

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ  
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА

# ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ Харківського університету Повітряних Сил



ВИПУСК 1 (16)

2008

**МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПОВІТРЯНИХ СИЛ  
ІМЕНІ ІВАНА КОЖЕДУБА**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ПОВІТРЯНИХ СИЛ**

**ВИПУСК 1 (16)**

**Наукове  
періодичне  
видання**

---

**ЗБРОЙНА БОРОТЬБА: ТЕОРІЯ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ДОСВІД**



**ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ: АЕРОДИНАМІКА,  
СИЛОВІ УСТАНОВКИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ОЗБРОЄННЯ**



**РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЛОКАЦІЯ ТА ЕЛЕКТРОНІКА**



**КІБЕРНЕТИКА ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ**



**МЕХАНІКА, МАШИНОЗНАВСТВО ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ**



**ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА**



**ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ**



**АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИХОВАННЯ**



**Харків  
2008**

УДК 620.1:681.3; 355.4:378.1; 940.54; 531.5:533.9 Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, 2008. – Вип. 1 (16). – 160 с.

Видання призначено для наукових працівників, викладачів, докторантів, ад'юнктів, аспірантів, а також курсантів та студентів старших курсів відповідних спеціальностей.

### **Редакційна колегія**

<b>Голова:</b> Стасєв Юрій Володимирович	– д.т.н., проф., ХУ ПС.
<b>Члени:</b> Андрєєв Фелікс Михайлович	– д.т.н., проф., ХУ ПС;
Ботов Микола Федорович	– к.військ.н., ПС ЗС України;
Городнов В'ячеслав Петрович	– д.військ.н., проф., ХУ ПС;
Дробаха Григорій Андрійович	– д.військ.н., доц., ХУ ПС;
Зима Іван Іванович	– д.т.н., проф., ХУ ПС;
Єрмаков Геннадій Валентинович	– д.т.н., проф., ХУ ПС;
Кириченко Іван Онуфрійович	– д.військ.н., проф., ХУ ПС;
Корнієнко Леонід Григорович	– д.т.н., проф., ХУ ПС;
Літвінов Віктор Володимирович	– д.т.н., проф., ХУ ПС;
Мінервін Микола Миколайович	– д.т.н., проф., ХУ ПС;
Полярус Олександр Васильович	– д.т.н., проф., ХУ ПС;
Романенко Ігор Олександрович	– к.військ.н., ПС ЗС України;
Седишев Юрій Миколайович	– д.т.н., проф., ХУ ПС;
Турсунходжаєв Хамітхон Арсіанович	– д.т.н., проф., ХУ ПС;
Шарий Володимир Іванович	– д.військ.н., проф., НАО України;
Шмаков Олександр Миколайович	– д.військ.н., проф., ХУ ПС.

**Відповідальний секретар:** Кучук Георгій Анатолійович – к.т.н., с.н.с., ХУ ПС.

Адреса редакційної колегії: 61023, м. Харків, вул. Сумська, 77/79,

Харківський університет Повітряних Сил.

Телефон редакційної колегії: (057) 704-96-47 (консультації, прийом статей).

E-mail редакційної колегії: [infosintez@hups.edu.ua](mailto:infosintez@hups.edu.ua).

Інформаційний сайт збірника: [www.hups.edu.ua](http://www.hups.edu.ua).

Реферативна інформація зберігається у загальнодержавній реферативній базі даних „Україніка наукова” та публікується у відповідних тематичних серіях УРЖ „Джерело”.

