

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА АЛГОРИТМА ДПФ-РЕЖЕКЦИИ УЗКОПОЛОСНОЙ ПОМЕХИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФУНКЦИЯХ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ВЗВЕШИВАНИЯ

Кузьмин Е.В., к.т.н., доц., доцент кафедры радиотехники ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», e-mail: ekuzmin@sfu-kras.ru, kuzminev@mail.ru

QUALITY INDICATORS OF THE DFT-BASED ALGORITHM FOR NARROW-BAND INTERFERENCE REJECTION UNDER VARIOUS FUNCTIONS OF THE PRELIMINARY WEIGHING

Kuzmin E.V.

The efficiency of the narrow-band interference rejection algorithm based on direct and inverse discrete Fourier transform of a weighted realization has been studied. The possible behavior of the quality indices of interference rejection with different number of removed frequency samples and with weighing of the realization by different weight functions: rectangular, sine-window, Hann, Blackman, Parzen, and cubic variation of the Henning weight function was studied. A color graphical visualization of the interference suppression gain with controlled element-by-element removal of frequency samples is given, and the resulting deformation of the useful output effect of quadrature correlation processing is demonstrated. Interference suppression coefficient and signal power loss factor are obtained, as well as the subinterference visibility coefficient for which the dependence on the frequency position of the interference is demonstrated. Families of statistical dependencies of aggregate processing, including the considered DFT-rejection of interference and subsequent a spread spectrum signal searching based on quadrature correlation processing of a «cleaned» from interference realization, are presented.

Key words: narrow-band interference, interference rejection, weight function, discrete Fourier transform, spread spectrum signal, signals searching, interference suppression coefficient, signal power loss factor.

Ключевые слова: узкополосная помеха, режекция помехи, весовая функция, дискретное преобразование Фурье, шумоподобный сигнал, поиск сигнала, коэффициент подавления помехи, коэффициент прохождения сигнала.

Введение

Режекция узкополосных помех (УП) на основе прямого и обратного дискретного преобразования Фурье (ДПФ, ОДПФ), а также на основе «субканальной» обработки, известна не первый десяток лет [1-6]. Данный подход, который по тексту статьи называется ДПФ-режекцией, обладает рядом преимуществ перед адаптивной трансверсальной фильтрацией, поэтому потенциально более интересен для практической реализации [7, с. 777]. Одним из вопросов, требующих обязательного уточнения для эффективного функционирования ДПФ-режектора, является рациональный выбор весовой функции (ВФ) предварительного взвешивания узкополосной помехи, что необходимо для минимизации отрицательных эффектов, возникающих при выполнении прямого и обратного ДПФ [5]. В известных публикациях [6; 7; 8] данный вопрос для обработки фазоманипулированного шумоподобного сигнала (ШПС) на фоне УП частично рассмотрен. В трудах [6; 7] применяется ВФ Парзена, а в работе [8] показано, что предпочтительнее оказывается кубическая вариация ВФ Хеннинга. В работе [6] в качестве критерия качества режекции помехи применяется отношение «сигнал/шум» на выходе коррелятора в зависимости от частоты помехи.

Исследована эффективность алгоритма частотной режекции узкополосной помехи на основе прямого и обратного дискретного преобразования Фурье взвешенной реализации. Изучено возможное поведение показателей качества режекции помехи при различном количестве удаляемых частотных выборок и при взвешивании реализации различными весовыми функциями: прямоугольной, синус-окном, Ханна, Блэкмана, Парзена, а также кубической вариацией весовой функции Хеннинга. Дана цветовая графическая визуализация процесса подавления помехи при контролируемом поэлементном удалении частотных выборок и продемонстрирована возникающая при этом деформация полезного выходного эффекта квадратурной корреляционной обработки. Получены коэффициенты подавления помехи и прохождения сигнала, а также коэффициент подпомеховой видимости, для которого продемонстрирована зависимость от частного положения помехи. Представлены семейства статистических зависимостей совокупной обработки, включающей рассматриваемую ДПФ-режекцию помехи и последующий поиск сложного сигнала на основе квадратурной корреляционной обработки «очищенной» от помехи реализации.

