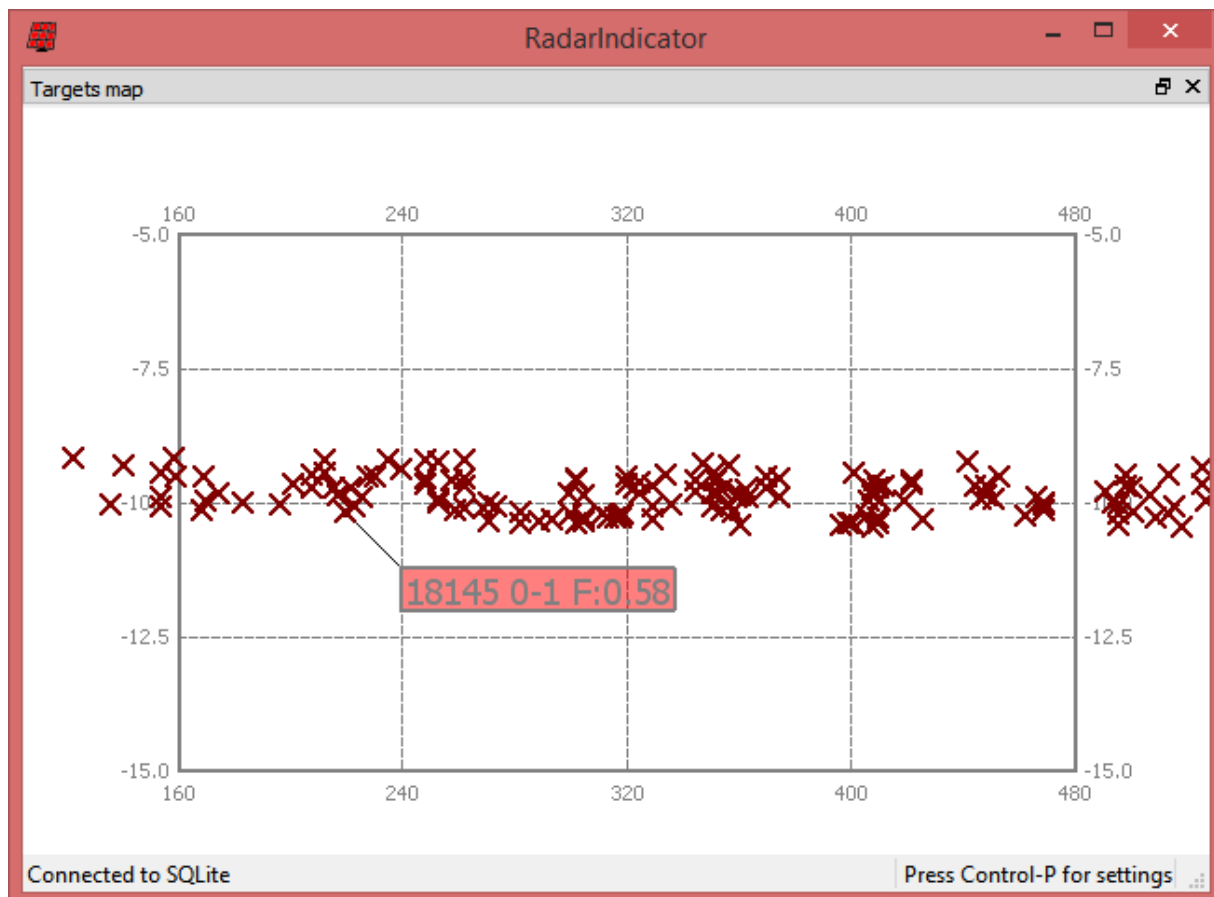


Рис. 2: В окне программы изображена координатная сетка "дальность–скорость". По горизонтальной оси отложена дальность цели (м), по вертикальной – радиальная скорость (м/с). Красными перекрестиями обозначены отметки цели. Код легенды составляют: порядковый номер строка, номера лучей в пеленгационной паре и пеленгационная характеристика  $F$ , определенная ранее.