**Рекомендовано до друку Вченою радою Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба (протокол № 67 від 26.03.2008 р.)**

**Свідоцтво про реєстрацію КВ № 1498 від 26 січня 2005 р.**

**Занесений до “Переліку № 16 наукових фахових видань України”, затвердженого постановою президії ВАК України від 8 червня 2005 р., № 2-05/5 (технічні науки, № 3; військові науки, № 1)**

УДК 621.391

В.И. Слюсар<sup>1</sup>, Н.А. Масесов<sup>2</sup><sup>1</sup>Центральный НИИ вооружения и военной техники ВС Украины, Киев<sup>2</sup>Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ "КПИ", Полтава

## ТЕХНОЛОГИЯ МУЛЬТИ-МІМО В ГАРАНТОСПОСОБНЫХ БЕСПРОВОДНЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

В статье рассмотрены преимущества использования техники многопользовательской сети с технологией множественного входа множественного выхода (мульти-МІМО) в современных беспроводных системах гарантоспособной связи. Предложены аналитические модели мульти-МІМО для систем связи различной конфигурации. Обоснованы различные подходы к реализации пространственно-временного кодирования сигналов для повышения пропускной способности и помехозащищенности каналов связи. Предложен вариант формализации физического уровня модели многопользовательской сети МІМО, который позволяет оценить ее предельные возможности по точности демодуляции сигнала в зависимости от количества одновременно работающих абонентских терминалов.

**Ключевые слова:** множественный вход – множественный выход, пространственно-временное кодирование сигналов, дополнительное стробирование отсчетов аналого-цифрового преобразователя, метод неортогональной частотной дискретной модуляции (N-OFDM), многопользовательская сеть.

### Введение

Беспроводные системы связи находят сегодня все большее применение в различных отраслях деятельности человека. Успехи современной радиоэлектроники, стремительное развитие микропроцессорной техники и новые алгоритмы цифровой обработки сигналов, вместе с использованием перспективных телекоммуникационных технологий открывают новые возможности по созданию беспроводных систем связи с выполнением жестких требований по высокой пропускной способности и помехозащищенности. Не удивительно, что в таких условиях находит свое применение технология МІМО (Multiple Input Multiple Output – множественный вход – множественный выход), которая позволяет максимально использовать выделенный для работы частотный ресурс и передавать информацию по пространственно разнесенным каналам [1]. Современные достижения процессорной техники и развитие элементной базы, в том числе отечественных производителей [2], делают возможным использование технологии МІМО как в маломощных переносных устройствах, так и в станциях радио, радиорелейной, космической и тропосферной связи. Особо стоит выделить направление развития беспроводных локальных вычислительных сетей на основе стандарта 802.11 n, где МІМО является неотъемлемой базой обеспечения высокой пропускной способности для работы современных мультимедийных приложений.

Преимущество технологии МІМО заключается в возможности устойчивого функционирования каналов связи в условиях многолучевого распространения радиоволн. Это позволяет использовать МІМО как в небольших офисных сетях зданий и городских застроек, так и в тропосферных системах связи с их характерными особенностями.

В статье рассматриваются принципы построения и режимы работы системы мульти-МІМО, компактные матричные выражения откликов указанной системы, необходимые для формализации работы ее модели, а также направления дальнейших научных исследований.

### Основная часть

Система с тремя и более абонентами, в которой организуется связь с использованием технологии МІМО, называется мульти-МІМО системой (Multi User МІМО) [3]. В режиме поочередного излучения абонентами сигналов при их обработке в приемных сегментах мульти-МІМО каналов связи можно использовать обычные методы декодирования, поскольку многопользовательская система фактически вырождается в набор однопользовательских. При одновременном выходе в эфир нескольких абонентов следует применять известные схемы кодирования, но более высокой степени иерархии либо новые алгоритмы обработки, основанные на проверке гипотез о количестве одновременно излучающих многоантенных передатчиков.

Для рассмотрения модели описания мульти-МІМО системы связи необходимо ввести ограничения и обозначения. Уточним, что рассматривается такая система МІМО, в которой осуществляется обработка сигналов нескольких разнесенных в пространстве МІМО систем. Основным условием при этом является стационарность среды распространения радиоволн на интервале времени с момента измерения передаточных характеристик каналов МІМО до завершения передачи по ним информационных блоков. Запишем матричные выражения отклика приемной цифровой антенной решетки (ЦАР) простейшей МІМО-станции с двумя антенными элементами при обработке OFDM или N-OFDM

сигналов с квадратурной амплитудной модуляцией (QAM), излученных одновременно парой абонентских терминалов.

