



ISSN 1681-7710

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

Системи обробки інформації

Наукове
періодичне
видання

Випуск 7 (144)



ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ
В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ



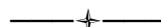
ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ
В СКЛАДНИХ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ



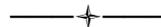
МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ



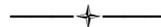
ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ



ІНФОКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ



МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ,
ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ



ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ
НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ



АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАВЧАННЯ

Харків
2016

Збірник наукових праць «Системи обробки інформації» заснований у 1996 році. У збірнику публікуються результати досліджень з розробки нових інформаційних технологій як для рішення традиційних задач збору, обробки та відображення даних, так і для побудови систем обробки інформації у різних проблемних галузях. Збірник призначений для наукових працівників, викладачів, докторантів, ад'юнктів, аспірантів, а також курсантів та студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ

- Голова:** СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків).
- Члени:** БАЙРАМОВ Азад Агахар Огли (д-р фіз.-мат. наук проф., Військова академія, Баку, Азербайджан);
БАРАННИК Володимир Вікторович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
БІЛЬЧУК Віктор Михайлович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
ВАРША Зігмунд Лех (PhD, Polish Metrological Society, Варшава, Польща);
ГОРОБЕЦЬ Микола Миколайович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);
ГОРОДНОВ В'ячеслав Петрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ДРОБАХА Григорій Андрійович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ЄВДОКИМОВ Віктор Федорович (д-р техн. наук проф., член-кор. НАНУ, ІПМЕ НАНУ, Київ);
ЄРМОШИН Михайло Олександрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ЗАХАРОВ Ігор Петрович (д-р техн. наук проф., ХНУРЕ, Харків);
ІВАНОВ Віктор Кузьмич (д-р фіз.-мат. наук с.н.с., ІРЕ НАНУ, Харків);
КОНОВАЛЕНКО Олександр Олександрович (д-р фіз.-мат. наук проф., академік НАНУ, РІ НАНУ, Харків);
КОНОНОВ Володимир Борисович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);
КУПЧЕНКО Леонід Федорович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
КУЧУК Георгій Анатолійович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
ЛОСЄВ Юрій Іванович (д-р техн. наук проф., ХНУ, Харків);
ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович (д-р техн. наук доц., ХУПС, Харків);
ПОРОШИН Сергій Михайлович (д-р техн. наук проф., НТУ «ХПІ», Харків);
РАДЄВ Христо Кирилов (д-р техн. наук проф., Технічний університет, Софія, Болгарія);
РУБАН Ігор Вікторович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
СЕРЕНКОВ Павло Степанович (д-р техн. наук проф., БДУ, Мінськ, Білорусь);
СМЕЛЯКОВ Кирило Сергійович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
СМЕЛЯКОВ Сергій В'ячеславович (д-р фіз.-мат. наук проф., ХУПС, Харків);
СМІРНОВ Євген Борисович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ТИМОЧКО Олександр Іванович (д-р техн. наук проф., ХУПС, Харків);
ХАКІМОВ Ортаголи Шарипович (д-р техн. наук проф., ДУ ЦНЕ, Ташкент, Узбекистан);
ХАРЧЕНКО В'ячеслав Сергійович (д-р техн. наук проф., НАКУ «ХАІ», Харків);
ШМАКОВ Олександр Миколайович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків);
ЯРОШ Сергій Петрович (д-р військ. наук проф., ХУПС, Харків).

Відповідальний секретар: КОРОЛЮК Наталія Олександрівна (канд. техн. наук, ХУПС, Харків).

Адреса редакційної колегії: 61023, м. Харків, вул. Сумська, 77/79,
Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба.
Телефон редакційної колегії: +38 (057) 704-96-53 (консультації, прийом статей).
E-mail редакційної колегії: info@hups.mil.gov.ua.

За достовірність викладених фактів, цитат та інших відомостей відповідальність несе автор.

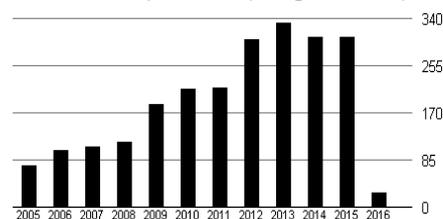
*Затверджений до друку Вченою Радою Харківського університету Повітряних Сил
(протокол від 21 червня 2016 року № 10).*

*Занесений до "Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук",
(технічні та військові науки; затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 29.12.2014 № 1528;
попередні постанови президії ВАК України: від 14.10.2009 р. № 1-05/4; від 9.02.2000 р. № 2-02/2)*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9500 від 13.01.2005 р.

Інформаційний сайт збірника: www.hups.mil.gov.ua
Реферативна інформація зберігається у загальнодержавній реферативній базі даних „Україніка наукова” та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ „Джерело”.
Видання індексується міжнародними бібліометричними та наукометричними базами даних: **Scientific Indexed Service** (США), **Index Copernicus** (Польща), **Universal Impact Factor**, **Open Academic Journals Index**, **Academic Resource Index**, **Google Scholar** (наукометричні показники – $quot. = 2947 / h = 13 / i10 = 35$).