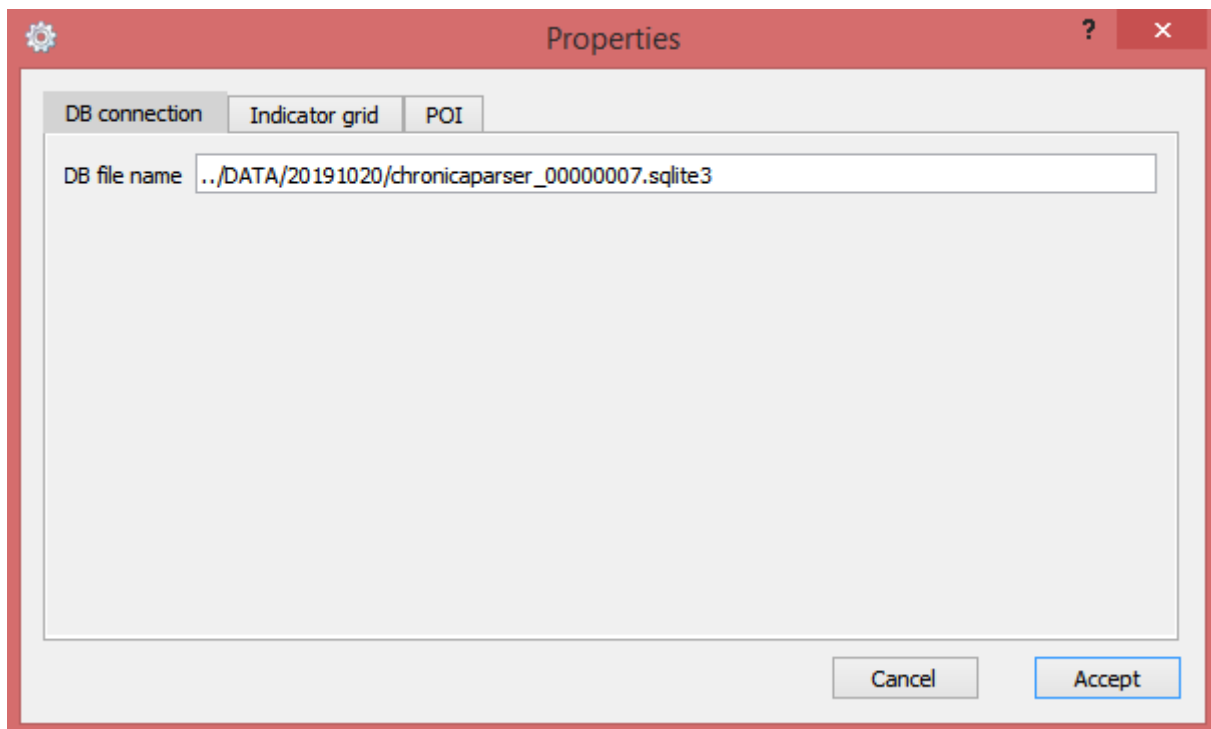


Рис. 3: Вкладка окна свойств, определяющая расположение файла базы данных.