Существенно, что абонентские устройства также имеют в своем составе передающие ЦАР из двух антенных элементов. Введем следующие обозначения:  $u_{i,j}$  – напряжения по выходу  $i$ -го приемного канала в  $j$ -й момент времени;  $h_{kpm,j}$  – передаточная характеристика канала МИМО между  $p$ -й антенной  $k$ -го абонента и  $m$ -й приемной антенной в  $j$ -й момент времени;  $A_{kp}$  – сигнал, который излучается  $p$ -й антенной  $k$ -го абонента;  $n_{i,j}$  – напряжение шума на выходе  $i$ -го приемного канала в  $j$ -й момент времени (все индексные переменные ( $k, p, m, i, j$ ) могут принимать значения 1 или 2). Тогда система уравнений, описывающая отклик приемной цифровой антенной решетки, будет иметь вид:

$$\begin{cases} u_{1,i} = h_{111,i}A_{12} + h_{121,i}A_{11} + h_{211,i}A_{22} + \\ \quad + h_{221,i}A_{21} + n_{1,i}; \\ u_{1,i+1} = h_{111,i+1}A_{11} + h_{121,i+1}A_{12} + h_{211,i+1}A_{21} + \\ \quad + h_{221,i+1}A_{22} + n_{1,i+1}; \\ u_{2,i} = h_{112,i}A_{12} + h_{122,i}A_{11} + h_{212,i}A_{22} + \\ \quad + h_{222,i}A_{21} + n_{2,i}; \\ u_{2,i+1} = h_{112,i+1}A_{11} + h_{122,i+1}A_{12} + h_{212,i+1}A_{21} + \\ \quad + h_{222,i+1}A_{22} + n_{2,i+1}. \end{cases} \quad (1)$$

Строки этой системы соответствуют напряжениям по выходам двух приемных каналов цифровой антенной решетки в паре последовательных отсчетов времени, что обеспечивает возможность решения системы уравнений, в которой искомым является вектор комплексных амплитуд  $A$  с четырьмя неизвестными:  $A_{11}$ ,  $A_{12}$ ,  $A_{21}$  и  $A_{22}$ . Запишем систему (1) в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} u_{1,i} \\ u_{1,i+1} \\ u_{2,i} \\ u_{2,i+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111,i} & h_{121,i} & h_{211,i} & h_{221,i} \\ h_{111,i+1} & h_{121,i+1} & h_{211,i+1} & h_{221,i+1} \\ h_{112,i} & h_{122,i} & h_{212,i} & h_{222,i} \\ h_{112,i+1} & h_{122,i+1} & h_{212,i+1} & h_{222,i+1} \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{12} \\ A_{21} \\ A_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_{1,i} \\ n_{1,i+1} \\ n_{2,i} \\ n_{2,i+1} \end{bmatrix}. \quad (2)$$

или компактно

$$U = H \cdot A + N. \quad (3)$$

В выражении (2) строки матрицы  $H$  соответствуют временным отсчетам, а блоки – номеру абонента.

Например, в первой строке матрицы  $H$  в левом блоке стоят передаточные характеристики первой и второй антенн первого абонента для первого приемного канала цифровой антенной решетки в первом временном отсчете.

Аналогичным образом могут быть получены аналитические модели мульти-МИМО системы более сложной структуры.

Приведенная матричная запись является довольно общей, и для описания различных алгоритмов кодирования в ней необходимо конкретизировать элементы матрицы  $H$ .

Например, для кодирования по методу "магического квадрата" с поочередным излучением одинаковых сигналов разными передающими элементами по схеме  $2 \times 2$  [1] матрица  $H$  будет иметь структуру:

$$H = \begin{bmatrix} h_{121,i} & h_{111,i} & h_{221,i} & h_{211,i} \\ h_{111,i+1} & h_{121,i+1} & h_{211,i+1} & h_{221,i+1} \\ h_{122,i} & h_{112,i} & h_{222,i} & h_{212,i} \\ h_{112,i+1} & h_{122,i+1} & h_{212,i+1} & h_{222,i+1} \end{bmatrix}. \quad (4)$$

В этом случае схема распределения передаваемых сигналов свелась, фактически, к поочередному излучению через две антенны каждого передатчика.

