

**СИСТЕМИ  
ОБРОБКИ  
ІНФОРМАЦІЇ**

**ВИПУСК 2(69)**



**ХАРКІВ - 2008**



# СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ

**Випуск 2(69)**

**Заснований  
у 1996 році**

Відображені 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.

**Засновник:** Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба;  
61023, м. Харків-23,  
вул. Сумська, 77/79, ГНК, 101-Г

**Телефони:** +38 (057) 756-47-02;  
+38 (057) 704-96-47

**E-mail редколегії:**  
infosintez @ hups.edu.ua.  
**Інформаційний сайт:**  
www.hups.edu.ua.

**Реферативна інформація** зберігається: у загальнодержавній реферативній базі даних „Україніка наукова” та публікується у відповідних тематичних серіях **УРЖ „Джерело”**; у реферативній базі даних Всеросійського інституту наукової і технічної інформації (**ВІНІТІ**) Російської академії наук і публікується у відповідних тематичних серіях РЖ

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:**

**Голова:**

СТРЕЛКОВ Олександр Іванович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

**Члени:**

БІЛЬЧУК Віктор Михайлович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

ГОЛКІН Дмитро Васильович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

ГОРОБЕЦЬ Микола Миколайович (д-р фіз-мат. наук, проф., ХНУ)

ЄВДОКІМОВ Віктор Федорович

(член-кор. НАНУ, д-р техн. наук, проф., ІПМЕ НАНУ)

ІВАНОВ Віктор Кузьмич (д-р фіз-мат. наук, снс, ІРЕ НАНУ)

КАРАСЬ Вячеслав Ігнатович (д-р фіз-мат. наук, проф., ХУ ПС)

КАРПЕНКО Володимир Іванович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

КАЧАНОВ Петро Олексійович (д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ»)

КОВТУНЕНКО Олексій Петрович (д-р техн. наук, проф., ЦНДІ ОБТ)

КОЗЕЛКОВ Сергій Вікторович (д-р техн. наук, проф., ЦНДІ НіУ)

КОНОВАЛЕНКО Олександр Олександрович

(академік НАНУ, д-р фіз-мат. наук, проф., РІ НАНУ)

КОНОНОВ Борис Тимофійович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

КРАСНОБАЄВ Віктор Анатолійович (д-р техн. наук, проф., ХНТУ СХ)

КУПЧЕНКО Леонід Федорович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

ЛОСЄВ Юрій Іванович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

ПРИЛЕПСЬКИЙ Євген Дмитрович (д-р фіз-мат. наук, проф., ХУ ПС)

СМЕЛЯКОВ Сергій В'ячеславович (д-р фіз-мат. наук, проф., ХУ ПС)

СТАСЄВ Юрій Володимирович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

ФОМЕНКО Олег Миколайович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

ХАРЧЕНКО В'ячеслав Сергійович (д-р техн. наук, проф., НАКУ «ХАІ»)

ЧИНКОВ Віктор Миколайович (д-р техн. наук, проф., ХУ ПС)

**Відповідальний секретар:** КУЧУК Георгій Анатолійович

(канд. техн. наук, снс, ХУ ПС)

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

*Затверджений до друку Вченою Радою Харківського університету Повітряних Сил  
(протокол № 67 від 27 березня 2008 року)*

*Занесений до “Переліку № 16 наукових фахових видань України”, затвердженого постановою президії ВАК України від 8 червня 2005 р., № 2-05/5 (технічні науки, № 7)*

*Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9500 від 13.01.2005 р.*

УДК 517.4:621.396

В.И. Слюсар<sup>1</sup>, К.А. Васильев<sup>2</sup><sup>1</sup>Центральный НИИ вооружения и военной техники Вооруженных Сил Украины, Киев<sup>2</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ «КПИ», Полтава

## МЕТОД НЕОРТОГОНАЛЬНОЙ ЧАСТОТНОЙ ДИСКРЕТНОЙ МОДУЛЯЦИИ НА ОСНОВЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ХАРТЛИ С КВАДРАТУРНОЙ АМПЛИТУДНОЙ МОДУЛЯЦИЕЙ ЧАСТОТНЫХ НЕСУЩИХ

*В статье рассмотрен метод неортогональной частотной дискретной модуляции на основе преобразования Хартли с квадратурной амплитудной модуляцией частотных несущих. Применение вещественного ядра функций Хартли обеспечивает вычисления без использования комплексных чисел и, как следствие, позволяет снизить вычислительные затраты, упростить аппаратную реализацию метода N-OFDM. Модулирование отдельных частотных несущих сигналов N-OFDM использованием QAM модуляции повышает пропускную способность каналов связи.*

**неортогональная частотная дискретная модуляция, преобразование Хартли, чётная и нечётная функции Хартли, амплитудно-импульсная модуляция, квадратурная амплитудная модуляция, метод наименьших квадратов**

