

УДК 621.396

І.М. Невмержицький, А.А. Гризо, М.А. Матвійчук, В.С. Семенов, Е.І. Гуйда

Харківський національний університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків

## ПРОЕКТУВАННЯ ВІЗУАЛЬНО-ІМІТАЦІЙНИХ ДОДАТКІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ АЛГОРИТМІВ СЕЛЕКЦІЇ РУХОМИХ ЦІЛЕЙ ІСНУЮЧИХ ТА МОДЕРНІЗОВАНИХ РЛС РТВ ЗА ДОПОМОГОЮ ПАКЕТУ SIMULINK

У статті розглядаються загальні принципи проектування візуально-імітаційних додатків за допомогою пакету програм візуального моделювання Simulink. Наведено приклади створення візуально-імітаційних додатків, які моделюють алгоритми СРЦ на основі однократної, двократної черезперіодної компенсації, дискретного перетворення Фур'є та Хартлі, а також цифрових фільтрів. Надані рекомендації щодо включення запропонованих додатків у навчальний процес технічного університету у якості візуальних дидактичних засобів навчання.

**Ключові слова:** візуально-імітаційні додатки, Simulink, селекція рухомих цілей, перетворення Фур'є, перетворення Хартлі.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Візуально-імітаційне моделювання алгоритмів роботи складних технічних систем озброєння радіотехнічних військ – це, на теперішній час, один з найбільш потужних і універсальних методів їх дослідження та оцінки ефективності.

Раніше візуально-імітаційні моделі алгоритмів розроблялися на універсальних мовах програмування. Це вимагало від розробника знань не тільки предметної області, до якої відноситься досліджувана система, але й мови програмування, причому на досить високому рівні.

На сьогодні, з появою універсальних пакетів для проведення візуально-імітаційного моделювання алгоритмів систем, таке завдання можливо вирішити значно швидше та простіше. В першу чергу це пов'язано з тим, що такі пакети мають у своєму складі спеціалізовані блоки типових підсистем, які об'єднані у загальну бібліотеку блоків. Не менш успішним можливе використання таких пакетів і у якості інструмента для проектування додатків складних динамічних систем.

Створені завдяки таким пакетам додатки можуть бути використані у якості інтерактивних дидактичних засобів навчання. Необхідну основу навчання в таких додатках створюють, перш за все, можливості щодо проведення інтерактивного візуально-імітаційного експерименту, який орієнтований на вирішення визначеного роду дидактичних або прикладних задач.

Таким чином, проектування візуально-імітаційних додатків за допомогою універсальних пакетів програм візуального моделювання є важливим науково-технічним завданням.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Сьогодні на ринку програмних продуктів комп'ютерна система MATLAB пропонує до використання програмний продукт, що дозволяє досить ефективно вирішувати поставлені проблеми. Це пакет Simulink, що є додатком до пакету MATLAB.

При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, відповідно до якого, користувач на екрані монітору з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки [1; 2]. При цьому, на відміну від класичних способів моделювання, користувачеві не потрібно досконально вивчати мову програмування і чисельні методи математики, а достатньо загальних знань, потрібних при роботі на комп'ютері і, звісно, знань тієї предметної області, в якій він працює [2].

Крім цього, Simulink є достатньо самостійним інструментом MATLAB і при роботі з ним зовсім не потрібно знати сам MATLAB і останні його застосування. З іншого боку доступ до функцій MATLAB та інших його інструментів залишається відкритим і їх можна використовувати в Simulink [1].

Існуючі видання, які присвячені опису пакету MATLAB/Simulink, орієнтовані перш за все на його використання для вирішення розрахункових задач та аналітичного моделювання [1; 2].

Тому метою даної статті є спроба показати можливість практичного використання пакету Simulink, для проектування візуально-імітаційного додатку, що моделює алгоритми СРЦ сучасних та модернізованих РЛС РТВ.

### Виклад основного матеріалу

В системі візуально-імітаційного моделювання Simulink принципово змінений характер вимог до

математичного забезпечення та для управління всім ходом процесу створення імітаційної моделі [1].