Розподіл «quotation» (Google Scholar)



Рассомахін С.Г., Веклич С.Г. Компоненти бібліотеки еталонних моделей сигналів в телекомунікаційних протоколах фізичного рівня	148	Rassomakhin S.G., Veklych S.G. The components of library of reference models of signals in telecommunication protocols of physical layer	148
Слюсар В.І., Слюсарь І.І., Кулик Р.В., Миронов О.В. Оцінка впливу неідентичності джітера в квадратурних каналах на якість функціонування телекомунікаційної системи з цифровим діаграмоутворенням	152	Slyusar V.I., Sliusar I.I., Kulyck R.V., Myronov A.V. Evaluation of the influence of neodenticula jitter in the quadrature channels on the quality of functioning of telecommunications systems with digital beamforming	152
Четвериков Г.Г., Вечирская И.Д., Пузик А.С. Разработка программной системы электронного трёхязычного словаря	157	Chetverikov G.G., Vechirska I.D., Puzik O.S. Development of software electronic trilingual dictionary	157
МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ, ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ		MODELING IN ECONOMICS, INDUSTRIAL ENGINEERING AND PROJECT MANAGEMENT	
Артьомова А.В., Артьомов І.В. Процедура оцінювання ресурсного потенціалу підприємства	165	Artemova A.V., Artemov I.V. The procedure of evaluation of the resource potential of the enterprise	165
Колпакова Т.А., Олейник А.А. Метод оптимізації розподілення об'єму заказа между конкурирующими агентами	171	Kolpakova T.O., Oliinyk A.O. Method of optimizing the distribution of the order volume among competing agents	171
ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ		EMERGENCY PREVENTION AND LIQUIDATION	
Буданов П.Ф., Бровко К.Ю. Повышение надежности управления технологическим процессом энергообъекта способом выявления аварийных признаков в нештатных режимах функционирования на основе метода фрактального обнаружения	175	Budanov P.F., Brovko K.Yu. Improving the reliability of process control of power facilities emergency way to identify features in non-standard modes functioning on the basis of fractal method of detection	175
Пахалович М.Є., Кіпоренко Г.С. Вдосконалення методики розрахунку опору крихкому руйнуванню трубопроводів Південно-Української АЕС	181	Pahalovich N.E., Kiporenko A.S. Improvement of method of calculation resistance to brittle fracture pipelines South-Ukrainian NPP	181
Попов І.І., Толкунов І.О., Тютюник В.В., Шевчук О.Р. Дослідження процесів очищення повітряного середовища приміщень в умовах надзвичайних ситуацій від аерозольних продуктів вибуху та диму ...	185	Popov I.I., Tolkunov I.A., Tyutyunik V.V., Shevchuk A.R. Research purification processes of the air environment of premises in emergencies from the aerosol products of the explosion and smoke	185
Шевченко Р.І. Дослідження умов внутрішнього управління інформаційно-комунікативним потоком в рамках розбудови інформаційної логістики системи моніторингу надзвичайних ситуацій	189	Shevchenko R.I. Study conditions internal management information and communication flows building in logistics information system monitoring emergencies	189
АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ НАВЧАННЯ		TOPICAL TRAINING ISSUES	
Мирутенко Л.В. Модель формування системи показників та критеріїв оцінювання якості комплексу програмного забезпечення системи дистанційного навчання	196	Myrutenko L.V. Model formation scorecard and quality assessment criteria of software complex of distance learning system	196
Наші автори	201	Authors	201
Алфавітний покажчик	204	Alphabetical index	204

УДК 621.391

В.І. Слюсар, І.І. Слюсарь, Р.В. Кулик, О.В. Миронов

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава

ОЦІНКА ВПЛИВУ НЕІДЕНТИЧНОСТІ ДЖІТЕРА В КВАДРАТУРНИХ КАНАЛАХ НА ЯКІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ З ЦИФРОВИМ ДІАГРАМОУТВОРЕННЯМ

В роботі проведений аналіз впливу джітера на результати оцінювання параметрів сигналів в цифрових антенних решітках (ЦАР). При цьому основний акцент зроблено на дослідженні якості роботи телекомунікаційних систем передачі (ТкСП) з цифровим діаграмоутворенням (ЦДУ) у разі неможливості досягнення ідентичної величини джітера у квадратурних каналах схеми аналого-цифрового перетворення (АЦП) сигналів. З цієї метою виконувався аналітичний розрахунок відношення амплітуд основної та комплексно-сполученої складових сигнальних відгуків при неідентичних дисперсіях джітера у квадратурних каналах прийому. Результати розрахунків дозволяють сформулювати вимоги до відносної величини неідентичностей дисперсії джітера квадратурних каналів АЦП, якщо визначено допустимий рівень величини комплексно-сполученої компоненти на виході цифрового фазового детектора у смузі частот.

Ключові слова: джітер, ТкСП, ЦДУ, ЦАР, МІМО.

Вступ

На даний час, поки що не існує стандартизованих вимог до телекомунікаційних систем передачі (ТкСП) 5G (ІМТ-2020). Це обумовлено тим, що, якщо раніше вимоги були в основному зосереджені навколо швидкості доступу, то зараз значна увага приділяється якості, особливо, питанням якості покриття на краях зон обслуговування.

Для такого підходу доцільно використовувати цифрове діаграмоутворення (ЦДУ) на основі цифрових антенних решіток (ЦАР) [1]. Це дозволяє збільшити відношення сигнал/шум (ВСШ) у радіоканалі; зменшити рівні потужності передавачів; використовувати програмну конфігурацію обладнання; підвищити завадозахищеність і живучість, а також виконувати цифрову обробку сигналів (ЦОС) на основі методів надрозрізнення.

В свою чергу, підвищити ВСШ можливо за рахунок зменшення кількості проміжних частотних перетворень між антенним елементом ЦАР і аналого-цифровим або цифро-аналоговим перетворювачем (АЦП/ЦАП). При цьому, головним чинником, який визначає якість функціонування ТкСП з ЦАР в умовах підвищення частоти складових спектру сигналів, що підлягають перетворенню, є джітер АЦП/ЦАП [2].

Систематизація існуючих підходів щодо визначення впливу зазначеного чинника на якість роботи антенних систем свідчить про їх малу придатність для контролю параметрів джітера в ЦАР [3]. Це обумовлено орієнтацією на оцінку джітера окремих компонентів (АЦП, генератори та ін.), відсутністю формалізації статистичних характеристик. Як наслідок, необхідно розширити існуючий базис оціню-

вання впливу джітера шляхом аналізу якості функціонування систем на базі ЦАР.