### Введение

Одним из перспективных методов цифровой обработки сигналов является метод неортогональной частотной дискретной модуляции (N-OFDM) [1, 2], основанный на уплотнении частотных каналов за счёт передачи несущих на неортогональных частотах. Применение данного метода позволяет повысить пропускную способность каналов связи без расширения общей полосы частот сигнала. Поскольку преимущества метода N-OFDM проявляются при большом числе частотных каналов, его реализация с использованием классических преобразований Фурье (ПФ) сталкивается с рядом трудностей, среди которых следует отметить вычислительную сложность с учётом комплексного представления чисел. Несимметричность ПФ относительно мнимой единицы компенсируется выполнением операции перестановки исходных данных [3], требующей дополнительных вычислительных затрат. Применение преобразования Хартли (ПХ) [4] позволяет отказаться от комплексной записи чисел и, как следствие, снизить вычислительные затраты, упростить аппаратную реализацию метода N-OFDM.

### Метод N-OFDM на основе преобразования Хартли с QAM модуляцией частотных несущих

Основная идея метода N-OFDM на основе преобразования Хартли была изложена авторами ранее в [5, 6]. Существенным недостатком предложенного ранее метода является то, что отдельные частотные несущие сигналов N-OFDM модулировались с использованием амплитудно-импульсной модуляции (PAM, Pulse Amplitude Modulation) [7]. Последнее существенно ограничивает применение метода

N-OFDM на основе ПХ в технике радиосвязи вследствие невысокой пропускной способности и низкой помехоустойчивости сигналов PAM. Переход к более эффективному методу модуляции – квадратурной амплитудной модуляции (QAM, Quadrature Amplitude Modulation) [7] требует усовершенствования предложенного ранее метода N-OFDM на основе ПХ.

**Целью статьи** является рассмотрение метода неортогональной частотной дискретной модуляции на основе преобразования Хартли с квадратурной амплитудной модуляцией частотных несущих.

Как и в [5, 6] выбор частот несущих сигналов N-OFDM выбирается с интервалом меньшим за интервал между ближайшими ортогональными частотами, который равен:

$$\Delta F = \frac{1}{T \cdot \tau}, \quad (1)$$

где  $T$  – количество отсчётов цифроаналогового преобразователя (ЦАП);  $\tau$  – период дискретизации ЦАП.

С учётом уплотнения относительно ортогональных частот интервал между ближайшими неортогональными несущими будет определяться выражением:

$$\Delta f = \xi \cdot \frac{1}{T \cdot \tau}, \quad (2)$$

где  $\xi = \Delta f / \Delta F$  – величина частотного уплотнения сигналов N-OFDM, выраженная в долях от интервала между ортогональными несущими.

Отличительной особенностью предлагаемого метода от метода, описанного в [5, 6] является передача двух вещественных квадратурных составляющих на каждой несущей частоте сигнала N-OFDM.

Запишем выражение для сигналов QAM в классическом представлении [7]:

$$U(t) = a^c \cdot \cos(\omega t) + a^s \cdot \sin(\omega t), \quad (3)$$

где  $a^c, a^s$  – амплитуды чётной и нечётной квадратурных составляющих,  $\omega = 2\pi f$  – циклическая частота сигнала.

Выражение (3) можно переписать в виде дискретных отсчётов ЦАП:

$$U_s = a^c \cdot \cos(\omega \cdot \tau \cdot s) + a^s \cdot \sin(\omega \cdot \tau \cdot s) \quad (4)$$

или

$$U_s = a \cdot \sin(\omega \cdot \tau \cdot s + \varphi), \quad (5)$$

где  $s$  – порядковый номер отсчётов ЦАП;

$$a = \sqrt{(a^c)^2 + (a^s)^2} \text{ – амплитуда сигнала;}$$

$$\varphi = \arctg\left(\frac{-a^s}{a^c}\right) \text{ – начальная фаза сигнала.}$$

Функция Хартли имеет вид [4]:

$$\text{cas}(\theta) = \cos(\theta) + \sin(\theta). \quad (6)$$

Для перехода от классической записи QAM к записи в базе функций Хартли введём понятие чётной и нечётной функций Хартли:

$$\text{cas}(\theta) = \cos(\theta) + \sin(\theta); \quad \text{cas}(-\theta) = \cos(\theta) - \sin(\theta). \quad (7)$$

Тогда для сигналов QAM в базе функций Хартли перепишем выражение (4) с учётом (7):

$$U_s = a^c \cdot \text{cas}(\omega \cdot \tau \cdot s) + a^s \cdot \text{cas}(-\omega \cdot \tau \cdot s). \quad (8)$$

Для двухчастотного сигнала N-OFDM в базе функций Хартли с использованием QAM модуляции отдельных несущих запишем:

$$U_s = a_1^c \cdot \text{cas}[\omega_1 \tau (s - z_1)] + a_1^s \cdot \text{cas}[-\omega_1 \tau (s - z_1)] + a_2^c \cdot \text{cas}[\omega_2 \tau (s - z_2)] + a_2^s \cdot \text{cas}[-\omega_2 \tau (s - z_2)], \quad (9)$$

где  $a_{1,2}^c, a_{1,2}^s$  – амплитуды квадратурных составляющих на 1-й и 2-й частоте,  $z_1, z_2$  – смещение начала формируемой выборки относительно точки нулевой фазы 1-й и 2-й несущих частот.