Представлення у вигляді структурної схеми об'єкта моделювання не потребує написання коду програми. Програмування практично зведено до мінімуму у зв'язку з наявністю в даному пакеті розширення бібліотек готових програм, які можна додати вдало використовувати для побудови візуально-імітаційних моделей.

Процес проектування візуально-імітаційного додатку необхідно розпочинати зі структурного та функціонального аналізу об'єкта моделювання.

В основі структурного аналізу об'єкта моделювання завжди лежить аналіз його структурної схеми. Структурна схема описує математичну модель, де функціональні елементи та їх взаємозв'язки повністю визначені. Аналіз необхідно проводити з використанням технічної документації, що розкриває структуру підсистеми та її складових частин (елементів). В основі функціонального аналізу об'єкта моделювання завжди лежить аналіз його алгоритму роботи.

Так, наприклад, для простого режекторного фільтру СРЦ існуючих РЛС П-18 та 5Н84А – алгоритм роботи пристроїв однократної та двократної черезперіодної компенсації (ЧПК-1 та ЧПК-2) описується аналітично виразами:

$$y[kT_{\Pi}] = x[kT_{\Pi}] - x[(k-1)T_{\Pi}],$$

$$y[kT_{\Pi}] = x[kT_{\Pi}] - 2x[(k-1)T_{\Pi}] + x[(k-2)T_{\Pi}]$$

де  $x[kT_{\Pi}]$ ,  $y[kT_{\Pi}]$  – вхідний та вихідний сигнали фільтру в моменти часу  $t = kT_{\Pi}$ .

Simulink-модель буде мати вигляд на рис. 1 (два вікна моделі ліворуч).

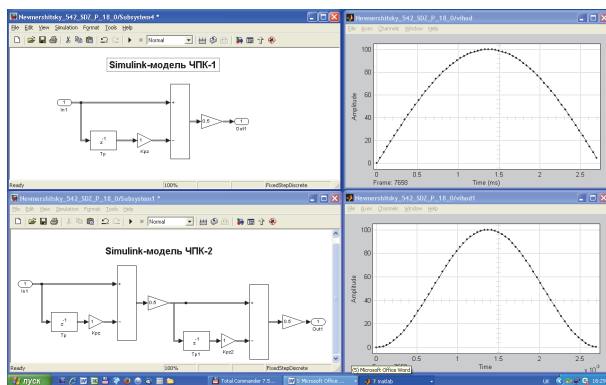


Рис. 1. Проектування режекторних фільтрів

Отримати АЧХ таких фільтрів не складно. Необхідно подати на вхід кожного фільтру дельта-функцію. На рис. 1 показані АЧХ фільтрів ЧПК-1 та ЧПК-2 відповідно (два вікна моделі праворуч).

На рис. 2 показано процес проектування нерекурсивного цифрового фільтру високих частот (НЦФВЧ), який використовується в СРЦ модернізованої РЛС П-18 «Малахит» у якості компенсуючого

пристрою пасивних перешкод. Для проектування такого фільтру в Simulink застосовується програма FDATool.