В случае ориентации на кодирование Аламоути возможно подвергнуть модификации вектор амплитуд сигналов, положив в нем:

$$A_{21} = A_{11}^*;$$

$$A_{22} = -A_{12}^*.$$

Таким образом, вектор  $A$  будет иметь элементы

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{12} \\ A_{11}^* \\ -A_{12}^* \end{bmatrix}, \quad (5)$$

а матрица  $H$  останется в виде, представленном в системе (2).

Однако в ряде случаев, например, при анализе предельных возможностей пространственного уплотнения каналов связи, целесообразно вектор амплитуд оставлять неизменным, а адаптации подвергать элементы матрицы  $H$ . При этом для указанного варианта кодирования по схеме Аламоути следует записать:

$$H = \begin{bmatrix} h_{121,i} & h_{111,i} & h_{221,i} & h_{211,i} \\ h_{111,i+1}^* & -h_{121,i+1}^* & h_{211,i+1}^* & -h_{221,i+1}^* \\ h_{122,i} & h_{112,i} & h_{222,i} & h_{212,i} \\ h_{112,i+1}^* & -h_{122,i+1}^* & h_{212,i+1}^* & -h_{222,i+1}^* \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Если приемная антенна имеет 4 канала, то в таком варианте рассмотренной системы мульти-ММО возможно осуществлять оценивание четырехкомпонентного вектора комплексных амплитуд сигналов за один отсчет времени. В результате можно пренебречь временным измерением системы (2), переписав ее в виде:

$$\begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \\ u_3 \\ u_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{111} & h_{121} & h_{211} & h_{221} \\ h_{112} & h_{122} & h_{212} & h_{222} \\ h_{113} & h_{123} & h_{213} & h_{223} \\ h_{114} & h_{124} & h_{214} & h_{224} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A_{11} \\ A_{12} \\ A_{21} \\ A_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_4 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Следует отметить, что для одноотсчетных измерений на приемном сегменте количество антенных элементов должно быть равно количеству одновременно излучающих в эфир передающих каналов. Для повышения канальной емкости мульти-ММО системы целесообразно использовать плоские приемные ЦАР в сочетании с временным, частотным и поляризационным разделением сигналов.

Допущением является также применение помехоустойчивых кодов, которое обеспечивает снижение требований к точности демодуляции сигналов.

Необходимо отметить, что основным достоинством представленного подхода к пространственно-временной обработке сигналов в мульти-ММО системе является обобщение формул обработки сигналов на выходах приемных каналов, что обеспечивает инвариантность используемого метода демодуляции к выбранному алгоритму кодирования.

Предложенный вариант формализации физического уровня модели многопользовательской сети ММО позволяет оценить ее предельные возможности по точности демодуляции сигналов в зависимости от количества одновременно работающих абонентских терминалов.

С этой целью следует воспользоваться нижней границей Крамера-Рао для расчета потенциальных точностей оценивания амплитуд сигналов, записав информационную матрицу Фишера в виде квадратичной матричной формы  $I = N^* \cdot N$ , где \* – символ комплексно сопряженного транспонирования, а блочные матрицы  $N$  соответствуют выражению (3). Обращение информационной матрицы Фишера позволяет получить дисперсии оценок амплитуд сигналов, домножив диагональные элементы обратной матрицы на дисперсию шума по выходу аналого-цифрового преобразователя (АЦП) либо процедуры дополнительного стробирования отсчетов АЦП. Последняя позволит согласовать работу высокоскоростного АЦП на выходе приемного канала ЦАР с цифровыми устройствами в схеме дальнейшей обработки сигнала [4]. Рассчитанные указанным способом оценки дисперсий далее следует сравнить с

величиной межсимвольного интервала кодирования, задаваясь требуемой вероятностью безошибочной демодуляции.

## Заклучение

Таким образом, в статье предложена компактная матричная запись отклика описанной системы мульти-ММО. Представленный способ формализации модели позволяет свести формальный вид обработки сигналов к методам, которые уже используются в случае оценки сигнальных параметров в однопользовательской системе ММО.

