

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ СДЦ В ИМПУЛЬСНЫХ РЛС С ПОПАЧЕЧНОЙ ВОБУЛЯЦИЕЙ ИНТЕРВАЛОВ ЗОНДИРОВАНИЯ

Д. И. Леховицкий<sup>1</sup>, В. П. Рябуха<sup>1</sup>, Г. А. Жуга<sup>1</sup>, В. Н. Лаврентьев<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники  
 (61166, Харьков, пр. Ленина 14, НДЦ ИИРЭСТ, тел. (057) 702-11-38,  
 E-mail: [rvp@kture.kharkov.ua](mailto:rvp@kture.kharkov.ua))  
<sup>2</sup>КП "НПК "Искра" (69071, г. Запорожье, ул. Магистральная 84)

Results of the experimental studies of the MTD systems based on adaptive lattice filters in the 10-centimetric wave band pulse radar with batch-to-batch staggering of pulse repetition intervals are analyzed. The characteristics obtained using the models and recordings of the real clutters are compared to the MTD standard system characteristics. Recommendations referring to the promising directions of perfecting the MTD systems of such radars are substantiated by the comparison results.

**Введение.** Проведенный в [4] теоретический анализ показал, что во многих РЛС с попачечной вобуляцией интервалов зондирования (ПВ ИЗ), в частности, в [1], имеются значительные резервы повышения эффективности СДЦ. Очевидно, однако, что для принятия решения о модернизации штатной системы обработки конкретной РЛС такого анализа недостаточно, так как в нем недостаточно полно учитывается многообразие реальных ситуаций и их отличие от моделей теоретических исследований. Важнейшую роль для обоснования решений такого рода играют корректно поставленные эксперименты. В данной работе кратко описаны результаты полунатурных экспериментов в РЛС [1]. В них сопоставлена эффективность штатной фильтровой системы междупериодной обработки (МПО) сигналов на фоне пассивных помех (ПП) – отражений от местных предметов и облаков – и модернизированной системы МПО с адаптивными решетчатыми фильтрами (АРФ) подавления ПП [2, 3, 5] на входе доплеровских фильтров.

**1. Экспериментальная установка.** Схема экспериментальной установки показана на рис. 1. Входными воздействиями сравниваемых систем СДЦ служат  $M = n \cdot m$  – мер-

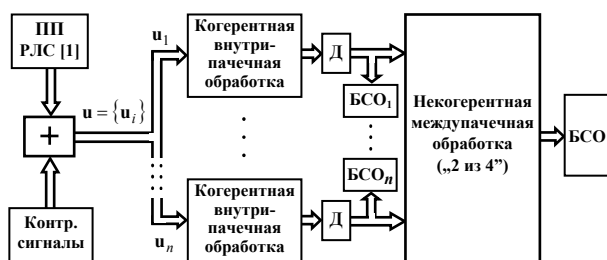


Рис. 1. Схема полунатурных экспериментов

ные векторы комплексных амплитуд (пакеты)  $U = \{u_i\}_{i=1}^n$ ,  $n = 4$  реальных отражений РЛС [1] из  $KK$  элементов дистанции данного азимутального направления в аддитивной смеси с контрольными сигналами. Примеры энергетических дальностно-азимутальных "портретов" ПП этой РЛС показаны на рис. 2 (отражения от местных предметов (а) и облаков (б)). Контрольные сигналы имитируют  $M = n \cdot m$  – мерные пакеты полезных сигналов заданной интенсивности от целей с заданными дальностями и радиальными скоростями.

Каждая  $m$  – элементная пачка  $u_i = \{u_{\ell}^{(i)}\}_{\ell=1}^m$  ( $i \in 1, n$ ) исходного пакета с одинаковыми

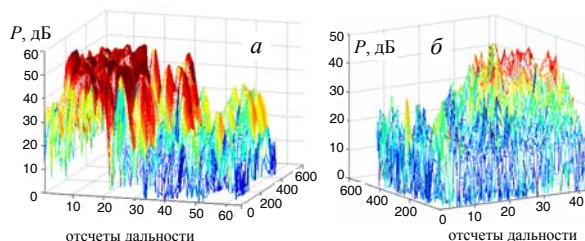


Рис. 2. Энергетические дальностно-азимутальные портреты ПП

вымыми в пределах пачки, но различными от пачки к пачке временными интервалами между импульсами вначале обрабатывается в своем блоке когерентной внутрипачечной обработки ([4], рис. 1). Продетектированные выходные сигналы доплеровских фильтров всех пачек далее обрабатываются в блоке некогерентной междупачечной обработки.

В блоках статистической обработки (**БСО**) определяются характеристики внутрипачечной **МПО** и соответствующих систем **СДЦ** в целом.