Мета роботи: підвищити якість ЦОС в ТкСП з ЦДУ на базі ЦАР за рахунок оцінки ступеню впливу джітера на ВСШ.

Основна частина

Згідно [4], побудова систем 5G ґрунтується на розширенні спектральних діапазонів сигналів до міліметрових довжин хвиль, агрегації різних ділянок спектра, впровадженні нових технологій когнітивного радіо, цифрового формування променя в антенних решітках, масштабованого МІМО (антенні системи радіозасобів і базових станцій (БС) будуть оснащуватися 2-вимірними решітками розмірності 8x2; 8x4; 16x4 елементів), реалізації безпосередньої передачі даних від пристрою до пристрою (Device to Device, D2D), минаючи базові станції (БС), що є посередниками у маршрутизації трафіка. Крім того, при розробці 5G передбачається зробити ставку на реалізацію фізичного рівня на неортогональних сигналах (Methodology for 5G Physical Layer Based on Non-orthogonal Waveforms) [5].

Для цих технологічних нововведень базовими слід вважати квадратурні схеми приймальних каналів ТкСП з АЦП \cos - і \sin -складових сигнальної суміші (рис. 1). В свою чергу, це потребує високої ідентичності характеристик передачі квадратурних каналів прийому. Відмінності в комплексних коефіцієнтах передачі зазначених підканалів призводять до виникнення комплексно-сполучених компонентів (КСК) сигнальних відгуків, ефект від впливу яких аналогічний впливу активних завод.

Як відомо, джітер – це флуктуації положення в часі моменту формування відліку АЦП, що викли-

кані нестабільною роботою генератора тактових імпульсів (ГТІ) і шумами в ланцюгах синхронізації АЦП.

Якщо представити ЦАР у вигляді N -канальної системи АЦП, то слід вважати, що для сигналу ГТІ

(з певними джітером і періодом T) за рахунок буферизації, транспортування та розгалуження, його джітер додатково збільшується. Також, в процесі дискретизації вхідного сигналу в результаті внутрішніх шумів АЦП джітер зростає ще більше.

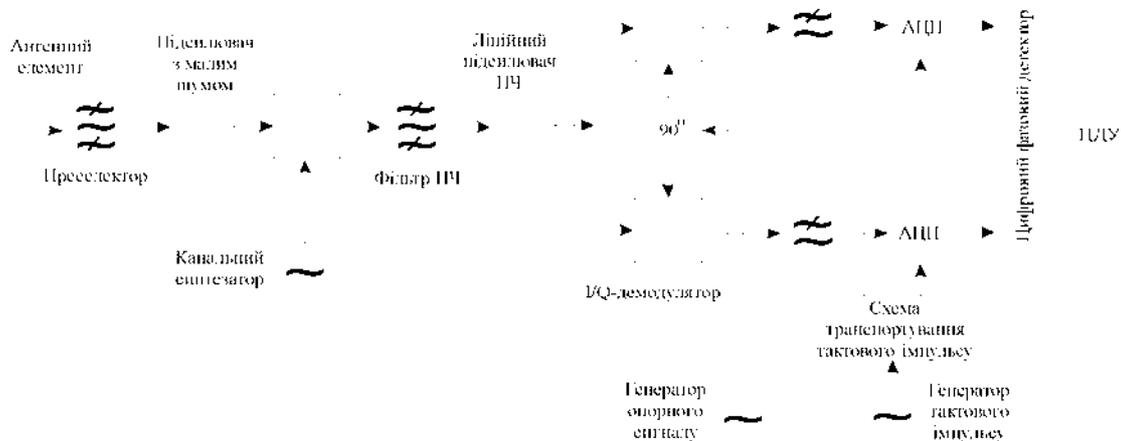


Рис. 1. Спрощений варіант квадратурного каналу ТкСП з ЦАР

В цілому, дані ефекти призводять до викривлення результатів дискретизації аналогового сигналу [6-9], що проявляється в розбіжності значень необхідного та реально взятого відліків сигналу. Очевидно, що для аналогових НЧ-трактів дане викривлення не відіграє істотної ролі та ним можна знехтувати. Однак, для аналогових ВЧ-сигналів таке викривлення може суттєво впливати на результати дискретизації, і тому його необхідно враховувати.

Слід зауважити, що аналогічні ефекти мають місце і передавальному тракту ЦАР у разі цифро-аналогового перетворення сигналів за квадратурною схемою, яка є оптимальною для запобігання появи зеркальної за частотою завади. Однак у даній статті увагу буде приділено лише проявам джітера в приймальному сегменті ЦАР.

В ідеальній ТкСП з ЦАР КСК має нульове значення, що відповідає повній ідентичності квадратурних коефіцієнтів передачі та однаковим дисперсіям джітера у квадратурах. Розширюючи номенклатуру варіантів ЦОС у приймальному тракту ТкСП з ЦАР, слід також передбачити виконання процедури децимації на основі, наприклад, цифрових фазових детекторів. Результат роботи такого цифрового фазового детектора з додатковим стробуванням [10] можна представити у формі:

$$U_m = \sum_{k=0}^{N-1} u_{k+mN} \exp(j\omega_0 T(k + Nm)), \quad (1)$$

де ω_0 – частота опорного сигналу на виході цифрового гетеродину, u_{k+mN} – відліки дискретизованого з джітером гармонійного комплексного сигналу вигляду:

$$u(t) = A \sin(\omega t + \varphi) + jA \cos(\omega t + \varphi). \quad (2)$$

Як відомо, середнє значення напруги відліку на виході цифрового фазового детектора можна записати за виразом [11]:

$$E\{U_m\} = B(2 + \alpha) \frac{\sin(2^{-1}NT(\omega - \omega_0))}{\sin(2^{-1}T(\omega - \omega_0))} \times \exp(j2^{-1}(\omega - \omega_0)T(2Nm + N - 1) + \varphi) + B\alpha \frac{\sin(2^{-1}NT(\omega + \omega_0))}{\sin(2^{-1}T(\omega + \omega_0))} \times \exp(-j2^{-1}(\omega + \omega_0)T(2Nm + N - 1) + \varphi), \quad (3)$$

$$\text{де } B(1 + \alpha) = \frac{A}{2} \exp(-2^{-1}\omega^2\sigma_{C,\tau}^2) \quad (4)$$

$$\text{і } B = \frac{A}{2} \exp(-2^{-1}\omega^2\sigma_{K,\tau}^2).$$

В даному випадку, перший доданок відповідає основній складовій сигналу, а другий – комплексно-сполучений. Надалі, інтерес матиме відношення амплітуд основної та комплексно-сполученої складових при неідентичних дисперсіях джітера у квадратурних каналах АЦП [11]:

$$S = \frac{(2 + \alpha) \frac{\sin(2^{-1} \cdot NT \cdot (\omega - \omega_0))}{\sin(2^{-1} \cdot T \cdot (\omega - \omega_0))}}{\alpha \frac{\sin(2^{-1} \cdot NT \cdot (\omega + \omega_0))}{\sin(2^{-1} \cdot T \cdot (\omega + \omega_0))}}, \quad (5)$$

$$\text{де } \alpha = \frac{\exp(-2^{-1}\omega^2\sigma_{C,\tau}^2)}{\exp(-2^{-1}\omega^2\sigma_{K,\tau}^2)} - 1.$$

При однакових дисперсіях джітера у квадратурах $\sigma_{C,\tau}^2 = \sigma_{K,\tau}^2$, і $\alpha = 0$ відношення S (5) буде прямувати до нескінченності, що відповідає нульовому значенню КСК [11].

Якщо розглядати в якості показника неідентичності джітера у квадратурах величину α , то за умови $\sigma_{C,\tau}^2 + \sigma_{K,\tau}^2 = \text{const}$, нескінченне збільшення α дозволяє одержати вираз для межі S (5), яка при фіксованій частоті сигналу визначається значенням [11]:

$$\lim_{\alpha \rightarrow \infty} S = \left(\frac{\sin\left(\frac{NT}{2}(\omega - \omega_0)\right)}{\sin\left(\frac{T}{2}(\omega - \omega_0)\right)} \right) \left(\frac{\sin\left(\frac{NT}{2}(\omega + \omega_0)\right)}{\sin\left(\frac{T}{2}(\omega + \omega_0)\right)} \right)^{-1}$$

Для оцінки ступеню впливу неідентичності джітера у квадратурних каналах АЦП на вказану величину S були проведені розрахунки співвідношення (5) в пакеті Mathcad для різних вихідних даних при зміні частоти вхідного сигналу в межах основного «пелюстка» амплітудно-частотної характеристики (АЧХ) цифрового фазового детектора з додатковим стробуванням.

Приклад результатів розрахунків представлений у логарифмічному масштабі на рис. 2. По горизонтальній осі відкладений зсув вхідного сигналу (амплітудою 10 квантів АЦП) за частотою відносно центральної частоти цифрового фазового детектора, яка дорівнює 100 МГц, з дискретом в 1/250 ширини основної «пелюстки» АЧХ (у даному випадку, крок за частотою становить 10 кГц). По вертикальній осі представлено розрахункове значення величини S (5).

Частота дискретизації дорівнює 400 МГц (відповідає 0,25 періоду центральної частоти фазового детектора, тобто 2,5 нс. У процесі розрахунків фіксувалася сума дисперсій $\sigma_{C,\tau}^2 + \sigma_{K,\tau}^2$. В результаті, достатньо було варіювати величиною дисперсії джітера лише в одній з квадратурних складових сигналу, тоді як значення для дисперсії в іншій квадратурі розраховувалося за теоремою Піфагора.

Рис. 2 відповідає випадку

$$\sigma_{C,\tau}^2 + \sigma_{K,\tau}^2 = 10^{-24} \text{ с.}$$

Штрихова (нижня) лінія на рис. 2 отримана за умови СКВ джітера

$\sigma_{C,\tau} = 0,01 \text{ пс}$ і $\sigma_{K,\tau} = \sqrt{1 - 0,01^2} \approx 0,99995 \text{ пс}$ (неідентичність СКВ джітера у квадратурах становить приблизно $\approx 99,995$ разів), а суцільна (верхня) лінія –

$\sigma_{C,\tau} = 0,707 \text{ пс}$ і $\sigma_{K,\tau} = \sqrt{1 - 0,707^2} \approx 0,70721 \text{ пс}$ (дисперсія джітера у квадратурах близька до рівності, а неідентичність СКВ дорівнює приблизно 1,000302 рази).

Як видно, суцільна лінія проходить вище пунктирної. Це значить, що відношення рівнів основної та комплексно-сполученої складових S зменшується зі збільшенням неідентичності джітера у квадратурах АЦП. Однак, це зниження обмежується за рівнем зазначеною вище межею. У такому випадку, як показують результати моделювання, ця межа майже збігається зі штриховою лінією рис. 2.