Приведенные материалы говорят о перспективности использования техники мульти-ММО в беспроводных системах связи, в том числе радиорелейных и тропосферных сетях специального назначения. Что касается сети тропосферной связи специального назначения, то она должна строиться с использованием мульти-ММО систем и обеспечивать возможности программной реконфигурации оборудования, радиодоступа и одновременной работы в радиорелейном режиме.

Дальнейшие исследования планируется направить на интеграцию методов квадратурной обработки сигналов в приемнике, дополнительного стробирования отсчетов аналого-цифрового преобразователя, формирование вторичных пространственных каналов приемной цифровой антенной решетки и передачи N-OFDM (OFDM) сигналов с предложенной моделью системы. Планируется также сделать оценку зависимости пропускной способности мульти-ММО системы с использованием предлагаемых методов.

Отдельным направлением последующих исследований следует выделить разработку модели объединенной сети отдельных мобильных станций в беспроводной системе связи. В такой объединенной системе мульти-ММО при передаче информации от двух подвижных станций к базовой станции пользователи "кооперируются". То есть пользователь 1 часть времени тратит на передачу собственной информации, а часть – на передачу информации, которую он получает от пользователя 2. Аналогичную стратегию использует и пользователь 2. Таким образом, создается сеть станций, увеличивается пропускная способность системы и уменьшается вероятность срыва связи в ней, что особенно критично при построении систем связи специального назначения.

## Список литературы

1. Слюсар В.И. Системы ММО: принципы построения и обработка сигналов // *Электроника: наука, технология, бизнес.* – 2005. – № 10. – С. 52-59.
2. Слюсар І.І., Масесов М.О., Дубик А.М., Волошко С.В. Реалізація перспективних телекомунікаційних технологій та методів цифрової обробки сигналів на вітчизняній елементній базі // *Системи обробки інформації.* – 2007. – № 9 (67). – С. 87-91.

3. Gershman A. An array processing approach to MIMO communications // Proc. International Conference on Antenna Theory and Techniques, 17-21 September, 2007, Sevastopol, Ukraine.

X.: ХИРЭ, 1996. - № 5. - С. 55-62.

Поступила в редколлегию 1.03.2008

4. Слюсар В.И. Синтез алгоритмов измерения дальности М-источников при дополнительном стробировании отсчетов АЦП // Радиоэлектроника (Изв. вузов). –

**Рецензент:** канд. техн. наук, доцент В.В. Варич, Военный институт телекоммуникаций и информатизации НТУУ "КПИ", Полтава.

## ТЕХНОЛОГІЯ МУЛЬТИ-МІМО В ГАРАНТОСПОСОБНИХ БЕЗДРОТОВИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

В.І. Слюсар, М.О. Масєсов

У статті розглянуті переваги використання техніки багатокористувальницької мережі з технологією множинного входу множинного виходу (мульти-МІМО) в сучасних бездротових системах гарантоздатного зв'язку. Запропоновані аналітичні моделі мульти-МІМО для систем зв'язку різної конфігурації. Обґрунтовані різні підходи до реалізації просторово-часового кодування сигналів для підвищення пропускної спроможності та завадозахищеності каналів зв'язку. Запропоновано варіант формалізації фізичного рівня моделі багатокористувальницької мережі МІМО, який дозволяє оцінити її граничні можливості по точності демодуляції сигналів залежно від кількості одночасно працюючих абонентських терміналів.

**Ключові слова:** множинний вхід – множинний вихід, просторово-часове кодування сигналів, додаткове стробування відліків аналого-цифрового перетворювача, метод неортогональної частотної дискретної модуляції, багато користувальницька мережа.

## TECHNOLOGY OF MUL'TI-MIMO IN GARANTOSPOSOBNYKH WIRELESS COMMUNICATION NETWORKS

V.I. Slyusar, N.A. Masesov

In the article advantages of the use of technique of multiuser network are considered with technology of plural entrance of plural output (multi-MIMO) in modern wireless dependability communication networks. The analytical models of multi-MIMO are offered for communication of different configuration networks. Different approaches of realisation of existential space-time coding of signals for increase of throughput and noise immunity of communication channels are proved. The variant of formalization of physical level of model of multiuser network of MIMO is offered, which allows to estimate its maximum possibilities on exactness of demodulation of signals depending on the amount of simultaneously workings terminals of subscribers.