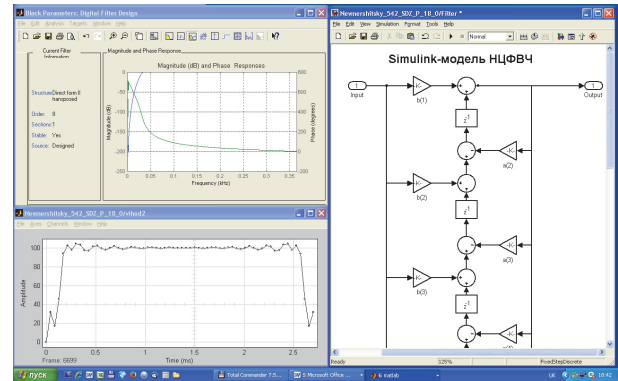


Рис. 2. Проектування цифрового фільтру

Для синтезу цифрового фільтру необхідно було вибрати спочатку його тип (КІХ-фільтр), після цього задавались вхідні параметри. В нашому випадку фільтр високих частот (Highpass), частоту дискретизації та граничні частоти смуг пропускання необхідно було задати в групі Frequency Specifications (вимоги до частот). Після задоволення параметрів фільтру відбувається його синтез програмою FDATool. Результати синтезу цифрового фільтру можемо спостерігати у вікні самої програми (рис. 2), а також за необхідності можемо здійснити реалізацію алгоритму роботи фільтру у вигляді структурної схеми, яка складається з базових елементів: затримки, суми, різниці та коефіцієнтів фільтру. Як правило структурна схема відповідає програмній реалізації фільтру та наочно відображає його алгоритм роботи.

Структурний аналіз схем СРЦ існуючих РЛС 19Ж6 (35Д6) показав, що ці схеми мають у своєму складі два аналого-цифрових перетворювачі (АЦП) і спецобчислювач, що здійснює когерентне накопичення пачок імпульсів відбитих сигналів з метою поділу по фазовим фільтрам корисних сигналів і сигналів пасивних перешкод.

При побудові візуально-імітаційної моделі таких систем СРЦ можливо використання двох алгоритмів: дискретного перетворення Фур'є (ДПФ) або перетворення Хартлі (ДПХ).

Для прикладу, на рис. 3 наведена схема СРЦ, що реалізує ДПХ. Алгоритм роботи такої СРЦ детально описано в [4]. Як видно з рис. 3, дискретне перетворення Хартлі здійснюється над двома квадратурними складовими вхідного сигналу, що є дійсною функцією  $S_i$ , ( $S_i = X_{ci} + j Y_{si}$ ,  $i=1 \dots N$ ), де  $X_{ci}$  і  $Y_{si}$  – косинусна і синусна складові прийнятого колювання  $S_i$ .

На рис. 4; 5 показано Simulink-додатки системи СРЦ, які працюють за алгоритмами ДПХ та ДПФ відповідно. Як видно з рис. 4; 5, дані візуально-імітаційні додатки повністю реалізовані з використанням блоків Math Operations бібліотеки Simulink та блоків Matrix Operations бібліотеки DSP Blockset.