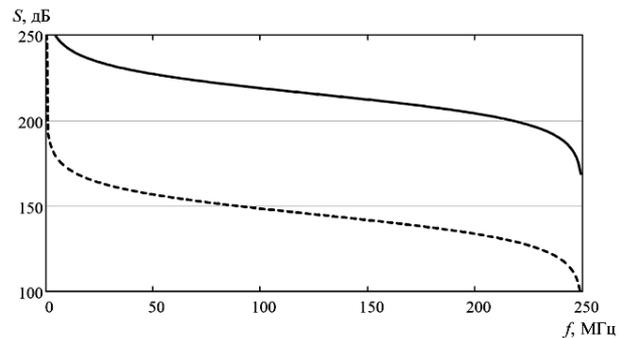


Рис. 2. Відношення амплітуд основної та комплексно-сполученої складових при неідентичних дисперсіях джітера в квадратурних каналах АЦП ($\sigma_{C,\tau}^2 + \sigma_{K,\tau}^2 = 10^{-24} \text{ с}$)

Зазначене співвідношення S (5) також зменшується в міру відхилення частоти сигналу від центральної частоти цифрового фазового детектора. Суттєво, що різниця між значеннями ординат суцільної та штрихової ліній в дБ є фіксованою для всіх частотних зсувів. Стосовно рис. 2, ця різниця складає 70,398 дБ. Якщо підвищити неідентичність СКВ джітера у квадратурах, задавши СКВ джітера $\sigma_{C,\tau} = 0,000001 \text{ пс}$, при цьому:

$$\frac{\sigma_{C,\tau}}{\sigma_{K,\tau}} = 1,0 \cdot 10^5,$$

то зазначена різниця дорівнює 70,4 дБ, що є граничним для даних умов.

На рис. 3 представлені результати моделювання, що відповідають незмінному положенню верхньої суцільної лінії (як на рис. 2), і умові для нижньої лінії у вигляді СКВ джітера $\sigma_{C,\tau} = 0,7 \text{ пс}$ і $\sigma_{K,\tau} = \sqrt{1 - 0,7^2} \approx 0,7141 \text{ пс}$ (неідентичність СКВ джітера у квадратурах становить $\approx 1,02$ разів або 2 %). При цьому різниця в співвідношенні S для двох зазначених кривих фіксується на рівні 36,42 дБ.

У табл. 1 представлені величини втрат відносно рівнів основної та комплексно-сполученої складових в залежності від неідентичності СКВ джітера у квадратурних каналах прийому.

Таким чином, використовуючи вираз (5), можна сформулювати вимоги до відносної величини неідентичностей α дисперсій джітера квадратурних АЦП, задавшись припустимим рівнем величини

комплексно-сполученої компоненти на виході цифрового фазового детектора у смузі частот.

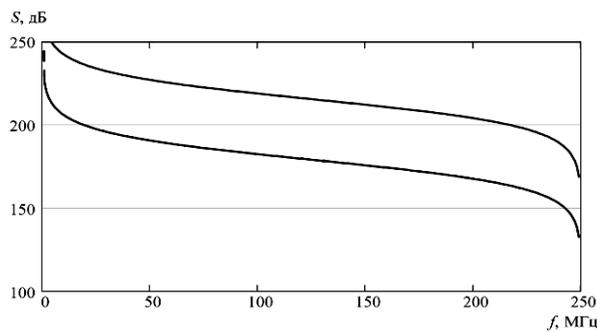


Рис. 3. Відношення амплітуд основної та комплексно-сполученої складових при неідентичних дисперсіях джітера в квадратурних каналах АЦП ($\sigma_{C,\tau} = 0,7$ пс

$$\text{и } \sigma_{K,\tau} = \sqrt{1 - 0,7^2} \approx 0,7141 \text{ пс})$$

Під час досліджень встановлено, що відношення рівнів основної та комплексно-сполученої складових зменшується зі збільшенням неідентичності

джітера у квадратурах АЦП, однак це зниження обмежується деяким рівнем.

Результати розрахунків визначають допустимий рівень величини КСК на виході цифрового фазового детектора у визначеній смузі частот.

В свою чергу, вони дозволяють сформулювати вимоги до відносної величини неідентичностей дисперсій джітера квадратурних каналів АЦП.

Серед них слід виділити наступні:

- ефективне число бітів АЦП;
- середньоквадратичний рівень бічних променів ДС;
- дисперсія та максимальний зсув оцінки напрямку приходу сигналу;
- максимально припустимий розкид дисперсій джітера АЦП у квадратурних каналах.

Чисельні показники вимог до джітера АЦП і ЦАП в ТкСП з ЦДУ на базі ЦАР можуть бути отримані на підставі значення сигнал/шум на виході АЦП при формуванні за допомогою ЦАП сигналу з відомими параметрами при заданому значенні потужності адитивного шуму.

Таблиця 1

Залежність втрат у відношенні рівнів основної компоненти та КСК сигналів від СКВ джітера порівняно з випадком ідентичних квадратурних каналів

СКВ джітера однієї з квадратурних складових сигналів, пс	Неідентичність СКВ джітера в квадратурах, %	Втрати у відношенні рівнів основної та комплексно-сполученої складових сигналів, дБ
0,7030	1,165	31,676
0,7040	0,8807	29,258
0,7050	0,597	25,89
0,7060	0,3133	20,305
0,7061	0,285	19,483
0,7062	0,2566	18,575
0,7063	0,2283	17,561
0,7064	0,2	16,412
0,7065	0,1717	15,088
0,7066	0,1434	13,524
0,7067	0,116	11,615
0,7068	0,087	9,165
0,7069	0,0585	5,74
0,70695	0,04435	3,336

Висновки

Таким чином, в роботі виконана оцінка впливу неідентичності джітера в квадратурних каналах ЦАР на якість функціонування ТкСП з ЦДУ. При цьому, основний акцент зроблено на дослідженні якості роботи ТкСП з ЦДУ у разі неможливості досягнення ідентичної величини джітера у квадратурних каналах схеми аналого-цифрового перетворення (АЦП) сигналів. Відзначена принципова неможливість