По аналогии с [5] перепишем (9) в матричной форме. При этом для удобства записи введём

$$\text{cas}_{TM}^c = \text{cas}[\omega_M \tau (s_T - z_M)],$$

$$\text{cas}_{TM}^s = \text{cas}[-\omega_M \tau (s_T - z_M)],$$

где  $M$  обозначает номер несущей частоты. Вектор временных отсчётов напряжений двухчастотного сигнала N-OFDM, подлежащий передаче будет равен:

$$W_{dv} = P_{dv} \cdot A_{dv}^{c,s} = \begin{bmatrix} \text{cas}_{11}^c & \text{cas}_{11}^s & \text{cas}_{12}^c & \text{cas}_{12}^s \\ \text{cas}_{21}^c & \text{cas}_{21}^s & \text{cas}_{22}^c & \text{cas}_{22}^s \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{cas}_{T1}^c & \text{cas}_{T1}^s & \text{cas}_{T2}^c & \text{cas}_{T2}^s \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1^c \\ a_1^s \\ a_2^c \\ a_2^s \end{bmatrix}. \quad (10)$$

Обобщим на случай многочастотного сигнала. Для  $M$ -частотного сигнала N-OFDM в базе функций Хартли с использованием QAM модуляции отдельных несущих выражение для вектора временных отсчетов напряжений будет иметь вид:

$$W = P_{QAM} \cdot A^{c,s}, \quad (11)$$

где

$$P_{QAM} = \begin{bmatrix} \text{cas}_{11}^c & \text{cas}_{11}^s & \text{cas}_{12}^c & \text{cas}_{12}^s & \dots & \text{cas}_{1M}^c & \text{cas}_{1M}^s \\ \text{cas}_{21}^c & \text{cas}_{21}^s & \text{cas}_{22}^c & \text{cas}_{22}^s & \dots & \text{cas}_{2M}^c & \text{cas}_{2M}^s \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \text{cas}_{T1}^c & \text{cas}_{T1}^s & \text{cas}_{T2}^c & \text{cas}_{T2}^s & \dots & \text{cas}_{TM}^c & \text{cas}_{TM}^s \end{bmatrix} \text{ –}$$

сигнальная матрица сигнала N-OFDM в базе функций Хартли с использованием QAM модуляции отдельных несущих;

$A^{c,s} = [a_1^c \ a_1^s \ a_2^c \ a_2^s \ \dots \ a_M^c \ a_M^s]^T$  – вектор амплитуд квадратурных составляющих.

Матрица  $P_{QAM}$  представляет собой чередующиеся выборки чётных и нечётных составляющих функций Хартли на несущих частотах. Данная матрица не содержит информации, поскольку её значения определяются расстановкой несущих частот и заранее известны. Передаваемая информация заложена в векторе амплитуд квадратурных составляющих  $A^{c,s}$ .

Демодуляцию сигналов N-OFDM на основе ПХ, сформированных по вышеописанному алгоритму (11) будем рассматривать с ограничением, что сигнал передаётся в канале связи с аддитивным шумом, распределённым по нормальному закону [8]. Математическое ожидание шума стремится к нулю, среднеквадратическое отклонение к единице. Тогда, на выходе приемного устройства прошедшая среду распространения многочастотная сигнальная смесь может быть представлена матричной записью, отличающейся от (11) учетом воздействия аддитивного шума:

$$\tilde{U} = P_{QAM} \cdot A^{c,s} + N, \quad (12)$$

где  $N = [n_1 \ n_2 \ \dots \ n_T]^T$  – вектор отсчетов напряжений шума.

Демодуляция сигналов N-OFDM сводится к решению системы уравнений (12). Для получения оптимальных оценок следует использовать оценивание амплитуд сигналов по методу наименьших квадратов [8]. При этом задача будет сведена к минимизации функционала:

$$L = \sum_{s=1}^T \left\{ \tilde{U} - \sum_{m=1}^M [a_m^c \text{cas}_{TM}^c + a_m^s \text{cas}_{TM}^s] \right\}^2 \rightarrow \min. \quad (13)$$

Тогда оценку амплитуд принятого вектора можно получить, решая систему уравнений:

$$\frac{\partial L}{\partial a_M^c} = 0; \quad \frac{\partial L}{\partial a_M^s} = 0. \quad (14)$$

Решение системы уравнений (14) возможно с использованием правила Крамера [9], как это показано в [2]. Однако такое решение громоздко и неудобно для построения имитационных моделей передачи сигналов N-OFDM. Представить решение системы уравнений (14) можно более компактным способом, если применить метод наименьших квадратов в матричной форме записи по отношению к