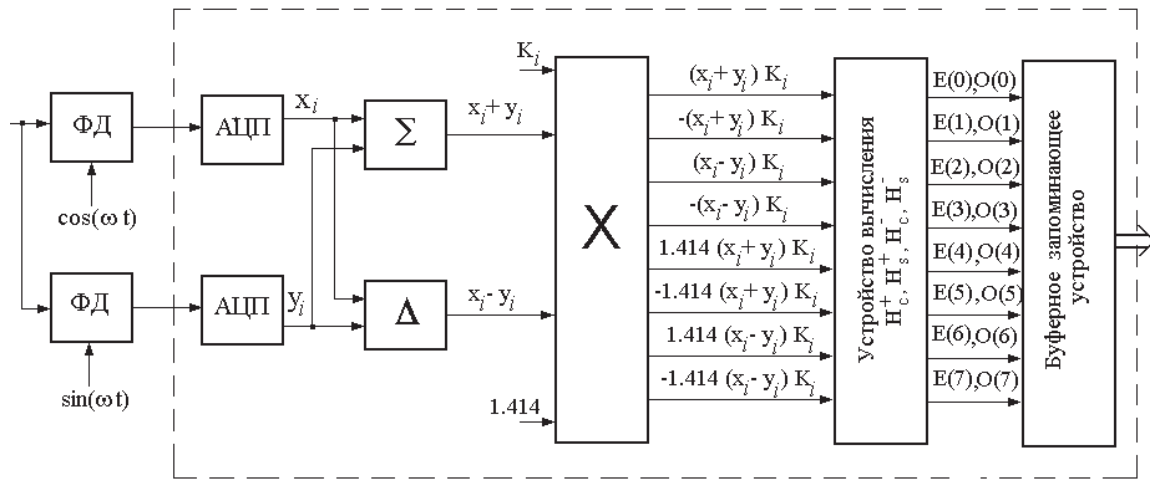


Рис. 3. Структурна схема СРЦ, що реалізує алгоритм ДПХ

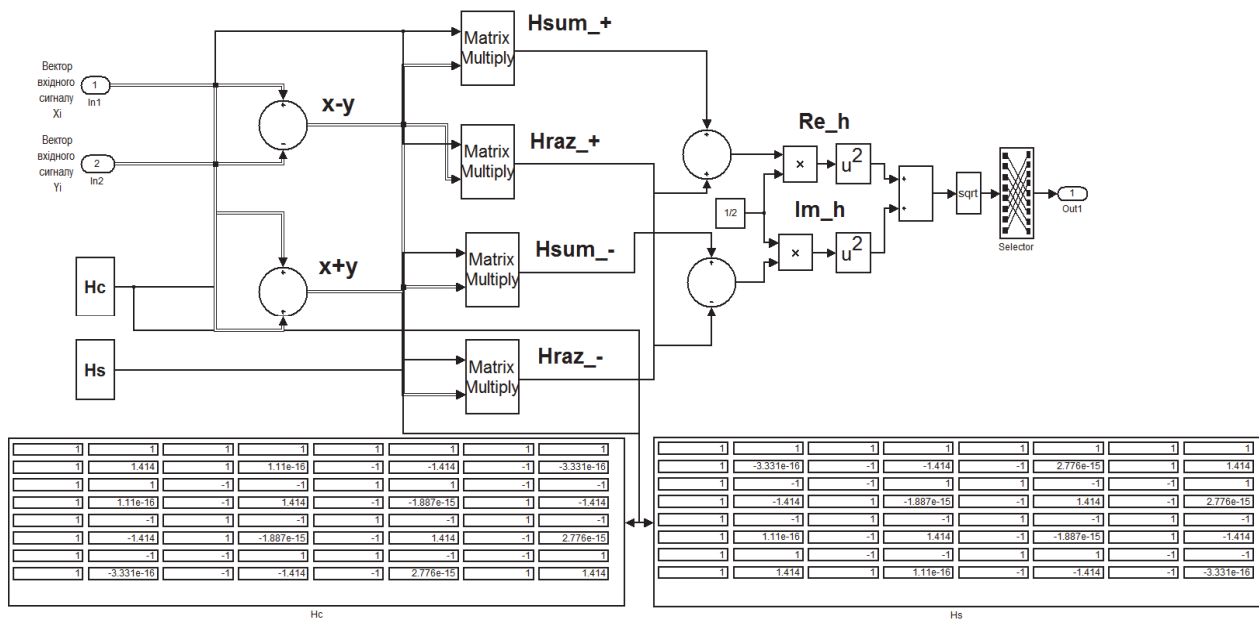


Рис. 4. Simulink-додаток алгоритму СРЦ, що реалізує перетворення Хартлі

Для підтвердження правильності функціонування даних Simulink-додатків було виконано імітаційне моделювання. З цією метою на вхід системи визначення ДПХ та ДПФ подавалися дискретні значення двох квадратурних складових таких сигналів: луна-сигналів від цілей (з блоку “Параметри цілі”); луна-сигналів від пасивних перешкод (ПП) (підстильної поверхні, предметів на місцевості, штучно створюваних противником хмар півхвильових диполів та потужних гідрометеорних утворень) (з блоку “Параметри ПП”); сигналів імпульсних перешкод (ІП) (з блоку “Параметри ІП”). Simulink-модель блоку імітації вхідних сигналів було наведено раніше в [4].