**Keywords:** a plural entrance is a plural output, spatio-temporal encoding of signals, additional gating of counting out of analog-digital transformer, method of nonorthogonal frequency discrete modulation, multiuser network.

## НАШІ АВТОРИ

- АЗАРОВ Сергій Іванович** Інститут ядерних досліджень НАН України, Київ, доктор технічних наук, старший науковий співробітник
- АНІПКО Олег Борисович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, доктор технічних наук, професор, професор кафедри
- БАРАННИК Володимир Вікторович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, доктор технічних наук, ст. наук. співробітник, провідний науковий співробітник
- БАХВАЛОВ Валентин Борисович** Військовий інститут при Київському національному університеті ім. Т. Шевченка, кандидат технічних наук, доцент
- БЕЛЕВЦУК Ярослав Олександрович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, ад'юнкт
- БІЛЬЧУК Віктор Михайлович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
- БОЖКО Дмитро Валерійович** Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, провідний інженер
- БУДАНОВ Микола Павлович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, здобувач
- БУДАНОВ Павло Феофанович** Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, кандидат технічних наук, доцент
- ВАСИЛЕЦЬ Віталій Олексійович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, доктор технічних наук, ст. наук. співробітник, провідний науковий співробітник
- ВЕЛЬЧЕВ Костянтин Анатолійович** Командування Повітряних Сил Збройних Сил України, Вінниця, заступник начальника відділу
- ВЛАСОВ Андрій Юрійович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, старший науковий співробітник
- ВОБК Олександр Іванович** в/ч А4489, начальник обслуги
- ГОЛЯН Віра Володимирівна** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, викладач кафедри
- ГОЛЯН Наталія Вікторівна** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, аспірант
- ДЕМІДОВ Борис Олександрович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, доктор технічних наук, професор, провідний науковий співробітник
- ДІДИК Наталія Олексіївна** Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, аспірант
- ДУДЕНКО Сергій Васильович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник НДВ
- ЄВЛАНОВ Максим Вікторович** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
- ЄГОРОВ Олексій Борисович** Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, кандидат технічних наук, доцент
- ЄГОРОВА Любов Олексіївна** Інститут радіофізики і електроніки НАН України, Харків, молодший науковий співробітник
- ЗАХАРОВА Тетяна Миколаївна** Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, інженер
- ІРІКОВ Дмитро Валерійович** Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, асистент
- КАРПЕНКО Дмитро Володимирович** Національна академія оборони України, Київ, слухач
- КАШАЄВ Ігор Олександрович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник
- КОВТУН Владислав Юрійович** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
- КОЛМИКОВ Максим Миколайович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник НДВ



