

УДК 621.396

І.М. Невмержицький, С.М. Ковалевський, А.А. Гризо, О.Л. Мельник

Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЕНСАТОРА ІМПУЛЬСНИХ ПЕРЕШКОД В СКЛАДНІЙ СИГНАЛЬНО-ПЕРЕШКОДОВІЙ ОБСТАНОВЦІ

В статті проводиться аналіз ефективності застосування компенсатора імпульсних перешкод, алгоритм дії якого реалізує подвійне дискретне перетворення Хартлі з одночасним відновленням (регенерацією) уражених складових корисного сигналу в кепстральній площині. Оцінка ефективності проводилась для випадку дії на когерентно-імпульсну РЛС несинхронних імпульсних перешкод, що випадковим чином уражають від одного до трьох дискрет дальності визначеної частотної пачки. За показник ефективності приймається різниця між кількістю хибних регенерувань модуля спектральної щільності ехо-сигналів цілі, при відсутності та при наявності несинхронних імпульсних перешкод на вході системи селекції рухомих цілей РЛС. Показана достатня ефективність запропонованого алгоритму компенсації перешкод з регенерацією уражених складових корисного сигналу в кепстральній площині в складній перешкодовій обстановці.

Ключові слова: компенсатор імпульсних перешкод, перетворення Хартлі, оцінка ефективності

Вступ

Постановка проблеми. Несинхронні (хаотичні) імпульсні перешкоди (НІП) ускладнюють виявлення цілей операторами РЛС. Таке ускладнення насамперед пов'язано з тим, що такі перешкоди маскують дійсні цілі, зменшують ймовірність їх виявлення та

точність супроводу цілей операторами РЛС. Методи захисту РЛС від НІП, на даному етапі, вже достатньо вивчені та мають велику кількість апробованих варіантів їх технічної реалізації.

Особливої уваги заслуговують технічні рішення, що стосуються групи методів, в основу яких покладений алгоритм придушення (компенсації) пе-

решкод в трактах обробки РЛС на етапі міжперіодної обробки.

Оскільки на вході системи селекції рухомих цілей (СРЦ) РЛС, характеристики імпульсних перешкод апріорі не завжди відомі, то, за умов складної сигнально-перешкодової обстановки, повинно додатково вирішуватись завдання вибору найбільш ефективного методу їх придушення (варіанту обробки). Таким чином, оцінка ефективності застосування компенсаторів імпульсних завад, за різних умов сигнально-перешкодової обстановки, є актуальною.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. В [1] та [2] розглянуто компенсатор імпульсних перешкод, алгоритм дії якого реалізує подвійне дискретне перетворення Хартлі (ДПХ) з одночасним відновленням уражених складових корисного сигналу в кепстральній площині. Показано, що за рахунок відновлення відповідних уражених складових корисного сигналу в кепстральній площині та повторного ДПХ, відбувається суттєве зменшення ефекту «бланкування» квадратурних складових сигналу за рахунок компенсації несинхронної імпульсної перешкоди, як наслідок, величини модулів спектральної щільності ехо-сигналу цілі у визначених фазових фільтрах ДПХ не зменшуються.

Оцінка ефективності роботи компенсатора проводилась для випадку дії на когерентно-імпульсну РЛС несинхронних імпульсних перешкод, що уражають один дискрет дальності визначеної частотної пачки. Однак, в реальній сигнально-перешкодовій обстановці нерідко виникають ситуації, коли несинхронні імпульсні перешкоди уражають дискрети частіше, чим один раз на визначену частотну пачку.

Виходячи з цього, **метою даної статті** є оцінка ефективності застосування компенсатора імпульсних перешкод, алгоритм дії якого реалізує подвійне ДПХ з одночасним відновленням (регенерацією) уражених складових корисного сигналу в кепстра-

льній площині для випадку дії на когерентно-імпульсну РЛС НПП, що випадковим чином уражають від одного до трьох дискрет дальності визначеної частотної пачки.