В монографии [7] используются группа критериев и при фиксированных отношениях «помеха/сигнал» сравниваются две различные процедуры подавления помехи, одна из которых является ДПФ-режектором с ВФ Парзена. В [8] применён вероятностный критерий – вероятность правильного выполнения поиска ШПС при изменяющемся отношении «помеха/сигнал». Логика совместного функционирования процедуры предварительной ДПФ-режекции помехи и процедуры корреляционной обработки допускает отдельное рассмотрение данных процедур и их показателей качества. Поскольку проце-

дура ДПФ-режекции может применяться с различными ВФ предварительного взвешивания реализации, то возникает задача детального сравнения характеристик ДПФ-режекторов с различными ВФ, и в первую очередь с обоснованно выбранными в [6] и [8]. Проведению такого исследования и посвящена данная работа.

Цель статьи – сравнительный анализ эффективности ДПФ-режекторов при различных весовых функциях предварительного взвешивания реализации узкополосной помехи с различным частотным положением в условиях вариации числа удаляемых частотных выборок.

Алгоритм ДПФ-режекции узкополосной помехи и его показатели качества

Алгоритм подавления узкополосной помехи на основе ДПФ и ОДПФ является общеизвестным и предполагает выполнение следующих операций: умножение дискретизированной с шагом T_d реализации помехи (или аддитивной смеси ШПС и доминирующей помехи) $m_n = m(nT_d)$ на отсчёты весовой функции $w_n = w(nT_d)$, $n=0,1,2,\dots$; взятие ДПФ $F\{\}$ от полученного произведения $S_k = F\{m_n w_n\}$; удаление (обнуление, ограничение) заданного количества частотных выборок $N_{уд}$ в полученном спектре произведения S_k , принимающих максимальные значения, либо удаление группы частотных выборок в спектре S_k , превышающих задаваемое пороговое значение $|S_k| \geq h$ (спектрально-пороговый способ – СПС), или умножение спектра на функцию коэффициента передачи режекторного вида, что приводит к обработанному спектру \tilde{S}_k ; взятие ОДПФ $F^{-1}\{\}$ от обработанного спектра $\tilde{m}_n = F^{-1}\{\tilde{S}_k\}$ – получение временной реализации с подавленной помехой [4; 5; 6; 7].

Для сравнительного анализа эффективности алгоритма ДПФ-режекции узкополосной помехи при различных весовых функциях в работе приняты следующие универсальные показатели качества: коэффициент подавления помехи $K_{под}$, определяемый отношением мощности помехи на входе $m(t)$ к мощности помехи

$\tilde{m}(t)$ на выходе режектора; коэффициент прохождения сигнала K_c , определяемый отношением мощности полезного сигнала на выходе режектора к мощности сигнала на его входе; а также суммарный коэффициент эффективности $K_{сум} = K_{под} K_c$ (так называемый коэффициент подпомеховой видимости), определяемый произведением коэффициента подавления помехи и коэффициента прохождения сигнала [9, с. 388].

Результаты вычислительного моделирования ДПФ-режектора

На рис. 1-10 представлено графическое отображение некоторых частных результатов проведённого моделирования алгоритмов ДПФ-режекции гармонической помехи, которая в силу особенностей цифровой обработки может обладать «пьедесталом» в спектре (эффект «растекания» спектра) и занимать полосу частот, представленную несколькими частотными выборками, что позволяет считать её узкополосной. На рис. 1 и рис. 2 показаны семейства временных диаграмм помехи $\tilde{m}(t)$, подвергаемой ДПФ-режекции с поэлементным удалением частотных выборок, обладающих максимальными значениями. Зависимости, показанные на рис. 1, получены при отсутствии предварительного взвешивания реализации помехи, а рис. 2 демонстрирует пример применения для данных целей весовой функции вида синус-окно [10, с. 40]. Применённая на рис. 1 и рис. 2 цветовая дифференциация отображённых зависимостей, позволяющая визуально оценить степень «снижения присутствия» помехи, соответствует различному количеству удаляемых частотных выборок ($N_{уд} = 1, 2, 3, 4, 5, 10, 25, 50, 100, 250$). Синий сплошной фон на рис. 1 соответствует исходной помехе $m(t)$, которую на рис. 2 не видно в силу принятого там масштаба; оранжевым цветом показан случай удаления из спектра помехи одной частотной выборки $N_{уд} = 1$; жёлтым – двух $N_{уд} = 2$; фиолетовым – $N_{уд} = 3$; зелёным – $N_{уд} = 4$ и т.д. По осям абсцисс на рис. 1 и рис. 2 отложено безразмерное время – нормировка выполнена к интервалу наблюдения T_n . Количество отсчётов реализации помехи $T_n/T_d = 4096$.