(12). Задача определения оптимальных оценок амплитуд будет сведена к минимизации следующего функционала:

$$L = \left\{ \tilde{U} - P_{QAM} \cdot \hat{A} \right\}^T \left\{ \tilde{U} - P_{QAM} \cdot \hat{A} \right\} \rightarrow \min. \quad (15)$$

Дифференцирование (13) по  $\hat{A}$  дает оптимальную оценку вектора [2]:

$$\hat{A} = \left\{ P_{QAM}^T \cdot P_{QAM} \right\}^{-1} \cdot P_{QAM}^T \cdot \tilde{U}. \quad (16)$$

Таким образом, получен метод неортогональной частотной дискретной модуляции на основе преобразования Хартли с квадратурной амплитудной модуляцией частотных несущих. В сравнении с методом N-OFDM с PAM модуляцией частотных несущих [5, 6] полученный метод имеет большую вычислительную сложность, поскольку сигнальная матрица  $P_{QAM}$  имеет в два раза больше столбцов.

Тем не менее, это компенсируется увеличением пропускной способности, так как такой подход позволяет за время передачи одного фрагмента сигнала N-OFDM  $\tau \cdot T$  передать вдвое больше бит информации, чем при использовании ранее предложенного метода. Кроме этого, поскольку частоты несущих полагаются точно известными, матрица

$$\left\{ P_{QAM}^T \cdot P_{QAM} \right\}^{-1}$$

может быть рассчитана заранее.

### Выводы

В работе получен метод неортогональной частотной дискретной модуляции на основе преобразования Хартли с квадратурной амплитудной модуляцией частотных несущих. Такой подход предложен впервые.

Использование вещественного ядра функций Хартли обеспечивает вычисления без использования комплексных чисел.

Модулирование отдельных частотных несущих сигналов N-OFDM по алгоритму QAM позволяет увеличить пропускную способность каналов связи. Полученный метод может быть использован в разработке предложений по модернизации станций радиорелейной, тропосферной и космической связи.

### Список литературы

1. Слюсар В.И., Смоляр В.Г. Частотное уплотнение каналов связи на основе сверхрелеевого разрешения сигналов // Радиоэлектроника. – 2003. – № 7. – С. 30-39.
2. Слюсар В.И., Смоляр В.Г. Метод неортогональной дискретной частотной модуляции сигналов для узкополосных каналов связи // Радиоэлектроника. – 2004. – № 4. – С. 53-59.
3. Коханов А.Б., Захаров В.В. Ортогональная много-тоновая модуляция с использованием преобразования Хартли // Радиоэлектроника. – 2004. – № 11. – С. 38-44.
4. Брейсуэлл Р. Преобразование Хартли: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990. – 175 с.
5. Слюсар В.И., Васильев К.А. Метод неортогональной частотной дискретной модуляции сигналов на основе базисных функций Хартли // Сб. материалов 2-ого Международного радиоэлектронного форума. Том 4. – Х.: ХНУРЭ. – 2005. – С. 224-226.
6. Слюсар В.И., Васильев К.А., Уткин Ю.В. Исследование возможностей частотного уплотнения сигналов N-OFDM на основе базисных функций Хартли // Радиоэлектронные и компьютерные системы. – 2006. – № 6. – С. 215-218.
7. Прокис Дж. Цифровая связь: Пер с англ. / Под ред. Д.Д. Кловского. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1969. – 576 с.
9. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1981. – 720 с.

Поступила в редколлегию 22.02.2008

**Рецензент:** канд. техн. наук В.Г. Смоляр, Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУ Украины «КПИ», Полтава.

### МЕТОД НЕОРТОГОНАЛЬНОЇ ЧАСТОТНОЇ ДИСКРЕТНОЇ МОДУЛЯЦІЇ НА ОСНОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ ХАРТЛІ З КВАДРАТУРНОЮ АМПЛІТУДНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ ЧАСТОТНИХ НЕСУЧИХ

Слюсар В.І., Васильєв К.О.

У статті розглянутий метод неортогональної частотної дискретної модуляції (N-OFDM) на основі перетворення Хартлі з квадратурною амплітудною модуляцією (QAM) частотних несучих. Застосування дійсного ядра функцій Хартлі забезпечує обчислення без використання комплексних чисел і, як наслідок, дозволяє знизити обчислювальні витрати, спростити апаратну реалізацію методу N-OFDM. Модулювання окремих частотних несучих сигналів N-OFDM з використанням QAM модуляції підвищує пропускну спроможність каналів зв'язку.

**Ключові слова:** неортогональна частотна дискретна модуляція, перетворення Хартлі, парна та непарна функції Хартлі, амплітудноімпульсна модуляція, квадратурна амплітудна модуляція, метод найменших квадратів.

### THE METHOD OF NON-ORTHOGONAL FREQUENCY DIVISION MULTIPLEXING ON THE BASIC OF THE HARTLEY TRANSFORM WITH QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION OF THE FREQUENCY CARRIERS

Slyusar V.I., Vasilyev K.A.