Для оцінки ефективності компенсатора імпульсних перешкод з регенерацією використовувалась його візуально-імітаційна модель, що була створена в середовищі Simulink системи MATLAB за алгоритмом наведеним в [1] та [2]. У якості показника ефективності компенсатора з регенерацією приймається різниця між кількістю хибних регенерувань модуля спектральної щільності ехо-сигналів цілі при відсутності та при наявності несинхронних імпульсних перешкод на вході системи селекції рухомих цілей РЛС.

Виклад основного матеріалу

Як показують результати попередньо проведених досліджень, у випадку дії на когерентно-імпульсну РЛС одного джерела НПП, найбільш ймовірніше ураженню буде підлягати лише один (в одному періоді повторювання T_p , для прикладу, k -й) дискрет дальності визначеної частотної пачки [1].

В складній сигнально-перешкодовій обстановці на когерентно-імпульсну РЛС може діяти декілька джерел НПП. У такому випадку постає питання: «Яка може бути загальна кількість уражених імпульсами НПП дискрет дальності (однієї частотної пачки $8T_p$, k -го кільця дальності), в залежності від кількості джерел НПП?». Для відповіді на це питання була створена Simulink-модель, яка імітувала вплив на РЛС одного, двох та трьох джерел НПП. Часовий розподіл імпульсних послідовностей кожного джерела НПП змінювався випадковим чином.

За результатами досліджень побудовані графіки залежності кількості уражених імпульсами НПП дискрет дальності однієї частотної пачки ($8T_p$), k -го кільця дальності, від кількості джерел НПП (рис.1).



Рис. 1. Відносна кількість уражених імпульсами НПП дискрет дальності (однієї частотної пачки $8T_p$, k -го кільця дальності), в залежності від кількості джерел НПП

Аналізуючи графічні залежності можна зробити наступні висновки.

Для випадку дії на когерентно-імпульсну РЛС одного джерела НІП, серед відгуків зондувальних імпульсів визначеної частотної пачки k -го кільця дальності 100% будуть присутні відгуки з ураженням імпульсом НІП дискрету дальності лише в одному періоді T_p . Ураження імпульсом НІП дискрету дальності в 2-х, 3-х та 4-х періодах T_p малоімовірне - 0% (рис. 1).

Для випадку дії двох джерел НІП, серед відгуків зондувальних імпульсів визначеної частотної пачки k -го кільця дальності, 100% будуть присутні відгуки з ураженням імпульсом НІП дискрету дальності в одному періоді T_p та достатньо ймовірно (90%) з'являються ураженні дискрети в 2-х періодах T_p . Ураження імпульсом НІП дискрет дальності в 3-х періодах T_p - 10%, а в 4-х періодах T_p малоімовірне - 0% (рис. 1).

Для випадку дії трьох джерел НІП, серед відгуків зондувальних імпульсів визначеної частотної пачки k -го кільця дальності, 100% будуть присутні відгуки з ураженням імпульсом НІП дискрету дальності в 1-му та 2-х періодах T_p . Ураження імпульсом НІП дискрету дальності в 3-х періодах T_p - 80%, а в 4-х періодах T_p - 10%. Ураження більшого порядку малоімовірні (0%) (рис. 1).

Таким чином, враховуючи отримані результати можна зробити висновки про те, що кількість уражених імпульсами НІП дискрет дальності однієї частотної пачки ($8T_p$) k -го кільця дальності залежить від кількості джерел НІП, а також від їх амплітудного і часового розподілу імпульсних послідовностей.

Для проведення оцінки ефективності застосування компенсатора імпульсних перешкод, алгоритм дії якого реалізує подвійне ДПХ з одночасним відновленням (регенерацією) уражених складових корисного сигналу в кепстральній площині імітувались дискретні значення квадратурних складових сигналів НІП та луна-сигналів від цілей для вибраного k -го дискрету дальності однієї частотної пачки.