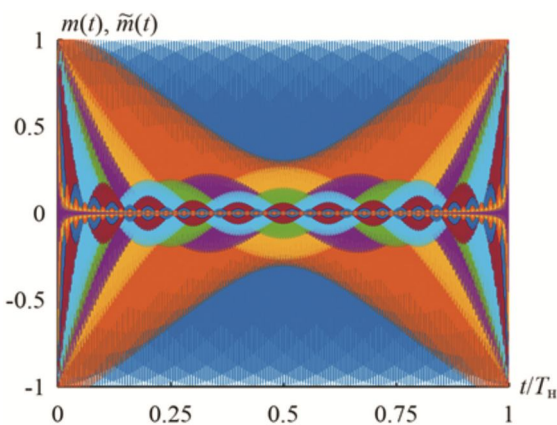


Рис. 1. Графическая иллюстрация подавления гармонической помехи (без взвешивания)

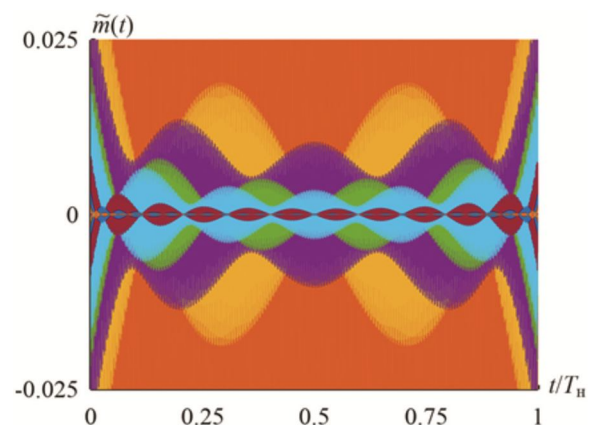


Рис. 2. Графическая иллюстрация подавления гармонической помехи (взвешивание синус-окном)

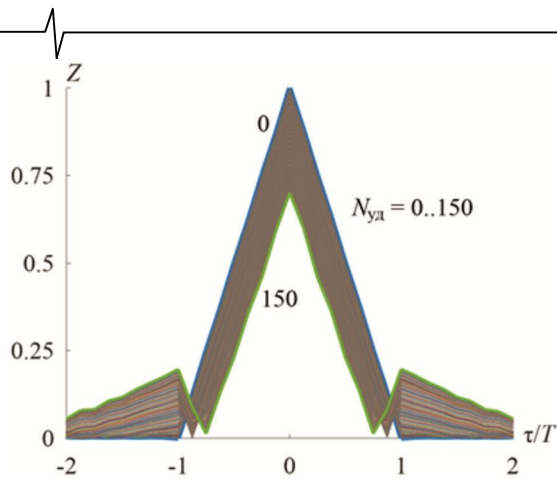


Рис. 3. Облако выходных эффектов процедуры поиска ШПС при различном количестве удаляемых частотных выборов (без взвешивания)

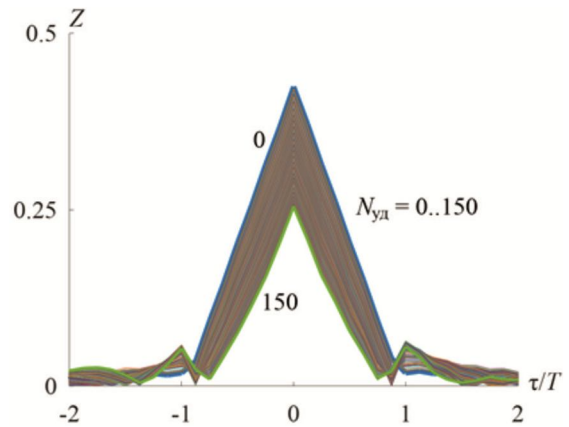


Рис. 4. Облако выходных эффектов процедуры поиска ШПС при различном количестве удаляемых частотных выборов (взвешивание ВФ Хеннинга)