Результати імітаційного моделювання можна наочно спостерігати за допомогою блоків Vector Scope бібліотеки DSP Blockset/DSP Sinks (рис. 6). Simulink-додатки систем СРЦ, що працюють за алгоритмами ДПХ та ДПФ, дозволяють: визначати

модулі амплітуди спектрів вхідних сигналів за відсутності імпульсних перешкод (присутні луна-сигнали лише від цілі та пасивної перешкоди) та за наявності уражень від однієї до трьох ІП; проводити дослідження для різних варіантів наборів вагових коефіцієнтів згладжування (для випадку згладжування з коефіцієнтами:  $K_1=K_8=0,15$ ;  $K_2=K_7=0,40$ ;  $K_3=K_6=0,75$ ;  $K_4=K_5=1$  – реалізовані в апаратурі дискретного перетворення сигналів РЛС 19Ж6, а також з коефіцієнтами згладжування: Bartlett, Blackman, Chebyshev, Hamming, Hann, Kaiser – реалізованими в блоці Window Function бібліотеки DSP Blockset/Signal Operations). Задаючи різні набори коефіцієнтів згладжування, можна досліджувати та наочно оцінювати рівень бічних пелюсток амплітудно-фазової характеристики (АФХ) фазових фільтрів.

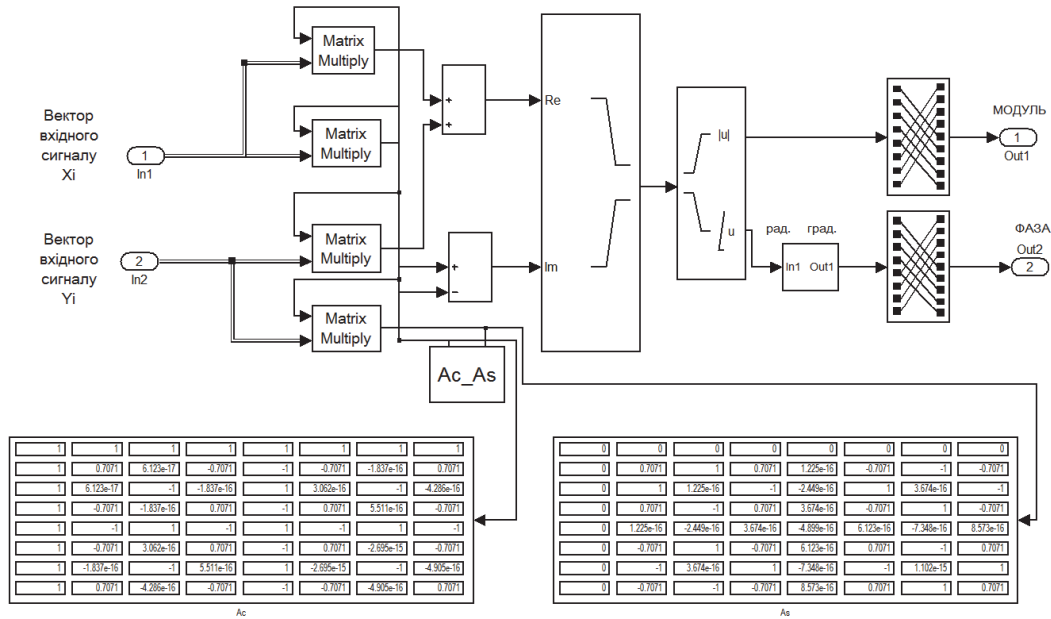


Рис. 5. Simulink-додаток алгоритму СРЦ, що реалізує перетворення Фур'є

Як показано на прикладах Simulink-додатків систем СРЦ, що працюють за алгоритмами ДПХ та ДПФ (рис. 4; 5), вони повністю були реалізовані типовими спеціалізованими блоками пакета Simulink. Однак, якщо наявні в бібліотеці компоненти не дозволяють реалізувати засобами Simulink-модель елемента підсистеми, то є можливість провести моделювання завдяки М-мові системи MATLAB [1].

Створені М-мовою системи MATLAB коди М-функцій можуть зберігатися в текстовому файлі та працювати без проміжної стадії компіляції в машинний код.