усунути вплив джиттера підвищенням амплітуди вхідного сигналу. Результати розрахунків дозволяють сформулювати вимоги до відносної величини неідентичностей дисперсій джітера квадратурних каналів АЦП, якщо визначено допустимий рівень величини комплексно-сполученої компоненти на виході цифрового фазового детектора у смузі частот. На основі систематизації результатів існуючих прогнозів щодо подальших напрямків розвитку ТкСП 5G, можливо визначити їх базові характеристики:

завадозахищеність; висока швидкість передачі даних; криптозахищеність даних; адаптивне формування діаграм спрямованості антен базових станцій (БС); впровадження неортогональних багаточастотних сигналів (наприклад, N-OFDM); забезпечення режимів MIMO, MANET, VANET, у т. ч. для БПЛА; адаптивний вибір і використання IP та ін. мережних протоколів; вбудований перекладач (мультимовність), розширене голосове меню керування смартфоном; наявність режиму радіолокації повітряних об'єктів (БПЛА та ін.) за допомогою БС; багатодіапазонність і мультистандартність.

Список літератури

1. Слюсар В.И. Основные понятия теории и техники антенн. Антенные системы евклидовой геометрии. Фрактальные антенны. SMART-антенны. Цифровые антенные решетки (ЦАР). MIMO-системы на базе ЦАР. Особенности построения суперлинейных усилителей // Разделы 9.3-9.9 в книге «Широкополосные беспроводные сети передачи информации». [Текст] / В.И. Слюсар. – М.: Техносфера, 2005. – С. 498-569.
2. Слюсар В.И. Влияние нестабильности такта АЦП на угловую точность линейной цифровой антенной решетки [Текст] / В.И. Слюсар // Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника. – 1998. – Том 41. – № 6. – С. 77-80.
3. Слюсар В.И. Влияние джиттера АЦП на точность пеленгации цифровыми антенными решетками [Текст] / В.И. Слюсар, М.В. Бондаренко // Радиоэлектроника. – 2011. – Том 54. – № 8. – С. 41-49. (Изв.вузов).
4. 5G Wireless Ecosystem: 2015-2025 – Technologies, Applications, Verticals, Strategies & Forecasts [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.reportsnreports.com/reports/323028-the-5g-wireless-ecosystem-2015-2025-technologies-applications-verticals-strategies-forecasts.html> – Дата доступу: 16.04.2016.
5. Project 5th Generation Non-Orthogonal Waveforms for Asynchronous Signalling [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.5gnow.eu/> – Дата доступу: 16.04.2016.
6. Бахтияров Г.Д. Аналого-цифровые преобразователи [Текст] / Г.Д. Бахтияров, В.В. Малинин, В.П. Школин; под ред. Г.Д. Бахтиярова. – М.: Советское радио, 1980. – 280 с.
7. Маковий В.А. Динамический диапазон дискретизатора [Текст] / Маковий В.А. // Радиотехника. – 1991. – N 7. – С. 40-42.
8. Вострецов А.Г. Эффект дрожания отсчетов в системах дискретной обработки сигналов [Текст] / А.Г. Вострецов, В.Н. Васюков // Радиотехника и электроника, 2003. – Том 48. – N 5. – С. 584-589.
9. Brannon B. Aperture Uncertainty and ADC System Performance / B. Brannon // Analog Devices Application Note AN-501, [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.analog.com> – Дата доступу: 16.04.2016.
10. Слюсар В.И. Синтез алгоритмов измерения дальности M источников при дополнительном стробировании отсчетов АЦП [Текст] / В.И. Слюсар // Известия вузов. Сер. Радиоэлектроника, 1996. – Том 39. – № 5. – С. 55-62.
11. Бондаренко М.В. Комплексно-сопряженная компонента сигнала при неидентичности джиттера АЦП в квадратурных каналах фазового детектора с дополнительным стробированием [Текст] / М.В. Бондаренко, В.С. Копиевская, В.И. Слюсар // Четвертый международный радиоэлектронный форум «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития» (МРФ-2011). – Х.: ХНУРЭ, 18-21 октября 2011.

Надійшла до редколегії 21.04.2016

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.А. Краснобаєв, Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ НЕИДЕНТИЧНОСТЕЙ ДЖИТТЕРА В КВАДРАТУРНЫХ КАНАЛАХ НА КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С ЦИФРОВЫМ ДИАГРАММООБРАЗОВАНИЕМ

В.И. Слюсар, И.И. Слюсарь, Р.В. Кулик, А.В. Мионов

В работе проведен анализ влияния джиттера на результаты оценивания параметров сигналов в цифровых антенных решетках (ЦАР). При этом основной акцент сделан на исследовании качества работы ТкСП с ЦДО в случае невозможности достижения идентичной величины джиттера в квадратурных каналах схемы аналого-цифрового преобразования сигналов. С этой целью выполнялся аналитический расчет отношения амплитуд основной и комплексно-сопряженных составляющих сигнальных откликов при неидентичных дисперсиях джиттера в квадратурных каналах приема. Результаты расчетов позволяют сформулировать требования к относительной величине неидентичностей дисперсий джиттера квадратурных каналов АЦП, если определен допустимый уровень величины комплексно-сопряженной компоненты на выходе цифрового фазового детектора в полосе частот.