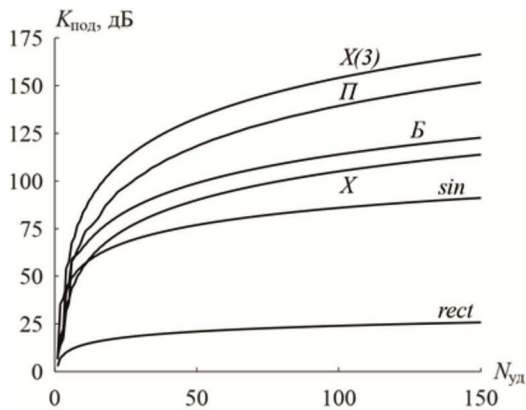


Рис. 5. Зависимость коэффициента подавления помехи от количества удаляемых частотных выборов (фиксированная частота помехи)

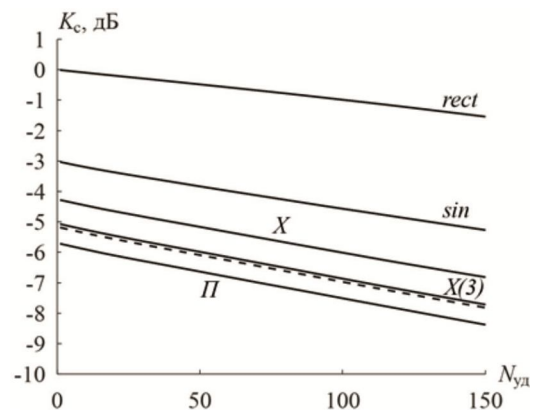


Рис. 6. Зависимость коэффициента прохождения сигнала от количества удаляемых частотных выборов (главный лепесток спектра)

На рис. 3-8 приведены зависимости показателей качества алгоритмов ДПФ-режекции гармонической помехи при обработке ШПС с фазовой манипуляцией, а также графическая иллюстрация деформации выходного эффекта процедуры поиска ШПС при осуществлении режекции. На рис. 3 и рис. 4 представлены семейства нормированных выходных эффектов Z процедуры поиска ШПС при различном количестве удаляемых частотных выборов $N_{уд} = 0..150$. Нормировка значений по осям ординат (рис. 3, 4) выполнена к максимальному значению выходного эффекта для случая отсутствия ДПФ-режекции ($N_{уд} = 0$) и взвешивания, а по оси абсцисс отложено отношение временного смещения к длительности элементарного импульса T псевдослучайной последовательности, порождающей ШПС. Рис. 3 соответствует случаю отсутствия предварительного взвешивания реализации ШПС, а рис. 4 получен при использовании кубической вариации ВФ Хеннинга [10, с. 40]. На рис. 5 показаны зависимости коэффициента подавления $K_{под}$ помехи с фиксированной частотой¹ от количества удаляемых частотных выборов $N_{уд}$

при предварительном взвешивании различными весовыми функциями, включая случай прямоугольной (единичной) ВФ. На рис. 6 представлены зависимости коэффициента прохождения сигнала K_c от $N_{уд}$. На рис. 7 и рис. 8 представлены зависимости суммарного коэффициента эффективности подавления помехи $K_{сум} = K_{под} K_c$ (коэффициент подпомеховой видимости) от $N_{уд}$ и нормированной² частоты ω_n гармонической помехи соответственно. Зависимости, изображённые на рис. 5-8, отмечены следующими буквенными обозначениями: подпись «rect» означает прямоугольную весовую функцию [10, с. 37], т.е. отсутствие взвешивания реализации; «sin» соответствует предварительному взвешиванию реализации синус-окном [10, с. 40]; «X» означает применение для данных целей ВФ Ханна [10, с. 41]; «Б» и пунктир (рис. 6, 8) – ВФ Блэкмана [10, с. 43]; «П» и непронумерованная (рис. 8) – ВФ Парзена [10, с. 51]; «X(3)» – соответствует кубической вариации ВФ Хеннинга [10, с. 40]. Зависимости суммарных коэффициентов эффективности ДПФ-режекции помехи – коэффициентов подпомеховой видимости от нормированной частоты по-

¹ Некратной значениям $1/T_d$ и $1/T_n$.

² Нормировка выполнена к центральной частоте ШПС.