Якщо ж реалізація моделі завдяки внутрішнім засобам системи MATLAB неможлива або досить складна, то згідно з алгоритмом (рис. 1) є можливість такої розробки на зовнішній відносно пакета MATLAB мові програмування С, С++. При цьому створюються так звані МЕХ-функції (М – від MATLAB, EX – від External). Для генерації власної МЕХ-функції необхідно мати транслятори: Microsoft Visual C/C++, Borland C/C++Builder [2].

Створені завдяки пакету моделювання SIMULINK візуально-імітаційні моделі найбільш повно реалізують «класичну» технологію імітаційного експерименту, включаючи його планування й обробку результатів. В основі побудови даних моделей лежить метод drag – and – drop («перетягни і залиш») [1; 2]. У якості «цеглинок» для синтезу Simulink-моделі використовуються модулі (блоки), що зберігаються в бібліотеці Simulink. Блоки, що включаються в створювану модель, зв'язані один з одним, як за інформацією, так і за керуванням. Тип зв'язку залежить від типу блоку і логіки роботи моделі. Дані, якими обмінюються блоки, можуть бути скалярними величинами, векторами або матрицями

довільної розмірності. Simulink-модель може мати ієрархічну структуру, тобто складатися з моделей більш низького рівня (число рівнів ієрархії для пакета Simulink не обмежено). Крім того, у даній моделі використовуються модулі, усередині яких розташовуються підсистеми (субмоделі).

Такий принцип конструювання складних моделей дає ряд важливих достоїнств: мається можливість розбиття загальної задачі, яка розв'язується системою, на ряд більш дрібних задач, які розв'язуються підсистемами; кожна підсистема може налагоджуватися (досліджуватися) окремо і використовуватися в загальній системі вже після налагодження; істотно спрощується вид основної моделі за рахунок виключення з неї другорядних блоків; полегшується модифікація загальної моделі за рахунок модифікації її більш простих підсистем.

Щодо використання розроблених Simulink-додатків у якості візуальних дидактичних засобів. Практична робота на реальній матеріальній частині РЛС, щодо проведення експерименту, вимагає великих витрат часу на його підготовку. Як видно з рис. 6, при застосуванні Simulink-додатку, досліджувана схема СРЦ готується заздалегідь та зберігається в пам'яті ПЕОМ або на магнітному носії. Безпосередньо на робочому місці (за екраном ПЕОМ) можна створювати (моделювати) тестову різноманітну повітряну та перешкодову обстановку і, виходячи з конкретних умов обстановки вибирати найбільш придатний для спостереження сигналів режим роботи апаратури [5]. Крім цього, практична робота з електротехнічними схемами та із засобами вимірювань неможлива без помилок, а помилки в реальній лабораторії часом дуже дорого обходяться. Працюючи з Simulink-додатком, експериментатор (дослід-

ник) застрахований від поразки струмом, а прилади не вийдуть із ладу через неправильно зібрану схему. Завдяки цій програмі в розпорядженні користувача є такий широкий набір приладів, який не входить до комплексу РЛС.

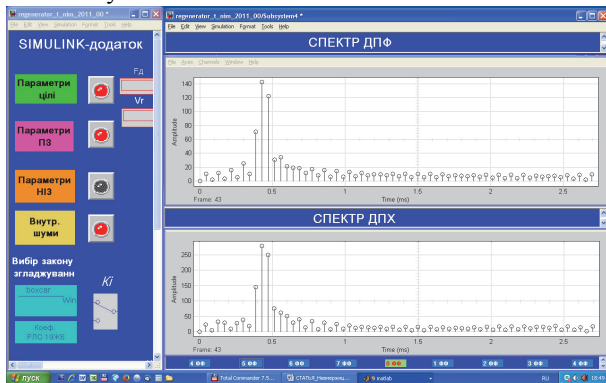


Рис. 6. Вигляд основного вікна Simulink-додатка

## Висновки

1. Завдяки використанню програми Simulink існує можливість для створення візуально-імітаційних додатків елементів систем озброєння радіотехнічних військ при мінімальних витратах часу та коштів.