Ключевые слова: джиттер, ТкСП, ЦДО, ЦАР, MIMO.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF NEODENTICULA JITTER IN THE QUADRATURE CHANNELS ON THE QUALITY OF FUNCTIONING OF TELECOMMUNICATIONS SYSTEMS WITH DIGITAL BEAMFORMING

V.I. Slyusar, I.I. Sliusar, R.V. Kulyck, A.V. Myronov

This paper analyzes the impact of jitter on the results of the estimation of parameters of signals in a digital antenna array. While the main emphasis is on the study of the quality of work with telecommunications systems to the DBF in case of impossibility to achieve the same magnitude of the jitter in the quadrature channel circuit analog-to-digital signal conversion. With this purpose we performed an analytical calculation of the ratio of amplitudes of the main and the complex-conjugate of the signal components of the responses with non-identical variances jitter in quadrature reception channels. The calculation results allow to formulate requirements to the relative values of neodenticula of jitter variances of the quadrature channels of the ADC, if it is determined acceptable level the magnitude of the complex conjugate components of the output of the digital phase detector in the frequency band.

Keywords: Jitter, digital telecommunications systems, beamforming, MIMO.

- ЗАЙЦЕВ** Дмитро Володимирович Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, кандидат військових наук, доцент кафедри
- ЗВИГЛЯНИЧ** Сергій Миколайович Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник НДВ НЦ ПС
- ЗУБЕНКО** Валентина Олександрівна Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
- ІОНИК** Альона Олександрівна Національний авіаційний університет, Київ, студентка
- КАЙДАН** Микола Володимирович Національний університет “Львівська політехніка”, Львів, кандидат технічних наук, доцент кафедри
- КАЛІБЕРДА** Любов Мстислаівна Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Харків, кандидат технічних наук, доцент кафедри
- КАНДИРИН** Микола Павлович Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший науковий співробітник НДВ НЦ ПС
- КІМЛИК** Олена Олегівна Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, студентка
- КІПОРЕНКО** Ганна Сергіївна Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, кандидат технічних наук, доцент кафедри
- КОБИЛІН** Анатолій Михайлович Харківський навчально-науковий інститут ДВНЗ Університету банківської справи, Харків, кандидат технічних наук, доцент кафедри
- КОБИЛІН** Олег Анатолійович Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
- КОВАЛЕНКО** Вікторія Володимирівна Національний авіаційний університет, Київ, кандидат біологічних наук, доцент, доцент кафедри
- КОЛПАКОВА** Тетяна Олексіївна Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, старший викладач кафедри
- КОСТЮК** Тетяна Анатолівна Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, доктор технічних наук, професор
- КРАВЧУК** Сергій Олександрович Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, доктор технічних наук, професор
- КУКУШКІН** Дмитро Олегович Український державний університет залізничного транспорту, Харків, магістрант
- КУЛИК** Роман Володимирович Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, студент
- КУЛІБАБА** Владислав Андрійович Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, студент
- КУРЧАНОВ** Валерій Микитович Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, кандидат технічних наук, доцент, в.о. завідувача кафедри
- КУЧЕРЕНКО** Євген Іванович Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, доктор технічних наук, професор, професор кафедри
- ЛЕЩЕНКО** Олександр Борисович Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського “ХАІ”, Харків, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
- ЛЄНКОВ** Сергій Васильович Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, доктор технічних наук, професор, начальник науково-дослідного центру
- ЛЄНКОВ** Євген Сергійович Військовий інститут телекомунікацій та інформатизації, Київ, кандидат технічних наук
- ЛОЗА** Віталій Миколайович Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник НДЦ
- ЛУК’ЯНЕНКО** Святослав Олексійович Національний технічний університет України «КПІ», Київ, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
- МАР’ІН** Сергій Олександрович Державна академія культури, Харків, кандидат технічних наук, доцент
- МИРОНОВ** Олексій Васильович Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, студент
- МИРУТЕНКО** Лариса Вікторівна Європейський університет, Київ, аспірант
- МІНОЧКІН** Дмитро Анатолійович Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», Київ, кандидат технічних наук
- ОБОД** Андрій Іванович Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, аспірант
- ОЛІЙНИК** Андрій Олександрович Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя, доцент кафедри
- ОСАДЧИЙ** Сергій Іванович Кіровоградський національний технічний університет, Кіровоград, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри

Наші автори

ПАХАЛОВИЧ <i>Микола Євгенович</i>	ТОВ «Експертно-технічний центр «ЕНЕРГОРЕСУРС», Київ, директор
ПОПАДІН <i>Андрій Іванович</i>	Український державний університет залізничного транспорту, Харків, магістрант
ПОПОВ <i>Іван Іванович</i>	Національний університет цивільного захисту України, Харків, кандидат технічних наук, доцент
ПРИЩЕПА <i>Андрій Васильович</i>	Український державний університет залізничного транспорту, Харків, магістрант
ПРОЦЕНКО <i>Ярослав Миколайович</i>	Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, ад'юнк
ПУЗІК <i>Олексій Сергійович</i>	Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, аспірант
РАССОМАХІН <i>Сергій Геннадійович</i>	Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри
РАЧКОВСЬКИЙ <i>Олександр Васильович</i>	Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, кандидат технічних наук, доцент
САМОФАЛОВ <i>Леонід Дмитрович</i>	Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, доцент
СВИД <i>Ірина Вікторівна</i>	Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
СИДОРЕНКО <i>Руслан Григорович</i>	Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
СИТНИКОВ <i>Дмитро Едуардович</i>	Державна академія культури, Харків, кандидат технічних наук, доцент
СЛЮСАР <i>Вадим Іванович</i>	Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, доктор технічних наук, професор, професор кафедри
СЛЮСАРЬ <i>Ігор Іванович</i>	Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
СМОЛІЄНКО <i>Наталія Олександрівна</i>	Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського "ХАІ", Харків, магістрант
СОТНИКОВ <i>Олександр Михайлович</i>	Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, доктор технічних наук, професор
СПОЛЬНИК <i>Олександр Іванович</i>	Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. Петра Василенка, Харків, доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри
ТАРШИН <i>Володимир Анатолійович</i>	Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, доцент
ТИХЕНКО <i>Оксана Миколаївна</i>	Національний авіаційний університет, Київ, асистент кафедри
ТОЛКУНОВ <i>Ігор Олександрович</i>	Національний університет цивільного захисту України, Харків, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри
ТРОХИМЧУК <i>Сергій Миколайович</i>	Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри
ТЮТЮНИК <i>Вадим Володимирович</i>	Національний університет цивільного захисту України, Харків, доктор технічних наук, старший науковий співробітник, начальник навчальної НДЛ
ФЕКЛИСТОВ <i>Андрій Олександрович</i>	Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник НДВ НЦ ПС
ХОДАК <i>Марина Вікторівна</i>	Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, аспірант
ЦИЦАРЄВ <i>Вадим Миколайович</i>	Військовий інститут Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Київ, кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник НДЦ
ЧЕРНИЦЬКА <i>Ілона Олександрівна</i>	Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, асистент кафедри
ЧЕТВЕРИКОВ <i>Григорій Григорович</i>	Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, доктор технічних наук, професор
ШАПОВАЛОВА <i>Олена Олександрівна</i>	Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
ШЕВЧЕНКО <i>Роман Іванович</i>	Національний університет цивільного захисту України, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, докторант
ШЕВЧУК <i>Олександр Русланович</i>	Національний університет цивільного захисту України, Харків, науковий співробітник навчальної науково-дослідної лабораторії
ШЕВЯКОВ <i>Юрій Іванович</i>	Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, доцент, декан факультету інформаційних та технічних систем
ШИПІЦІН <i>Сергій Іванович</i>	Національний юридичний університет імені Ярослава Мудрого, Харків, кандидат технічних наук доцент, старший викладач кафедри