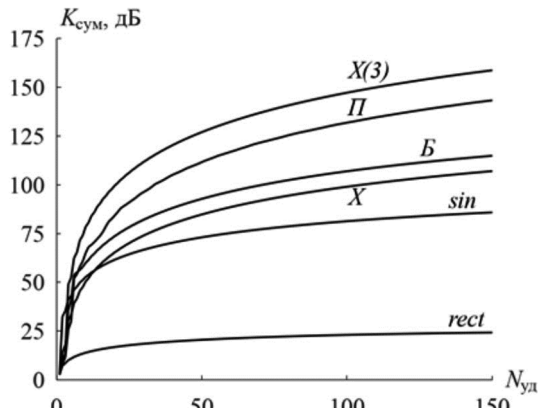


Рис. 7. Зависимость коэффициента подпомеховой видимости от количества удаляемых частотных выборок (фиксированная частота помехи)

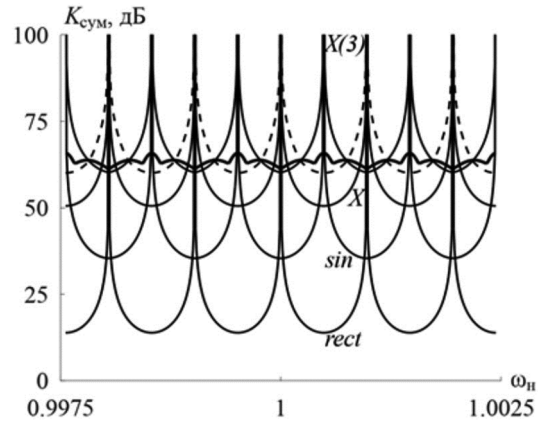


Рис. 8. Зависимость коэффициента подпомеховой видимости от нормированной частоты помехи при удалении $N_{уд}=10$ частотных выборок

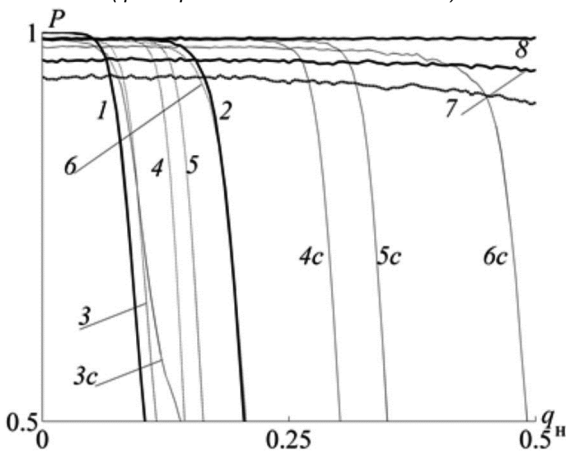


Рис. 9. Зависимость вероятности правильного выполнения поиска ШПС от нормированного отношения «помеха/сигнал» (фиксированная частота помехи)

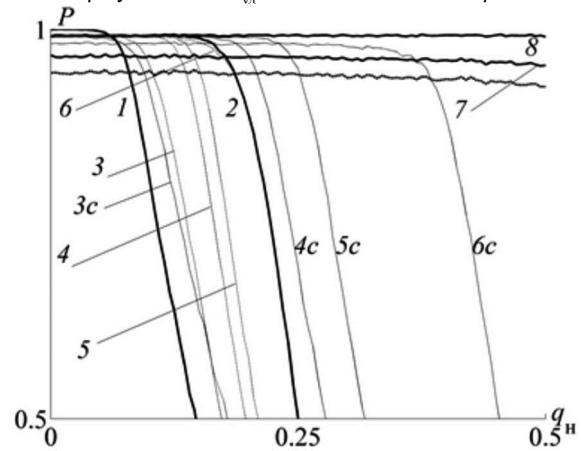


Рис. 10. Зависимость вероятности правильного выполнения поиска ШПС от нормированного отношения «помеха/сигнал» (случайная частота помехи)

мехи $K_{сум}(\omega_n)$, полученные при удалении различного числа $N_{уд}$ частотных выборок, позволили для рассмотренных частотных интервалов получить усреднённые значения $\overline{K_{сум}}$, сведённые в табл. 1.