Не складно помітити (рис. 2), що в результаті ураження імпульсами НІП двох дискрет дальності, в двох періодах повторювання частотної пачки ($1T_p$ та $2T_p$), на виході фазових фільтрів ДПХ-1 амплітудний спектр НІП стає нерівномірним та маскує ціль накопичену 3-му фазовому фільтрі. Відновлення «регенерація» уражених імпульсами НІП дискрет дальності полягає у відновленні, після компенсації НІП, кепстральних складових корисного сигналу від цілі та повторного ДПХ. Як зазначалось в [1] ефективність роботи алгоритму відновлення кепстральної складової цілі, насамперед, залежить від якості роботи блоку виявлювача «фази», основним призначенням якого є вибір найбільш близького за ступенем схожості фазового портрету кепстральних складових рухомої цілі після ДПХ-2 (рис. 3). Іншими словами, необхідно регенерувати як амплітудну кепстральну складову сигналу від цілі, так і його значення фази (кепстральну складову фази). Фазові складові кепстру цілі, в залежності від швидкості її руху (F_d), завчасно були розраховані та, з дискретністю ($\Delta V_f = 3,375$ км/год, $\Delta F_d = 18,75$ Гц) їх значення зберігаються в базі даних блоку виявлення «фази».

Для проведення експерименту на дослідження ефективності застосування компенсатора імпульс-

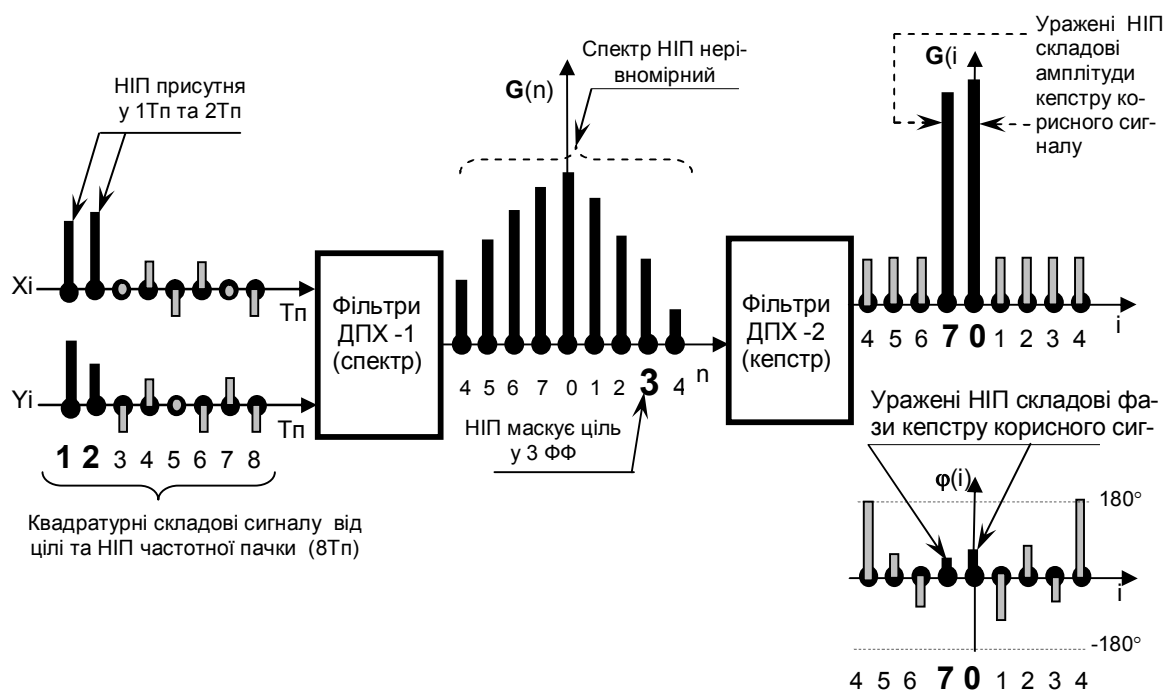


Рис. 2. Випадок ураження імпульсами НІП двох дискрет дальності однієї частотної пачки