Объекты полунатурных экспериментов:

- **Штатная** неадаптивная система **СДЦ** РЛС с **ПВ ИЗ** [1].
- **Адаптивная** система **СДЦ** на основе **квазиобеляющего** решетчатого фильтра (**РФ**) (рис. 3) (**АСДЦ1**).
- **Адаптивная** система **СДЦ** на основе **квазиобращающего** **РФ** (рис. 3) (**АСДЦ2**).

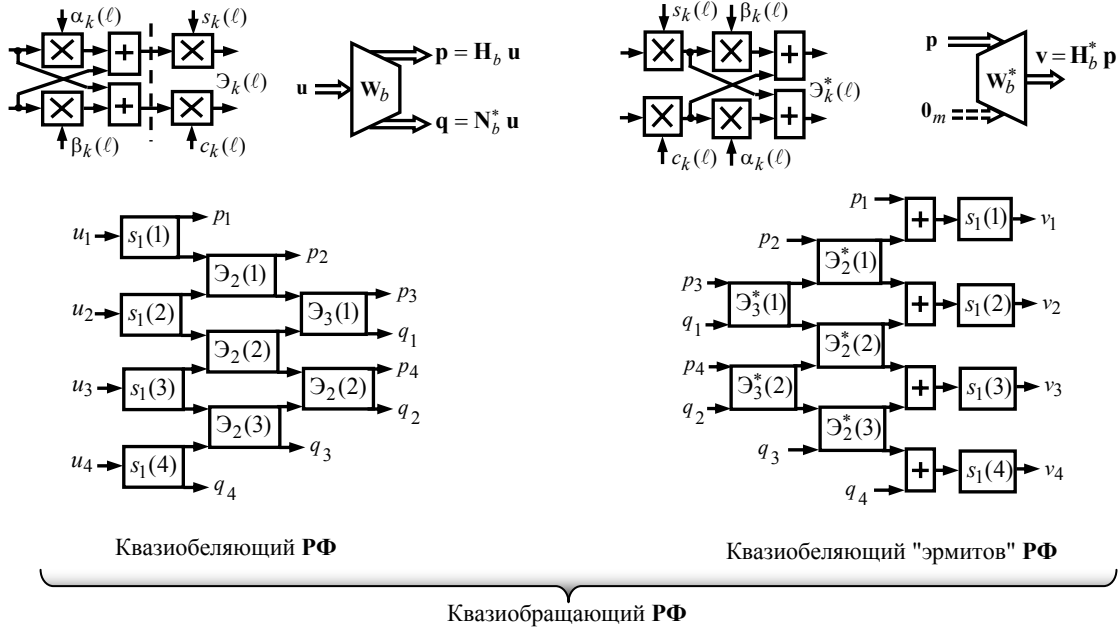


Рис. 3. Квазиобеляющий и квазиобращающий **РФ**

**2. Характеристики обнаружения при использовании только энергетического порога (СУЛТ Е).** На рис. 4 приведены экспериментальные характеристики обнаружения контрольных сигналов на фоне отражений от облаков (а) и местных предметов (б).

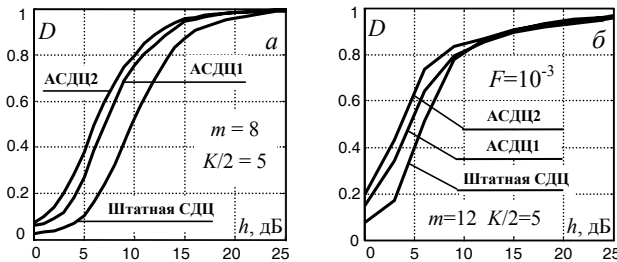


Рис. 4. Характеристики обнаружения сигналов на фоне отражений от облаков (а) и местных предметов (б)

Контрольные сигналы имитировали когерентные пачки с  $m=8$  (а) и  $m=12$  (б) радиоимпульсами (размеры пакетов  $M=4 \cdot m=32$  и  $M=4 \cdot m=48$ ) и с заданным отношением сигнал-шум (**ОСШ**)  $h$  от  $N \geq 1000$  целей, движущихся с радиальными скоростями, равномерно заполняющими диапазон

**(ВПО)** рассчитана как отношение числа сигналов, превысивших энергетический порог для условной вероятности ложной тревоги (**ВЛТ**)  $F=10^{-3}$ , к их общему числу  $N$ . **АРФ** настроен по обучающей выборке **ПП** объема  $K/2=5$ .

Из рис. 4 видно, что выигрыш адаптивной обработки в пороговом сигнале по сравнению со штатной неадаптивной обработкой ([4], рис. 1) в условиях облаков составляет примерно 4 дБ, а в условиях местных предметов – примерно 3 дБ. Большой выигрыш в условиях облаков обусловлен ростом относительного уровня боковых лепестков и более широким главным лепестком **ЧХ** фильтров меньшего размера  $m$  в штатной системе **СДЦ**, лучшим отслеживанием формы спектра помехи в **АСДЦ**, а также большим интервалом стационарности отражений от облаков, чем от местных предметов.