Таблица 1. Усреднённые значения $\overline{K_{сум}}$ коэффициентов подпомеховой видимости, рассчитанные по сегментам зависимостей $K_{сум}(\omega_n)$, соответствующих различным $N_{уд}$

| Кол-во $N_{уд}$ | | $\overline{K_{сум}}$, дБ | | | |
|-----------------|------|---------------------------|-------|-------|-------|
| | | 10 | 50 | 100 | 150 |
| Весовая функция | rect | 21,8 | 28,4 | 30,9 | 32,1 |
| | sin | 43,7 | 64,1 | 72,7 | 77,4 |
| | X | 57,9 | 92,4 | 106,9 | 115,2 |
| | Б | 68,0 | 100,4 | 114,8 | 123,1 |
| | П | 63,4 | 113,0 | 133,7 | 145,6 |
| | X(3) | 68,9 | 117,5 | 138,0 | 149,8 |

Результаты статистического моделирования процедуры поиска ШПС по задержке с применением предкорреляционной ДПФ-режекции

Для демонстрации применения ДПФ-режекции помехи в составе конкретной процедуры обработки ШПС, на рис. 9 и рис. 10 представлены зависимости вероятности правильного выполнения поиска ШПС с фазовой

манипуляцией по задержке на фоне шума и гармонической (узкополосной) помехи от нормированного к максимальному при моделировании значению отношения «помеха/сигнал» q_n . Выходные эффекты процедуры поиска ШПС формировались типовым способом, основанном на «ДПФ-ОДПФ» (см., к примеру, [11]), являющимся вычислительным аналогом квадратурной корреляционной обработки. В каждом испытании генерировалась реализация аддитивной смеси шума, ШПС со случайной задержкой и гармоническая помеха со случайной начальной фазой. Рассмотрены два случая – фиксированная частота помехи (рис. 9), соответствующая рис. 1, 2, 5, 7, а также случайная (рис. 10) частота, находящиеся в пределах главного лепестка спектра ШПС. Оба случая соответствуют энергетическому потенциалу 45 дБГц, интервалу корреляционной обработки равному длительности одного периода ШПС $T_n = NT$, длине псевдослучайной последовательности $N=511$, количеству отсчётов в реализациях аддитивной смеси $T_n/T_d = 4096$, отношению частоты дискретизации к центральной частоте ШПС равному 4. Все представленные вероятностные зависимости получены методом статистического моделирования при проведении 20000 испытаний с использованием методики [11]. Номера линий на рис. 9 и рис. 10 означают следующее. Зависимости

1 – квадратурная корреляционная обработка, не включающая меры режекции помехи; зависимости 2-7 – квадратурная корреляционная обработка с предварительной ДПФ-режекцией помехи, выполняемой поэлементно или спектрально-пороговым способом; 8 – квадратурная корреляционная обработка с предварительной компенсацией помехи на основе спектрально-вещного оценивания её параметров. При реализации предварительной ДПФ-режекции помехи использованы следующие весовые функции: 2 – прямоугольное окно (единичная ВФ, СПС); 3 – удаление (обнуление) одной $N_{уд} = 1$ максимальной частотной выборки спектра аддитивной смеси; 4 – удаление пяти $N_{уд} = 5$ частотных выборок; 5 – $N_{уд} = 10$; 6 – $N_{уд} = 100$; 3с-6с – условия, аналогичные 3-6, но при предварительном взвешивании смеси синус-окном; 7 – кубическая вариация ВФ Хеннинга (СПС); первая снизу непронумерованная зависимость, практически параллельная осям абсцисс на рис. 9 и 10, соответствует ВФ Парзена (СПС).

Обсуждение результатов

Как видно из рис. 1 и рис. 2, удаление одной максимальной и каждой последующей частотной выборки приводит к ожидаемому эффекту – приросту подавления помехи. Повышение числа удаляемых частотных выборок $N_{уд}$ графически выражается в «снижении присутствия» помехи (вплоть до её визуальной неразличимости). Предварительное взвешивание помехи даже простейшей весовой функцией (синус-окном, рис. 2), приводит к существенному ослаблению эффекта Гиббса, возникающего «на краях» подавленной помехи при выполнении ОДПФ от обработанного спектра. Семейства нормированных выходных эффектов Z процедуры поиска ШПС, представленные на рис. 3 и рис. 4, дают наглядное представление о возникновении неизбежных энергетических потерь полезного сигнала при ДПФ-режекции помехи. Потери сигнала возрастают с увеличением количества $N_{уд}$ удаляемых частотных выборок.