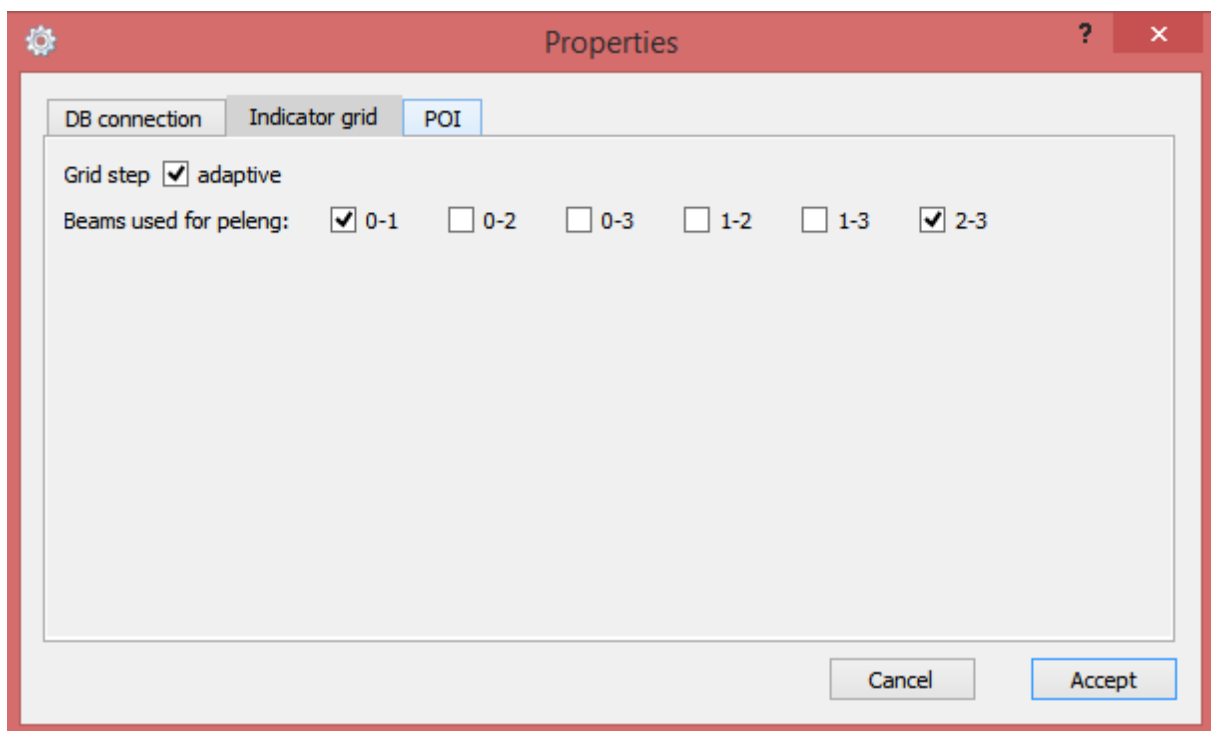


Рис. 4: Вкладка окна свойств, определяющая пары лучей для пеленгации.

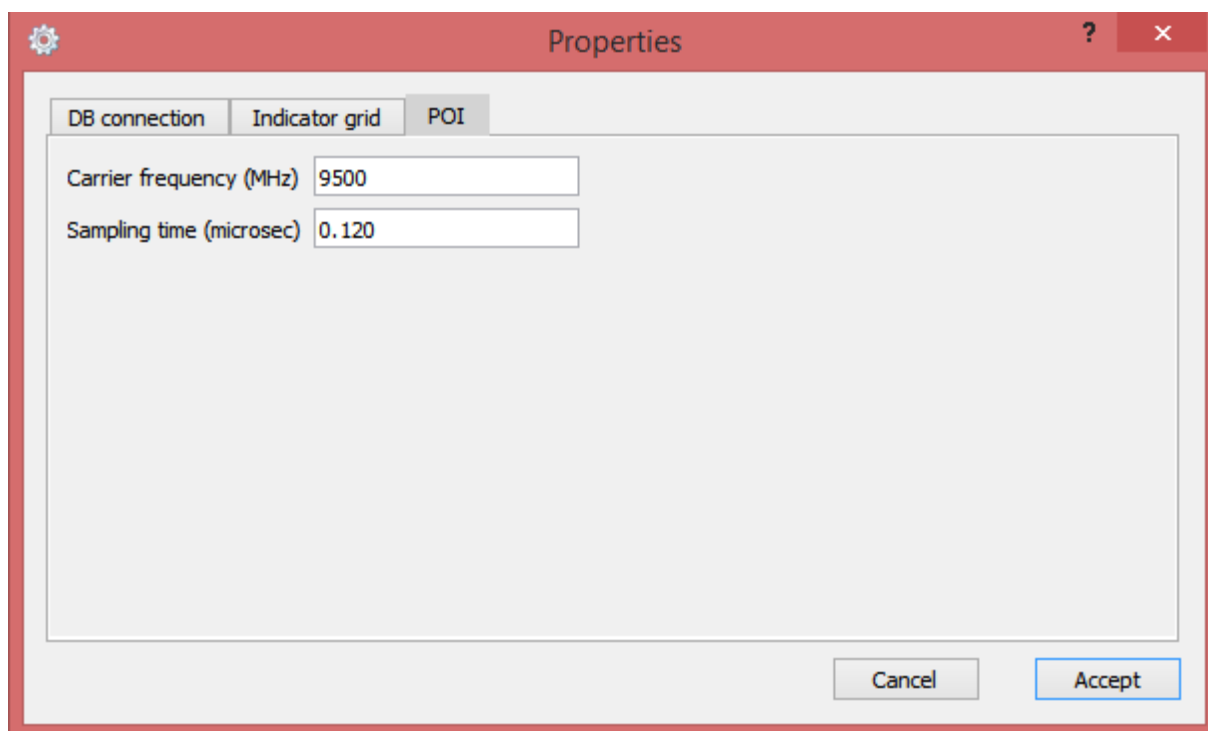


Рис. 5: Вкладка окна свойств, определяющая несущую частоту и интервал дискретизации времени.

## Список литературы

- [1] Шишов Ю.А., Ворошилов В.А., "Многоканальная радиолокация с временным разделением каналов", Москва, Радио и связь (1987), с. 77–79.
- [2] Цивлин Д.В., графическая программа для ПК "RadarIndicator.exe". [Ссылка для скачивания на Яндекс диск](#).
- [3] Цивлин Д.В., "Первичная обработка РЛ сигнала", файл [chronicapoi.pdf](#) формата PDF, 18.04.2019 г.