Значимость этих выигрышей наглядно иллюстрируют экспериментальные скоростные характеристики (СХ) сравниваемых систем СДЦ, приведенные на рис. 5 для ПП от облаков (а) и местных предметов (б).

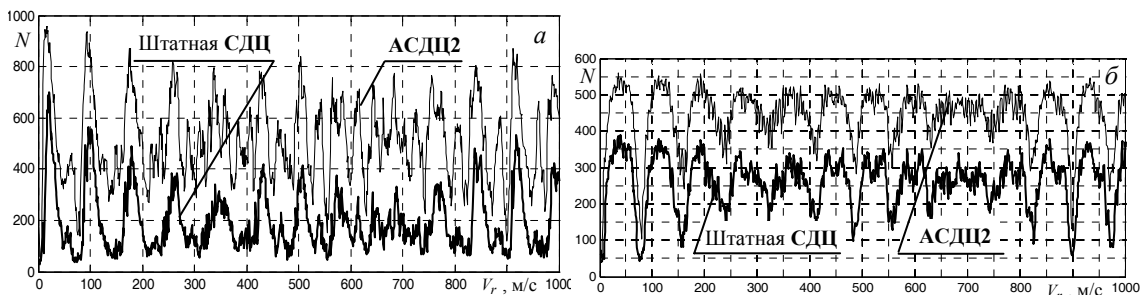


Рис. 5. Скоростные характеристики штатной СДЦ и АСДЦ2 в условиях отражений от облаков (а) и местных предметов (б)

По горизонтальной оси здесь отложена радиальная скорость (в м/с) целей с ОСШ  $h = 6$  дБ (а) и  $h = 5$  дБ (б) отраженного от них нефлуктуирующего сигнала. По вертикальной оси отложено число целей  $N$  с соответствующей скоростью, обнаруженных при использовании только энергетического порога, выбранного для ВЛТ  $F = 10^{-3}$ . Число целей с каждой скоростью, равномерно расположенных в дальностно-азимутальной зоне ПП, в этом эксперименте равнялось 1091 (а) и 657 (б). Видно, что относительно невысокие выигрыши в пороговом сигнале соответствуют существенным выигрышам в числе обнаруживаемых целей.

**3. Характеристики обнаружения при использовании энергетического и скоростного порогов.** В РЛС с ПВ ИЗ [1] используется оригинальная последетекторная (некогерентная) междупачечная обработка (рис. 6), дополнительно компенсирующая ПП от источников, движущихся с малыми радиальными скоростями, в том числе точечных по дальности (например, “ангелов”).

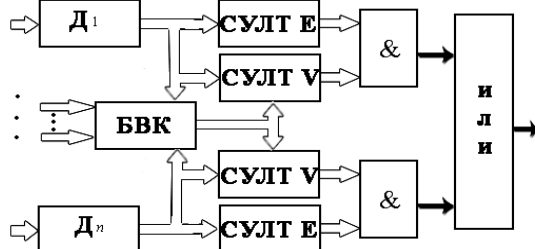


Рис. 6. Схема междупачечной обработки

Продетектированные выходные сигналы  $m$  доплеровских фильтров каждой из  $n = 4$  пачек пакета сравниваются с энергетическим (СУЛТ Е) и, через блок вычисления “контрастов” (БВК), со скоростным (СУЛТ V) порогами. Если сигнал хотя бы одного из доплеровских фильтров пачки преодолевает

оба порога, считается, что в этой пачке обнаружена цель. Если таких пачек не менее двух (критерий “2 из 4”), принимается решение о наличии цели и в пакете (в проверяемом импульсном объеме) в целом.

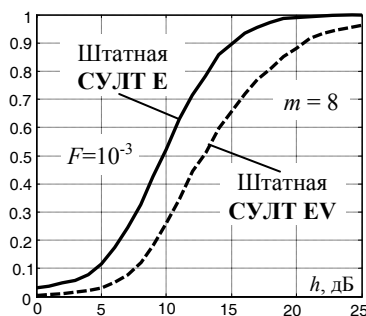


Рис. 7. Характеристики обнаружения штатной СДЦ

Однако при высоком уровне остатков ПП на выходе доплеровских фильтров использование скоростного порога может ухудшать качество обнаружения высокоскоростных целей. Так, на рис. 7 для штатной системы СДЦ показаны экспериментальные характеристики обнаружения сигналов на фоне отражений от облаков. Из кривых обнаружения видно, что применение СУЛТ V приводит к снижению ВПО с величины  $D = 0.7$  (СУЛТ Е) до величины  $D = 0.42$  (СУЛТ EV) ( $\Delta D = 0.28$ ). С другой стороны, при  $D = 0.7$  проигрыш

в уровне порогового сигнала составляет 3.8 дБ.