Кроме того, с ростом $N_{уд}$ отчётливо наблюдается деформация выходного эффекта, выражающаяся в появлении боковых лепестков, что является неблагоприятным проявлением, вызванным искажениями спектра ШПС. Рис. 5-7 являются взаимосвязанными. Рис. 5 демонстрирует пример существенно варьирующихся возможностей ДПФ-режекции помехи (коэффициент подавления помехи без учёта технико-технологических ограничений) для фиксированной частоты помехи при различных ВФ предварительного взвешивания реализации. Рис. 6 показывает энергетические потери сигнала, возникающие при ДПФ-режекции, исчисляемые значениями от долей до единиц децибел при различных ВФ. Наибольшие энергетические потери полезного сигнала наблюдаются при применении ВФ Парзена, а наименьшие, что ожидаемо – при прямоугольной ВФ. Рис. 7 получен на основе данных рис. 5 и рис. 6, он показывает снижение суммарной эффективности подавления помехи с учётом энергетических потерь сигнала. Расположение зависимостей, показанных на рис. 7, может существенно изменяться при изменении частоты помехи. Рис. 8 показывает пример зависимости коэф-

фициента подпомеховой видимости от частоты помехи $K_{сум}(\omega_n)$ при фиксированном количестве $N_{уд} = 10$ удаляемых из спектра частотных выборок. Как видно на рис. 8, данная зависимость обладает периодическим характером и является индивидуальной для каждой из рассмотренных ВФ. При увеличении количества удаляемых частотных выборок ($N_{уд} = 50, 100$ и более) взаимное расположение зависимостей коэффициента подпомеховой видимости от частоты оказывается аналогичным показанному на рис. 8, причём повышаются значения $K_{сум}$ для случаев рассмотрения всех ВФ, но с сохранением общей тенденции взаимного расположения зависимостей. Также, при указанном увеличении количества удаляемых частотных выборок, наблюдается некоторое изменение формы зависимости $K_{сум}(\omega_n)$ для случаев применения ВФ Парзена. Из рис. 8 (и подобных полученных зависимостей при увеличенных значениях $N_{уд}$) видно, что в некоторых спектральных интервалах ВФ Парзена заметно проигрывает ВФ Хеннинга. Результаты статистических экспериментов по определению вероятности правильного поиска ШПС с предварительным подавлением помехи, показанные в графическом виде на рис. 9 и рис. 10, согласуются с результатами исследования показателей качества ДПФ-режектора и, кроме того, с частично ранее представленными результатами [8; 12]. В частности, ход вероятностных зависимостей, представленных на рис. 9, 10, объясняется соответствующим поведением показателей качества ДПФ-режекции, показанных на рис. 7, 8. Полученные и представленные в табл. 1 усреднённые количественные оценки показателя качества ДПФ-режекции помехи являются частными, но они показывают общую тенденцию эффективности применения рассмотренных ВФ, не противоречат порядку значений подавления помехи из известных публикаций [6; 7], позволяют сделать обоснованный выбор ВФ из перечня рассмотренных.

Заключение

В статье с обобщённых позиций, универсальных с точки зрения подавления помех, проведено исследование эффективности ДПФ-режекторов, использующих взвешивание реализаций узкополосной (гармонической) помехи различными весовыми функциями. Для проведения сравнительного анализа эффективности ДПФ-режекторов использованы следующие показатели качества: коэффициент подавления помехи, коэффициент прохождения сигнала (ШПС) и их произведение – коэффициент подпомеховой видимости. Изучено поведение указанных показателей качества в зависимости от количества удаляемых частотных выборок, а также при различном частотном положении помехи. Получены частные вероятностные зависимости показателя качества поиска ШПС на фоне узкополосной помехи, выполняемого после предварительной ДПФ-режекции.

Проведённое исследование позволяет сделать выводы частного и общего характера. Количественные значения показателей качества обработки, представленные в статье, включая ДПФ-режекцию помехи и поиск ШПС (рис. 1–10, табл. 1), являются частными и зави-