In article the method of non-orthogonal frequency division multiplexing (N-OFDM) on the basic of the Hartley transform with quadrature amplitude modulation (QAM) of the frequency carriers is considered. Application of a real kernel of functions Hartley provides calculations without use of complex numbers and, as consequence, allows to reduce computing expenses, to simplify hardware realisation of method N-OFDM. Modulation of separate frequency carriers signals N-OFDM with use of QAM modulation raises throughput of communication channels.

**Keywords:** non-orthogonal frequency division multiplexing, Hartley transform, even and odd functions Hartley, pulse amplitude modulation, quadrature amplitude modulation, least-squares method.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

Азаров С.І.	147	Сизоненко В.Л.	139
Алексеев С.В.	45	Скоб Ю.А.	105
Баланчук В.В.	92	Слюсар В.И.	102
Белімов В.В.	159	Смірнов Є.Б.	112
Богацька О.В.	83	Соляник Ю.В.	108
Болотов О.В.	134	Стаховський О.В.	105
Бородинов В.О.	29	Тарек Юсеф Баді Бишгаві	108
Бурсала О.Л.	32	Ткаченко В.І.	112
Васильев К.О.	102	Тристан А.В.	112
Владимирова М.В.	38	Триц Р.М.	150
Водяних А.А.	52	Тулупов В.В.	116
Гадецька С.В.	2	Тюрін О.О.	86
Галайченко О.М.	144	Угрюмов М.Л.	105
Герасимов С.В.	131	Федін С.С.	150
Голота В.І.	134	Харченко О.В.	121
Дубницький В.Ю.	2	Холодна З.Б.	128
Дуденко С.В.	45	Шквиря Ю.О.	128
Жолткевич Г.М.	108	Яковлев М.Ю.	131
Загорулько О.М.	48	Ясенова І.С.	171
Залкін С.В.	159		
Зенкін А.С.	150		
Кадолін Б.Б.	134		
Казаков О.Є.	52		
Калачова В.В.	166		
Карась В.І.	134		
Карлов В.Д.	57		
Карпенко В.І.	63		
Карюк А.И.	18		
Клименко А.М.	29		
Клівець С.І.	131		
Коваленко М.Й.	139		
Коваль І.В.	65		
Кононов Б.Т.	72		
Кононов В.Б.	68		
Корнієнко А.П.	32		
Коритченко К.В.	105		
Косенко В.В.	29		
Куандиков А.А.	6		
Кудін Д.В.	134		
Кузьменко Д.М.	12		
Лісовець О.В.	32		
Логвиненко М.Ф.	77		
Лукашук О.В.	57		
Лушнікова Г.О.	18		
Любченко О.В.	83		
Магдаліна І.В.	80		
Махмуд Омар Махмуд Хасан	38		
Метешкин К.О.	162		
Можасев О.О.	83		
Моїсєєва Г.О.	63		
Обод І.І.	86		
Олійник Ю.А.	89		
Павленко М.А.	162		
Пантелєєва І.В.	92		
Перепелиця О.В.	45		
Попеленко А.А.	159		
Приходько С.І.	12		
Просов А.В.	94		
Пташнік В.М.	32		
Раковський Х.В.	162		
Редькіна Т.В.	18		
Романенко І.О.	166		
Рубан І.В.	166		
Сахно О.В.	72		
Серпухов О.В.	98		
Сидоренко В.Л.	147		

## НАШІ АВТОРИ

- АЗАРОВ** Сергій Іванович  
**АЛЕКСЄЄВ** Сергій Вікторович  
Інститут ядерних досліджень Національної академії наук України, Київ, доктор технічних наук, старший науковий співробітник  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
- БАЛАНЧУК** Віталій Вікторович  
Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, студент магістратури
- БЄЛИМОВ** Володимир Васильович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
- БОГАЦЬКА** Ольга Вікторівна  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студентка
- БОЛОТОВ** Олег Валерійович  
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, молодший науковий співробітник
- БОРОДИНОВ** Володимир Олександрович  
ДП Харківський НДІ технології машинобудування, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора – головний інженер
- БУРСАЛА** Олександр Леонідович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
- ВАСИЛЬЄВ** Костянтин Олександрович  
Військовий інститут телекомунікацій і інформатизації Національного технічного університету України «КПІ», Полтава, ад'юнкт
- ВЛАДИМИРОВА** Марина Володимирівна  
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, кандидат економічних наук
- ВОДЯНИХ** Анатолій Анатолійович  
Державне підприємство «Оризон-Навігація», Сміла, начальник відділу науково-технічного забезпечення
- ГАЛАЙЧЕНКО** Олена Миколаївна  
Харківський національний університет радіоелектроніки, аспірантка
- ГАДЕЦЬКА** Світлана Вікторівна  
Харківський інститут банківської справи Університету банківської справи НБУ, кандидат фізико-математичних наук, завідувач кафедри
- ГЕРАСИМОВ** Сергій Вікторович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат військових наук, старший науковий співробітник
- ГОЛОТА** Володимир Іванович  
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, кандидат фіз.-мат. наук, старший науковий співробітник, начальник відділу
- ДУБНИЦЬКИЙ** Валерій Юрійович  
Харківський інститут банківської справи Університету банківської справи НБУ, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
- ДУДЕНКО** Сергій Васильович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник НДІ
- ЖОЛТКЕВИЧ** Григорій Миколайович  
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
- ЗАГОРЬКО** Олександр Миколайович  
Національний центр управління та випробувань космічних засобів, Євпаторія, кандидат технічних наук, заступник начальника центру
- ЗАЛКІН** Сергій Володимирович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, науковий співробітник
- ЗЕНКІН** Анатолій Семенович  
Київський національний університет технологій і дизайну, доктор технічних наук, професор
- КАДОЛІН** Борис Борисович  
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, молодший науковий співробітник
- КАЗАКОВ** Олександр Євгенович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
- КАЛАЧОВА** Вероніка Валеріївна  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри
- КАРАСЬ** В'ячеслав Ігнатович  
ННЦ «Харківський фізико-технічний інститут» НАН України, доктор фіз.-мат. наук, професор, начальник лабораторії
- КАРЛОВ** Володимир Дмитрович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
- КАРПЕНКО** Володимир Іванович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник
- КАРЮК** Анастасія Ігорівна  
Ставропольський державний університет, аспірантка
- КЛИМЕНКО** Алла Миколаївна  
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кандидат технічних наук, старший викладач
- КЛИВЕЦЬ** Сергій Іванович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, науковий співробітник НДВ
- КОВАЛЕНКО** Микола Йосифович  
Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва, кандидат технічних наук, доцент кафедри
- КОВАЛЬ** Гор Вікторович  
Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