Этот недостаток штатной СУЛТ V порожен ее спецификой как параметрической системы, свойства которой зависят от входных воздействий. При этом характеристики

СУЛТ V рассчитываются для идеализированных условий отсутствия шума и ПП, а в реальных помеховых условиях модули выходных сигналов доплеровских фильтров могут меняться в широких пределах, и, следовательно, реальные характеристики СУЛТ V не совпадают с идеализированными.

В связи с этим следовало ожидать, что введение компенсаторов ПП на основе АРФ, уменьшающих уровень этих остатков, должно ослабить этот недостаток штатной системы СДЦ при одновременном сохранении ее достоинств. Так, на рис. 8, а приведены экспериментальные СХ штатной СДЦ и АСДЦ2 в условиях ПП от облаков при СУЛТ EV для 5-го из набора скоростных порогов СУЛТ V, а на рис. 8, б – фрагмент СХ, соответствующий зоне скоростной режекции.

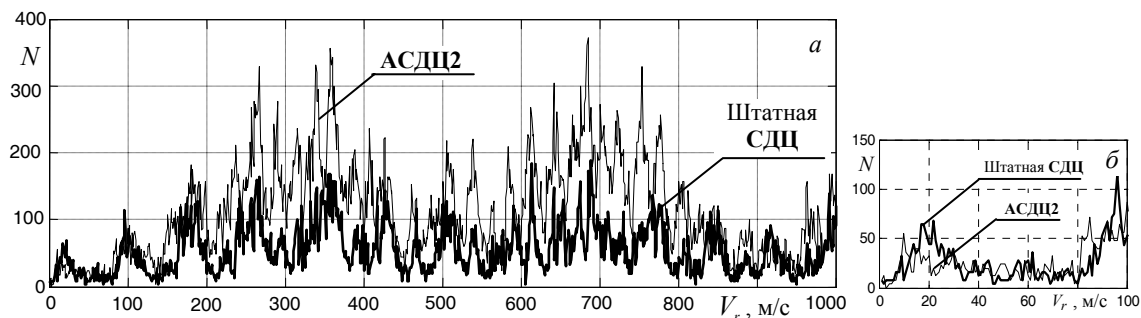


Рис. 8. Скоростные характеристики на фоне отражений от облаков СУЛТ E и СУЛТ V

Как видно из рисунка, адаптивные системы СДЦ на основе АРФ (АСДЦ) остаются эффективнее штатной СДЦ не только при отсутствии, но и при включении СУЛТ V. Выигрыш в числе обнаруженных целей может достигать 1.5 – 2, а в некоторых точках скоростной оси – и более раз. Зона режекции (рис. 8, б) с учетом первой слепой скорости может достигать диапазона 0 – 90 м/с, причем АСДЦ не ухудшает зону режекции по сравнению со штатной СДЦ.

**Заключение.** Проведенный полунатурный эксперимент показал, что имеющиеся резервы повышения защищенности от пассивных помех РЛС с попачечной вобуляцией интервалов зондирования могут быть реализованы за счет введения адаптивных решетчатых фильтров подавления пассивных помех на входе системы доплеровских фильтров, обычно использующихся в штатных системах СДЦ таких РЛС.

#### Литература

1. Май И. Д., Каспирович А. Г., Винник В. А., Донченко А. И., Мотыль В. Н., Антоненко В. Г. Радиолокационная станция 36Д6. Эксплуатация и техническое обслуживание: Учебное пособие. – Запорожье, КЭМЗ "Искра", 2003.
2. Радиоэлектронные системы. Основы построения и теория: Справочник/ Я. Д. Ширман, С. Т. Багдасарян, А. С. Маляренко, Д. И. Леховицкий, С. П. Лещенко и др. / Под ред. Я. Д. Ширмана. – М.: Радиотехника, 2007.
3. Леховицкий Д. И. Обобщенный алгоритм Левинсона и универсальные решетчатые фильтры // Изв. вузов. Радиофизика. – Нижний Новгород, 1992, т.35, № 9 – 10.
4. Леховицкий Д. И., Рябуха В. П., Жуга Г. А. Резервы совершенствования систем СДЦ импульсных РЛС с попачечной вобуляцией интервалов зондирования. – Тезисы доклада, МРФ-2008, с. 16 – 19.
5. Леховицкий Д. И., Рябуха В. П., Жуга Г. А., Лаврентьев В. Н. Экспериментальные исследования систем СДЦ на основе адаптивных решетчатых фильтров в импульсных РЛС с попачечной вобуляцией периодов зондирования. – Х.: Прикладная радиоэлектроника, т.7, 2008, №1, с. 3–16.