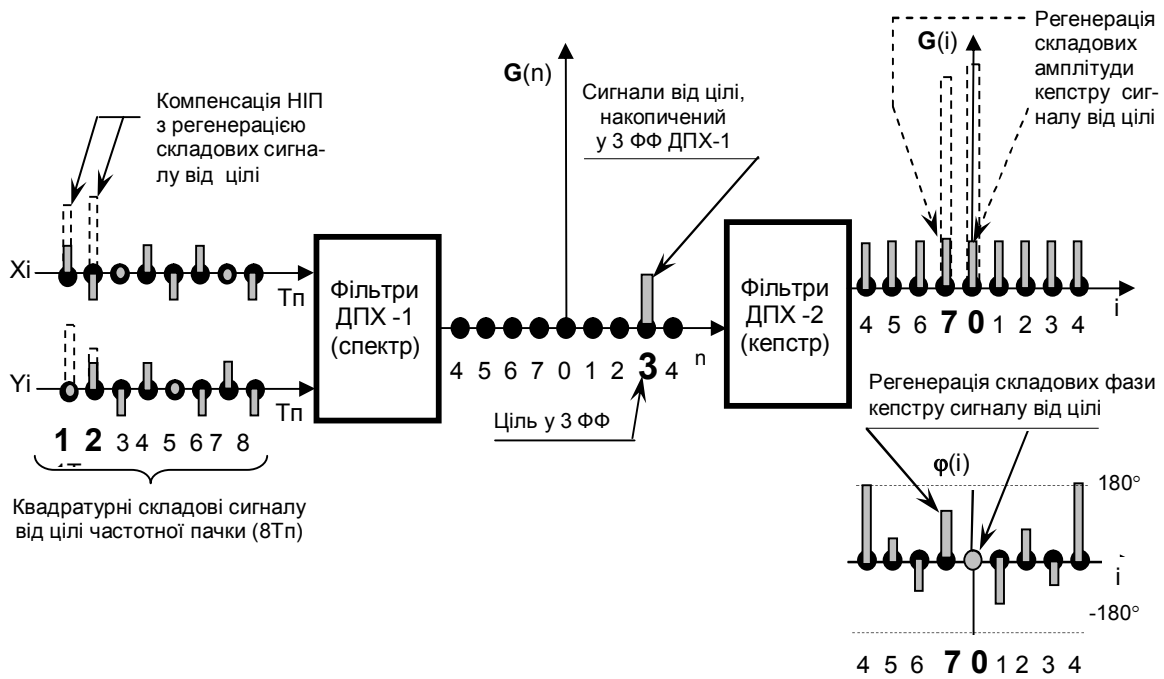


Рис. 3. До пояснення принципу регенерації складових кепстру сигналів від цілі для випадку уражень імпульсами НІП дискрет дальності у $1T_n$ та $2T_n$

них перешкод з регенерацією імітувалась рухома повітряна ціль, яка рухалась з радіальною швидкістю на $V_r=911,3$ км/год ($F_d=5063$ Гц). Ехо-сигнали від цілі на вході СРЦ: амплітуда = 10 абс.од., початкова фаза = 0° , доплерівський зсув фази = 135° ;

Сигнали НІП імітувались за наступних умов:

а) НІП №1: амплітуда = 150 абс.од., час дії – ураження k -го дискрету дальності у 2-му періоді повторювання T_n ;

б) НІП №1: амплітуда = 150 абс.од., час дії – ураження k -го дискрету дальності у 2-му періоді повторювання T_n ; НІП №2: амплітуда = 150 абс.од., час дії – ураження k -го дискрету дальності у 4-му періоді повторювання T_n ;

в) НІП №1: амплітуда = 150 абс.од., час дії – ураження k -го дискрету дальності у 2-му періоді повторювання T_n ; НІП №2: амплітуда = 150 абс.од., час дії – ураження k -го дискрету дальності у 4-му періоді повторювання T_n ; НІП №3: амплітуда = 200 абс.од., час дії – ураження k -го дискрету дальності у 6-му періоді повторювання T_n .