Алфавітний покажчик

Азарсков В.М.	6	Звиглянич С.М.	83	Попадін А.І.	12
Акімов О.І.	12	Зубенко В.О.	6	Попов І.І.	185
Андреев С.М.	29	Іонік А.О.	26	Прищепа А.В.	12
Андрушак В.С.	134	Кайдан М.В.	134	Проценко Я.М.	61
Анікін А.М.	90	Каліберда Л.М.	32	Пузік О.С.	157
Антонов А.В.	83	Кандирін М.П.	49	Рассомахін С.Г.	148
Артюмов І.В.	165	Кімлик О.О.	98	Рачковський О.В.	58
Артюмова А.В.	165	Кіпоренко Г.С.	181	Самофалов Л.Д.	79
Аругюнов В.А.	58	Кобилін А.М.	107	Свид І.В.	72
Атаманський Д.В.	15	Кобилін О.А.	107	Сидоренко Р.Г.	75
Афанасьєва Л.О.	119	Коваленко В.В.	55	Ситніков Д.Е.	86
Безсонов О.О.	127	Колпакова Т.О.	171	Слюсар В.І.	152
Бзот В.Б.	83	Костюк Т.А.	58	Слюсарь І.І.	152
Білокуров О.О.	22	Кравчук С.О.	119	Смоліненко Н.О.	90
Блохін Л.М.	6	Кукушкін Д.О.	12	Сотніков О.М.	75
Богуненко М.М.	26	Кулик Р.В.	152	Спольнік О.І.	32
Бондаренко О.І.	58	Кулібаба В.А.	113	Таршин В.А.	75
Бровко К.Ю.	175	Курчанов В.М.	130	Тихенко О.М.	55
Буданов П.Ф.	175	Кучеренко Є.І.	143	Толкунов І.О.	185
Бутенко О.С.	29	Лещенко О.Б.	90	Трохимчук С.М.	29, 143
Валенда Н.А.	79	Ленков Є.С.	66	Тютюник В.В.	185
Васюта В.В.	130	Ленков С.В.	61	Феклістов А.О.	96
Веклич С.Г.	148	Лоза В.М.	66	Ходак М.В.	143
Вечірська І.Д.	157	Лук'яненко С.О.	55	Цицарев В.М.	61
Гайдусь А.Ю.	32	Мар'їн С.О.	86	Черницька І.О.	130
Глива В.А.	55	Миронов О.В.	152	Четвериков Г.Г.	157
Горбенко Ю.І.	113	Миругенко Л.В.	196	Шаповалова О.О.	98
Дубницький В.Ю.	107	Міночкін Д.А.	119	Шевченко Р.І.	189
Дудінова О.Б.	36	Обод А.І.	72	Шевчук О.Р.	185
Єсіна М.В.	113	Олійник А.О.	171	Шевяков Ю.І.	103
Животовський Р.М.	45	Осадчий С.І.	6	Шипіцин С.І.	15
Зайцев Д.В.	61	Пахалович М.Є.	181		

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Випуск 7 (144)

Відповідальна за випуск *Н.О. Королюк*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9500 від 13.01.2005 р.

Комп'ютерна верстка: *В.В. Кірвас*

Оформлення обкладинки: *І.В. Ільїна*

Техн. редактор *В.В. Кірвас*

Коректор *Н.К. Гур'єва*

Підписано до друку 24.06.2016	Формат 60×84/8	Папір офсетний
Гарнітура «Times New Roman»	Друк – різнограф	Ум.-друк. арк. – 25,5
Ціна договірна	Наклад 150 прим.	Обл.-вид. арк. – 23,72
		Зам. 624-16

Видавництво Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 2535 від 22.06.2006 р.

Адреса видавництва: 61023, Харків-23, вул. Сумська, 77/79

Віддруковано з готових оригінал-макетів у друкарні ФОП Петров В.В.
Єдиний державний реєстр юридичних осіб та фізичних осіб-підприємців.
Запис № 2480000000106167 від 08.01.2009.

61144, м. Харків, вул. Гв. Широнінців, 79в, к. 137, тел. (057) 778-60-34
e-mail: bookfabrik@mail.ua