2. Simulink-додатки елементів систем озброєння РТВ можливо використовувати для планування та проведення широкого спектра досліджень схем та пристроїв існуючих, модернізованих та перспективних РЛС.

3. Simulink-додатки елементів систем озброєння РТВ можливо використовувати при проведенні занять в технічних університетах. При самостійній роботі тих, хто навчається, Simulink-додатки будуть

сприяти розвитку творчих здібностей студентів (курсантів, слухачів). Для викладача Simulink-додатки – це найкращий дидактичний інструмент з візуалізації навчальної інформації. За рахунок візуалізації складних технічних процесів вдається значно підвищити ефективність занять.

## Список літератури

1. Дзбни Дж. *Simulink® 4. Секрети мастерства* / Пер. с англ. М.Л. Симонова / Дж. Дзбни. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 403 с.
2. Черных И.В. *SIMULINK: среда создания инженерных приложений* / И.В. Черных; под. общ. ред. к.т.н. В.Г. Потемкина. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с.
3. Оцінка ефективності застосування компенсатора імпульсних переключень в складній сигнально-переключувальній обстановці / І.М. Невмержицький, С.М. Ковалевський, А.А. Гризо, О.М. Мельник // *Зб. наук. Праць Харківського університету Повітряних Сил*. – Х.: ХУПС, 2013. – Вип. 1 (34). – С. 82-86.
4. Візуально-імітаційне моделювання цифрової системи СРЦ, що реалізує дискретне перетворення Хартлі / І.М. Невмержицький, А.А. Гризо, І.І. Калініченко, Р.Ю. Кліменко // *Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України*. – Х.: ХУПС, 2010. – Вип. 2(4) – С. 137-140.
5. Невмержицький І.М. Удосконалення викладання військово-технічних дисциплін шляхом використання технології візуалізації навчання / І.М. Невмержицький, А.А. Гризо // *Навчально-виховний процес: методика, досвід, проблеми. Науково-методичний зб. ХУПС ім. І. Кожедуба*, 2007. – №3-4. – С. 29-34.

Надійшла до редколегії 20.04.2017

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

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВИЗУАЛЬНО-ИМИТАЦИОННЫХ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ АЛГОРИТМОВ СЕЛЕКЦИИ ДВИЖУЩИХСЯ ЦЕЛЕЙ СУЩЕСТВУЮЩИХ И МОДЕРНИЗИРОВАННЫХ РЛС РТВ С ПОМОЩЬЮ ПАКЕТА SIMULINK

І.М. Невмержицький, А.А. Грызо, М.А. Матвійчук, В.С. Семёнов, Э.И. Гуйда

В статье рассматриваются общие принципы проектирования визуально-имитационных приложений с использованием пакета программ визуального моделирования Simulink. Приведены примеры создания визуально-имитационных приложений, которые моделируют алгоритмы СДЦ на основе однократной, двукратной череспериодной компенсации, дискретного преобразования Фурье и Хартли, а также цифровых фильтров. Приведены рекомендации по использованию предложенных приложений в учебном процессе технического университета в качестве визуальных дидактических средств обучения.

**Ключевые слова:** визуально-имитационные приложения, Simulink, селекция движущихся целей, преобразование Фурье, преобразование Хартли.

## DESIGNING VISUAL-IMITATING APPLICATIONS FOR MODELING ALGORITHMS OF SELECTION OF MOVING TARGETS FOR EXISTING AND MODERNIZED RTV RADARS WITH SIMULINK PACKAGE

I. Nevmerzhtsky, A. Gryzo, M. Matviychuk, V. Semenov, E. Guida

In the article general principles of designing visual-imitating applications using the Simulink visual modeling software package are considered. Examples of creating visual-imitating applications that model the algorithms of SMT based on one-time, two-time inter-stage compensation, discrete Fourier and Hartley transforms, and digital filters are given. Recommendations are given on the use of the proposed applications in the educational process of the technical university as visual didactic teaching aids.

**Keywords:** visual-imitating applications, Simulink, selection of moving targets, Fourier transform, Hartley transform.