Для усіх випадків початкова фаза імпульсів НІП імітувалась випадковим чином (у діапазоні від $-180^\circ \dots 180^\circ$) за рівномірним законом (рис.4).

За результатами імітаційного експерименту побудовані графічні залежності показника ефективності компенсатора НІП з регенерацією $E_{\text{ФREG}}$ (за показник ефективності приймається різниця між кількістю хибних регенерувань модуля спектральної щільності ехо-сигналів цілі при відсутності та при наявності НІП на виході системи СРЦ РЛС) для випадку відсутності уражень від НІП та за наявності 1-го, 2-х, 3-х уражень від НІП. (див. рис. 5).

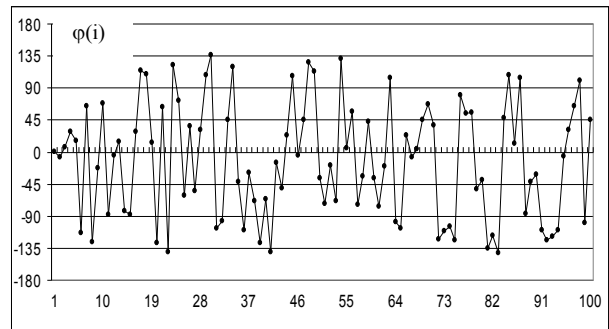


Рис. 4. Імітовані значення початкової фази НІП

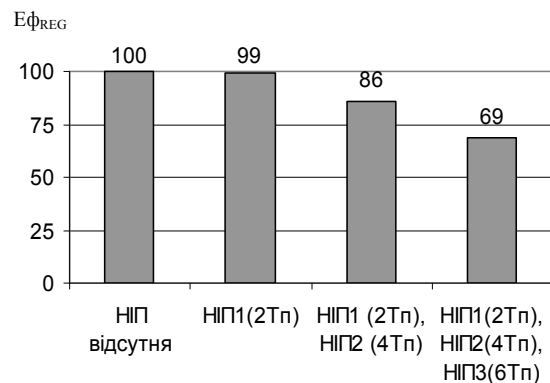


Рис. 5. Залежності показника ефективності компенсатора НІП з регенерацією $E_{\text{ФREG}}$ від кількості уражень НІП

Як видно з рис. 5, якщо НІП уражає k -й дискрет дальності в одному періоді (у 2-му періоді T_n), то спостерігається лише 1% хибних регенерацій модуля спектральної щільності цілі.

Якщо НПП уражає k -й дискрет дальності у 2-му та 4-му періодах T_p , то спостерігається збільшення кількості хибних регенерувань до 14%.

Для випадку ураження НПП k -го дискрет дальності у 2-му, 4-му та 6-му періодах T_p , кількість хибних регенерувань становила майже 30%.

Таким чином, за результатами імітаційного моделювання можна зробити наступні висновки. Компенсатор НПП, що реалізує алгоритм «бланкування з регенерацією» ураженого імпульсом НПП дискрету дальності, повністю усуває втрати у накопиченні корисного сигналу, однак, при збільшенні кількості уражень імпульсами НПП дискрет дальності можливі хибні регенерування фазових кепстральних складових за рахунок випадковості початкових фаз сигналів НПП (рис. 4).

Одразу ж необхідно зробити наступне обмеження щодо розв'язання даної задачі – оцінка ефективності компенсатора НПП з регенерацією здійснювалася лише за умови присутності в дискреті дальності луна-сигналу від цілі та імпульсів НПП. Пасивні перешкоди до уваги, поки що, не брались.