- КОНОНОВ Борис Тимофійович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, доктор технічних наук, професор, професор кафедри
- КОНОНОВ Володимир Борисович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри
- КОРНІЄНКО Анатолій Петрович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
- КОСЕНКО Віктор Васильович** ДП Харківський НДІ технології машинобудування, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, заступник директора з наукової роботи
- КУАНДИКОВ Абу Абдикадірович** Казахський національний технічний університет ім. К.І. Сатпасва, Алмати, Казахстан, кандидат технічних наук, доцент кафедри
- КУЗЬМЕНКО Дмитро Михайлович** Харківська державна академія залізничного транспорту, здобувач
- ЛІСОВЕЦЬ Олександр Васильович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник
- ЛОГВИНЕНКО Микола Федорович** Харківський національний університет внутрішніх справ, кандидат технічних наук, начальник кафедри
- ЛУКАШУК Олена Вячеславівна** ВАТ «Акціонерне товариство науково-дослідний інститут радіотехнічних вимірювань», Харків, інженер-електронік
- ЛУШНІКОВА Галина Олександрівна** Філія ГОУ ВПО «Московський державний університет приладобудування і інформатики», Ставрополь, методист УМО
- ЛЮБЧЕНКО Олексій Вікторович** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент
- МАГДАЛІНА Ігор Валерійович** Харківський національний університет внутрішніх справ, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
- МАХМУД ОМАР МАХМУД ХАСАН** Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, аспірант
- МЕТЕШКИН Костянтин Олександрович** Міжнародний слов'янський університет, Харків, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри
- МОЖАЄВ Олександр Олександрович** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, доцент
- МОІСЕЄВА Галина Олександрівна** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, старший викладач
- ОБОД Іван Іванович** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доктор технічних наук, професор, професор кафедри
- ОЛІЙНИК Юрій Анатолійович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, науковий співробітник
- ПАВЛЕНКО Максим Анатолійович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, доцент кафедри
- ПАНТЕЛЄВА Ірина Вікторівна** Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, кандидат технічних наук, доцент кафедри
- ПЕРЕПЕЛИЦЯ Олександр Володимирович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, науковий співробітник НДІ Наукового центру
- ПОПЕЛЕНКО Анатолій Андрійович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, науковий співробітник
- ПРИХОДЬКО Сергій Іванович** Харківська державна академія залізничного транспорту, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри
- ПРОСОВ Андрій Валерійович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, провідний науковий співробітник
- ПТАШНИК Василь Миколайович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, науковий співробітник
- РАКОВСЬКИЙ Християн Валер'янович** Міжнародний слов'янський університет, Харків, доктор технічних наук, професор
- РЕДЬКІНА Тетяна Валентинівна** Ставропольський державний університет, кандидат фізико-математичних наук, доцент, доцент кафедри
- РОМАНЕНКО Ігор Олександрович** Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ, кандидат військових наук, доцент, заступник начальника ГШ ЗС України
- РУБАН Ігор Вікторович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри
- САХНО Олексій Володимирович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, викладач
- СЕРПУХОВ Олександр Васильович** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», начальник факультету військової підготовки
- СИДОРЕНКО Володимир Леонідович** Інститут державного управління у сфері цивільного захисту УЦЗ України, Київ, старший викладач
- СИЗОНЕНКО Володимир Леонідович** Харківський національний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва, доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри



- СКОБ** Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків,  
кандидат технічних наук, професор
- Юрій Анатолійович СЛЮСАР** Центральний НДІ озброєння і військової техніки Збройних Сил України, Київ, доктор  
технічних наук, професор, головний науковий співробітник
- Вадим Іванович СМІРНОВ** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
кандидат військових наук, доцент, провідний науковий співробітник
- Євген Борисович СОЛЯНИК** Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,  
інженер
- Юрій Володимирович СТАХОВСЬКИЙ** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри
- Олег Валерійович ТАРЕК ЮСЕФ** Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна,  
аспірант
- БАДІ БІШТАВІ**
- ТКАЧЕНКО** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
кандидат військових наук, професор, начальник університету
- Віктор Іванович ТРИСТАН** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба,  
науковий співробітник
- Андрій Вікторович ТРИЦ** Українська інженерно-педагогічна академія, Харків,  
доктор технічних наук, доцент
- Роман Михайлович ТУЛУПОВ** Харківський національний університет внутрішніх справ,  
кандидат технічних наук, доцент кафедри
- Володимир Володимирович ТЮРІН** Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»,  
аспірант
- Олексій Олексійович УГРЮМОВ** Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків,  
доктор технічних наук, професор
- Михайло Леонідович ФЕДІН** Київський національний університет технологій і дизайну,  
кандидат технічних наук, доцент
- Сергій Сергійович ХАРЧЕНКО** Інститут радіофізики та електроніки НАН України ім. А.Я. Усікова, Харків,  
інженер
- Олена Вікторівна ХОЛОДНА** Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків,  
старший викладач
- Зоя Борисівна ШКВИРЯ** Національний аерокосмічний університет ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», Харків,  
бакалавр
- Юрій Олександрович ЯКОВЛЕВ** Львівський інститут Сухопутних військ ім. П. Сагайдачного НУ «Львівська політехніка»,  
кандидат технічних наук, начальник НДІ
- Максим Юрійович ЯСЕНОВА** Київський національний університет будівництва і архітектури,  
аспірантка
- Ірина Сергіївна**

# З М І С Т

## МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ

<i>Гадецькая С.В., Дубницький В.Ю.</i> Определение числовых характеристик двусторонне усеченного экспоненциального и гамма-распределения .....	2
<i>Куандыков А.А.</i> Задачи ситуационного управления сложными объектами и их особенности .....	6
<i>Приходько С.И., Кузьменко Д.М.</i> Метод декодирования алгебраических сверточных кодов .....	12
<i>Редькина Т.В., Карюк А.И., Лушникова Г.А.</i> Нелинейные уравнения в частных производных, имеющие операторную структуру изоспектральной деформации .....	18

## ОБРОБКА ІНФОРМАЦІЇ В СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ

<i>Бородинов В.А., Клименко А.Н., Косенко В.В.</i> Динамическая модель электромагнитного привода подачи малогабаритной сверлильной головки .....	29
<i>Бурсала О.Л., Корнієнко А.П., Лісовець О.В., Пташник В.М.</i> Бортовий алгоритм розрахунку маневру по виходу в атаку на наземну ціль у горизонтальній площині .....	32
<i>Владимирова М.В., Махмуд Омар Махмуд Хасан.</i> Системный подход к понятию «риск» при разработке больших программных комплексов .....	38
<i>Дуденко С.В., Алексеев С.В., Перепелица А.В.</i> Способ формирования уникальных идентификаторов объектов для подсистем репликации данных в распределенных системах обработки цифровой информации .....	45
<i>Загоруйко А.Н.</i> Интегрированная автоматизированная система управления КА .....	48
<i>Казаков О.Є., Водяних А.А.</i> Урахування іоносферної складової похибки під час навігаційних визначень .....	52
<i>Карлов В.Д., Лукашук Е.В.</i> К вопросу об использовании антенных систем в наземных станциях спутниковой связи .....	57
<i>Карпенко В.И., Моисеева Г.А.</i> Повышение эффективности управления комплексным коэффициентом отражения многослойной структуры, содержащей полупроводник, в миллиметровом диапазоне длин волн .....	63
<i>Коваль И.В.</i> Адресный способ определения государственной принадлежности .....	65
<i>Кононов В.Б.</i> Методы решения задач оптимального управления распределения состава боевых средств в конфликтных ситуациях, описываемых статическими моделями .....	68
<i>Кононов Б.Т., Сахно О.В.</i> Обеспечение требуемых показателей качества электрической энергии в динамических режимах работы систем бесперебойного электроснабжения .....	72
<i>Логвиненко Н.Ф.</i> Планирование эксперимента по измерениям качества дискретных каналов и обработке их результатов .....	77
<i>Магдаліна І.В.</i> Один з підходів до моделювання роботи локальних обчислювальних мереж .....	80
<i>Можаяев А.А., Любченко А.В., Богацкая О.В.</i> Метод исследования доступной полосы пропускания гетерогенной мультисервисной сети передачи данных .....	83
<i>Обод И.И., Тюрин А.А.</i> Влияние маскирующей флуктуационной помехи на ответчики систем идентификации объектов .....	86
<i>Олійник Ю.А.</i> Вплив швидкості вітру на змінення швидкісного напору .....	89
<i>Пантелеева И.В., Баланчук В.В.</i> К вопросу обоснования методов исследования электромагнитных параметров полых токопроводов .....	92
<i>Просов А.В.</i> Анализ влияния линеаризации результатов радиолокационных измерений на точность оценок вектора состояния цели .....	94
<i>Серпухов О.В.</i> Спеціальне обладнання до бронетанкової техніки для розширення колійних проходів у мінно-вибухових загородженнях .....	98
<i>Слюсар В.И., Васильев К.А.</i> Метод неортогональной частотной дискретной модуляции на основе преобразования Хартли с квадратурной амплитудной модуляцией частотных несущих .....	102
<i>Стаховский О.В., Корытченко К.В., Угрюмов М.Л., Скоб Ю.А.</i> Способ инициирования детонации в неограниченном пространстве .....	105
<i>Тарек Юсеф Бади Биштави, Жолткевич Г.Н., Соляник Ю.В.</i> Выполнимые спецификации в проектировании баз данных .....	108
<i>Ткаченко В.І., Смірнов Є.Б., Тристан А.В.</i> Використання теорії нечітких множин у процесі управління складними системами .....	112
<i>Тулупов В.В.</i> Эффективное использование распределенной обработки данных для построения системы поддержки принятия решений .....	116
<i>Харченко Е.В.</i> Анализ влияния параметров квантователя на качество цифровой обработки сигналов с расширенным спектром .....	121
<i>Шквыря Ю.А., Холодная З.Б.</i> Исследование алгоритмов сжатия современных графических форматов .....	128
<i>Яковлев М.Ю., Герасимов С.В., Клівець С.І.</i> Аналіз впливу стратегій перевірки на метрологічну надійність засобів вимірювальної техніки військового призначення .....	131