сят от многих параметров, принятых при проведении моделирования. Среди выводов общего характера можно отметить следующее. Позлементное удаление частотных выборок из спектра взвешенной реализации помехи приводит к её подавлению, глубина которого, естественно, прямо пропорциональна количеству удаляемых выборок. Существенное влияние на глубину подавления помехи оказывает вид весовой функции предварительного взвешивания. Показано, что зависимости коэффициента подпомеховой видимости от частоты являются периодическими функциями, характерные особенности которых демонстрируют существенные различия. Для большинства из рассмотренных ВФ (прямоугольной, синус-окна, Ханна, Хеннинга, Блэкмана) данная зависимость является «чашеподобной», а для ВФ Парзена она «квазиравномерна». При изменении частоты помехи наблюдается своеобразное «чередование» улучшения показателей качества при той или иной применяемой ВФ, именно поэтому для однозначного выбора ВФ необходима усреднённая оценка. В итоге работы, учитывая полученные обобщённые показатели качества ДПФ-режекции, а также частные результаты статистических экспериментов, принимая во внимание априорную неизвестность частоты помехи, сделан вывод о том, что среди рассмотренных весовых функций лидирует кубическая вариация ВФ Хеннинга. Дальнейшим развитием исследования является изучение возможности применения комбинирования ВФ для взвешивания реализации исходя из фактического значения частоты помехи, легко определяемой при энергетическом превосходстве помехи над сигналом.

Литература

1. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И. и др. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами. М.: Радио и связь, 1985.
2. Davidovici S., Kanterakis E.G. Narrow-Band Interference Rejection Using Real-Time Fourier Transforms. IEEE Transactions on Communications. 1989, vol. 37, no 7. pp. 713-722.
3. Витязев В.В. Цифровая частотная селекция сиг-

налов. М.: Радио и связь, 1993.

4. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. и др. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью. М.: Радио и связь, 2003.
5. Шилов А.И., Бакитько Р.В., Польщиков В.П., Хацкелевич Я.Д. Предварительная обработка шумоподобных сигналов при наличии сильных интерференционных помех. Радиотехника. 2005. № 7. С. 31-35.
6. Бакитько Р.В., Польщиков В.П., Шилов А.И., Хацкелевич Я.Д., Болденков Е.Н. Использование весовых функций для предварительной обработки шумоподобных сигналов при наличии сильных интерференционных помех. Радиотехника. 2006. № 6. С. 13-17.
7. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования / под ред. А.И. Перова, В.Н. Харисова. М.: Радиотехника, 2010.
8. Кузьмин Е.В. Повышение эффективности обработки сигналов на фоне гармонической помехи за счёт выбора функции предварительного взвешивания для частотного режектора. Цифровая обработка сигналов. 2021. № 4. С. 16-20.
9. Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. М.: Радио и связь, 1981.
10. Дворкович В.П., Дворкович А.В. Оконные функции для гармонического анализа сигналов. М.: Техносфера, 2016.
11. Кузьмин Е.В., Зограф Ф.Г. Влияние гармонической помехи на эффективность процедуры беспорогового поиска шумоподобного сигнала по времени запаздывания с переходом в частотную область определения. Радиотехника и электроника. 2022. Т. 67. № 8. С. 774-781.
12. Кузьмин Е.В. Сравнительный анализ эффективности двух спектральных процедур предварительной обработки шумоподобного сигнала на фоне гармонической помехи и шума / Е.В. Кузьмин. 24-я Международная конференция «Цифровая обработка сигналов и её применение – DSPA-2022»: доклады. Серия: Цифровая обработка сигналов и её применение. Вып.: XXIV. М.: РНТОРЭС им. А.С. Попова. 2022. С. 173-176.

Уважаемые авторы !

Редакция научно-технического журнала «Цифровая обработка сигналов» просит Вас соблюдать следующие требования к материалам, направляемым на публикацию:

1) Требования к текстовым материалам и сопроводительным документам:

- Текст – текстовый редактор *Microsoft Word*, формулы – *только в редакторе MathType*.
- Таблицы и рисунки должны быть пронумерованы. На все рисунки, таблицы и библиографические данные указываются ссылки в тексте статьи.
- Объем статьи до 12 стр. (шрифт 12). Для заказных обзорных работ объем может быть увеличен до 20 стр.
- Название статьи на русском и английском языках.
- Рукопись статьи сопровождается: краткой аннотацией на русском и английском языках; номером УДК; сведениями об авторах (Ф.И.О., организация, должность, ученая степень, телефоны, электронная почта); ключевыми словами на русском и английском языках; актом экспертизы (при наличии в вашей организации экспертной комиссии).

2) Требования к иллюстрациям:

- Векторные (схемы, графики) – желательно использование графических редакторов *Adobe Illustrator* или *Corel DRAW*.
- Растровые (фотографии, рисунки) – М 1:1, разрешение не менее 300dpi, формат *tiff*.