Висновки

Як видно з результатів проведених досліджень, ефективність застосування компенсатора НПП, що реалізує алгоритм регенерації уражених складових

сигналу цілі в кепстральній площині, залежить від кількості уражень НПП дискрет дальності та визначається, насамперед, якістю роботи блока виявлювача «фази», основним призначенням якого є вибір найбільш близького за ступенем схожості фазового портрету кепстральних складових рухомої цілі після ДПХ-2.

Список літератури

1. Компенсатор імпульсних перешкод, алгоритм дії якого реалізує подвійне дискретне перетворення Хартлі з одночасним відновленням уражених складових корисного сигналу в кепстральній площині / І.М. Невмержицький, С.М. Ковалевський, А.А. Грызо, С.В. Яровий // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. - Х.: ХУПС. - 2012. - Вип. 2(8) – С. 67 - 72. – Укр.

2. Пат. 75793 Україна, МПК G01S 7/34, G01S 7/00. Компенсатор імпульсних перешкод з відновленням уражених складових корисного сигналу / Невмержицький І.М., Ковалевський С.М., Грызо А.А., Яровий С.В.; Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба. - №U201207323; Заявл. 15.06.2012; Опубл. 10.12.2012, Бюл. №23.

Надійшла до редколегії 10.01.2013

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Г.В. Худов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЕНСАТОРА ИМПУЛЬСНЫХ ПОМЕХ В СЛОЖНОЙ СИГНАЛЬНО-ПОМЕХОВОЙ ОБСТАНОВКЕ

И.М. Невмержицкий, С.Н. Ковалевский, А.А. Грызо, А.Л. Мельник

В статье проводится анализ эффективности применения компенсатора импульсных помех, алгоритм действия которого реализует двойное дискретное преобразование Хартли с одновременным восстановлением (регенерацией) пораженных составляющих полезного сигнала в кепстральной плоскости. Оценка эффективности проводилась для случая действия на когерентно-импульсную РЛС несинхронных импульсных помех, которые случайным образом будут поражать от одного до трех дискрет дальности определенной частотной пачки. В качестве показателя эффективности принимается разница между количеством ошибочных регенерирований модуля спектральной плотности эхо-сигналов цели, при отсутствии и при наличии несинхронных импульсных помех на входе системы селекции движущихся целей РЛС. Показана достаточная эффективность предложенного алгоритма компенсации помех с регенерацией пораженных составляющих полезного сигнала в кепстральной плоскости в сложной помеховой обстановке.

Ключевые слова: компенсатор импульсных помех, преобразование Хартли, оценка эффективности.

RATING OF EFFICIENCY OF APPLICATION OF THE EQUALISER OF PULSE HANDICAPES IN COMPLEX HANDICAPES TO CONDITIONS

I.M. Nevmerzhitsky, S.N. Kovalevsky, A.A. Gryzo, A.L. Melnik

In article the analysis of efficiency of application of the equaliser of pulse handicapes, which algorithm of action realizes Double Discrete Hartley Transformation (DHT) with simultaneous recovery of the affected components of the useful signal in the capstral planes. The rating of efficiency was spent for a case of action on coherently pulse RADAR nonsynchronous pulse handicapes (NPH), which casual In the image Will amaze from one up to three discrete range of the certain frequency pack. As a parameter of efficiency The difference is accepted Between quantity erroneous the module of spectral density of echo - signals The purposes, at absence and at presence of nonsynchronous pulse handicapes on an input of system of selection moving Purposes РЛС. Sufficient efficiency of the offered algorithm of indemnification of handicapes with regeneration of the struck components of a useful signal in capstral is shown a plane in complex handicapes to conditions.

Keywords: the equaliser of pulse handicapes, Hartley transformations, a rating of efficiency.