## ОБРОБКА РЕЗУЛЬТАТІВ ФІЗИЧНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ

<i>Голота В.И., Карась В.И., Кадолин Б.Б., Болотов О.В., Кудин Д.В.</i> Экспериментальные исследования пространственно-временных характеристик излучения отрицательной короны в режиме импульсов Тричела .....	134
<i>Сизоненко В.Л., Коваленко Н.И.</i> Физика геопатогенных зон .....	139

---

<b>ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ В МЕДИЦИНІ</b>	
<i>Галайченко О.М.</i> Обґрунтування вибору типу квантово-розмірних структур – реагентів електрохемілюмінесцентного сенсорного пристрою .....	144
<b>ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ</b>	
<i>Сидоренко В.Л., Азаров С.І.</i> Розрахунок наслідків дії теплового випромінювання на людину при вибуху на артскладі .....	147
<b>МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОНОМІЦІ, ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА ТА УПРАВЛІННЯ ПРОЕКТАМИ</b>	
<i>Федин С.С., Трищ Р.М., Зенкин А.С.</i> Применение метода нечеткого логического вывода для управления качеством продукции в условиях неопределенности .....	150
<b>АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИХОВАННЯ</b>	
<i>Бслімов В.В., Залкін С.В., Попеленко А.А.</i> Оптимальні стратегії повторення навчального матеріалу .....	159
<i>Раковский Х.В., Метешкин К.А., Павленко М.А.</i> Задача формализации процессов управления боевой подготовкой .....	162
<i>Романенко І.О., Рубан І.В., Калачова В.В.</i> Аналіз можливих шляхів інтелектуалізації дистанційної форми навчання в контексті Болонського процесу .....	166
<i>Ясенова І.С.</i> Інформаційний ресурс системи управління навчальним процесом у вищому навчальному закладі .....	171
<b>НАШІ АВТОРИ</b> .....	174
<b>АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК</b> .....	176

---

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

## **СИСТЕМИ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ**

### **ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**

#### **Випуск 2 (69)**

Відповідальний за випуск *Г.А. Кучук*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9500 від 13.01.2005 р.

Комп'ютерна верстка: *І.А. Лебедева, В.В. Кірвас, А.Д. Бердочник*

Оформлення обкладинки: *І.В. Ільїна*

Техн. редактор *І.А. Лебедева*

Коректор *Р.Ю. Жермельова*

---

Підписано до друку 31.03.2007	Формат 60×84/8	Папір офсетний	
Гарнітура «Times New Roman»	Друк – різнограф	Ум.-друк. арк. – 22,25	Обл.-вид. арк. – 22,0
Ціна договірна	Наклад 150 прим.	Зам. 328-08	

---

Адреса редакції: 61023, Харків-23, вул. Сумська, 77/79  
Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба

Віддруковано у друкарні ФОП «АЗАМАЄВА В.П.»  
61111, Харків – 111, вул. Познанська, 6, тел. 362-01-52  
Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного реєстру видавців,  
виготівників і розповсюджувачів видавничої продукції ХК № 134 від 23.02.05 р.