- КОНОНОВ Борис Тимофійович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, доктор технічних наук, професор, професор кафедри
- КОНОНОВ Володимир Борисович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, доцент, начальник кафедри
- КОШЕВОЙ Микола Дмитрович** Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, доктор технічних наук, професор
- КРАВЧЕНКО Марія Сергіївна** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, студентка магістратури
- КРАСНОКУТСЬКИЙ Дмитро Євгенійович** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, аспірант
- КУЗНЕЦОВ Олександр Олександрович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, начальник ІОЦ
- КУЛАКОВ Петро Олексійович** Національний технічний університет «ХПІ», Харків, студент
- КУЧЕРЕНКО Євген Іванович** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, доктор технічних наук, професор, професор кафедри
- ЛЕВИКІН Віктор Макарович** Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри
- ЛОГІНОВ Василь Васильович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
- ЛЯШЕНКО Сергій Олексійович** Харківський національний технічний університет сільського господарства, Харків, кандидат технічних наук, доцент
- МАЛИШ Олександр Миколайович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, начальник НДЛ
- МАНЖОС Юрій Семенович** Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, кандидат технічних наук, старший викладач
- МАСЄСОВ Микола Олександрович** Військовий інститут телекомунікацій та інформації НТУ «КПІ», Київ, ад'юнкт
- НАЛИВАЙКО Юрій Володимирович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат військових наук, докторант
- НАУМЕНКО Микола Іванович** Департамент військової освіти та науки МО України, Київ, доктор технічних наук, професор, начальник департаменту
- НЕЧИПОРУК Павло Анатолійович** Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, аспірант
- НЕЧИТАЙЛО Сергій В'ячеславович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник
- ПАВЛИК Андрій Володимирович** Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, аспірант
- ПАВЛИК Ганна Володимирівна** Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, аспірант
- ПАНТЕЛЄЄВА Ірина Вікторівна** Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
- ПАШКЕВИЧ Ігор Дмитрович** Центральне управління метрології та стандартизації ЗС України, Київ, начальник, головний метролог Збройних Сил
- ПАЩЕНКО Руслан Едуардович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, доцент, докторант
- ПЕТРИК Валерія Леонідівна** Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, старший викладач
- ПЕЧЕНІН Валерій Васильович** Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, доктор технічних наук, професор
- ПОЛІЩУК Людмила Іванівна** Національний технічний університет, Кіровоград, старший викладач
- ПОРОШИН Сергій Михайлович** Національний технічний університет «ХПІ», Харків, доктор технічних наук, доцент, завідувач кафедри
- ПРИБИЛЄВ Юрій Борисович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, доцент
- РАССОМАХІН Сергій Геннадійович** Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, доцент, провідний науковий співробітник

- РИКОВА** Ірина Олександрівна Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, студентка магістратури
- РОМАНЕНКО** Ігор Олександрович Генеральний штаб Збройних Сил України, Київ, кандидат військових наук, доцент, заступник начальника Генерального штабу Збройних Сил України
- РОМАНЕНКО** Олег Анатолійович ООУ Укргазтехкомплекс, Харків, інженер-програміст, Харківська державна академія культури, аспірант
- САКАЛО** Тетяна Сергіївна Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків, аспірант
- САПІГА** Микола Миколайович Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, кандидат технічних наук, доцент
- СЕРГІЄНКО** Роман Вікторович Інститут Сухопутних військ Національного університету "Львівська політехніка", старший викладач
- СИДОРЕНКО** Володимир Леонідович Інститут державного управління у сфері цивільного захисту УЦЗ України, Київ, старший викладач
- СІДЧЕНКО** Сергій Олександрович Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, науковий співробітник
- СПРОКЛИН** Віталій Павлович Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, аспірант
- СЛЮСАР** Вадим Іванович ЦНДІ озброєння і військової техніки Збройних Сил України, Київ, доктор технічних наук, професор, головний науковий співробітник
- СМИК** Сергій Іванович Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, начальник НДВ
- СМІРНОВ** Євген Борисович Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат військових наук, доцент, провідний науковий співробітник
- СОРОКА** Леонід Степанович Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Харків, доктор технічних наук, професор, декан факультету
- ТИТОВА** Олена Вітольдівна Харківська державна академія культури, Харків, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри
- ТКАЧЕНКО** Андрій Олексійович Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, начальник НДЛ
- ТКАЧЕНКО** Віктор Іванович Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат військових наук, професор, начальник університету
- ТРИСТАН** Андрій Вікторович Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, науковий співробітник
- УСАНЬ** Олександр Альбертович Харківська державна академія культури, Харків, аспірант
- ФІРОВ** Сергій Олександрович Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, інженер
- ХРУПЕНКО** Аркадій Миколайович Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, старший викладач
- ЦУРАК** Светлана Михайлівна Українська інженерно-педагогічна академія, Харків, асистент
- ШЕВЧУК** В'ячеслав Федорович Центр космічної розвідки, Житомир, начальник відділу
- ШЕЙГАС** Олександр Костянтинівич Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, начальник кафедри
- ШИПУЛІН** Олексій Ігорович Національний аерокосмічний університет ім. М.С. Жуковського «ХАІ», Харків, аспірант
- ЮРЧЕНКО** Олег Олексійович Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри
- ЯМНИЦЬКИЙ** Валерій Аронович Науково-дослідний виробничий центр «ХАРКОС», Харків, кандидат фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник
- ЯЦЕВИЧ** Олена Ігорівна Інститут радіофізики і електроніки НАН України, Харків, молодший науковий співробітник
- ЯЦЕВИЧ** Сергій Євгенович Інститут радіофізики і електроніки НАН України, Харків, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник

## НАШІ АВТОРИ

Азаров С.І.	133	Кононов В.Б.	136	Рикова І.О.	113
Аніпко О.Б.	12	Кошевой М.Д.	65	Романенко І.О.	97
Баранник В.В.	97	Кравченко М.С.	107	Романенко О.А.	94
Бахвалов В.Б.	45	Краснокутський Д.Є.	75	Сакало Т.С.	85
Белевщук Я.О.	20	Кузнецов О.О.	68	Сапіга М.М.	115
Більчук В.М.	26	Кулаков П.О.	56	Сергієнко Р.В.	68
Божко Д.В.	124	Кучеренко Є.І.	75	Сидоренко В.Л.	133
Буданов М.П.	129	Левикін В.М.	81	Сідченко С.О.	97
Буданов П.Ф.	129	Логінов В.В.	12	Сіроклин В.П.	65
Василець В.О.	20	Ляшенко С.О.	85	Слюсар В.І.	39
Вельчев К.А.	62	Малиш О.М.	107	Смик С.І.	15
Власов А.Ю.	9	Манжос Ю.С.	90	Смірнов Є.Б.	3
Вовк О.І.	26	Масєсов М.О.	39	Сорока Л.С.	48
Голян В.В.	32	Наливайко Ю.В.	9	Тітова О.В.	94
Голян Н.В.	32	Науменко М.І.	45	Ткаченко А.О.	53
Демідов Б.О.	129	Нечипорук П.А.	42	Ткаченко В.І.	3
Дідик Н.О.	100	Нечитайло С.В.	20	Тристан А.В.	3
Дуденко С.В.	62	Павлик А.В.	100	Усань О.А.	94
Євланов М.В.	81	Павлик Г.В.	65	Фіров С.О.	42
Єгоров О.Б.	103	Пантелєєва І.В.	113	Хрупенко А.М.	118
Єгорова Л.О.	59	Пашкевич І.Д.	136	Цурак С.М.	103
Захарова Т.М.	115	Пащенко Р.Е.	26	Шевчук В.Ф.	53
Іріков Д.В.	103	Петрик В.Л.	90	Шейгас О.К.	15
Карпенко Д.В.	9	Печенін В.В.	42	Шипулін О.І.	100
Кашаєв І.О.	15	Поліщук Л.І.	140	Юрченко О.О.	121
Ковтун В.Ю.	68	Порошин С.М.	45	Ямницький В.А.	56
Колмиков М.М.	62	Прібилєв Ю.Б.	136	Яцевіч О.І.	59
Кононов Б.Т.	107	Рассомахін С.Г.	48	Яцевіч С.Є.	59

## ЗМІСТ

### ЗБРОЙНА БОРОТЬБА: ТЕОРІЯ, ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, ДОСВІД

<b>Ткаченко В.І., Смірнов Є.Б., Тристан А.В.</b> Нечіткі множини у процесах прийняття рішення .....	3
<b>Наливайко Ю.В., Власов А.Ю., Карпенко Д.В.</b> Про доцільність створення системи самоприкриття та наземної оборони підрозділів зенітних ракетних військ .....	9

### ЛІТАЛЬНІ АПАРАТИ: АЕРОДИНАМІКА, СИЛОВІ УСТАНОВКИ, ОБЛАДНАННЯ ТА ОЗБРОЄННЯ

<b>Анипко О.Б., Логинов В.В.</b> Анализ характеристик крыла, обдуваемого струей от винта двигателя .....	12
<b>Кашаев И.А., Смык С.И., Шейгас А.К.</b> Уязвимость систем аэронавигационного обеспечения .....	15

### РАДІОТЕХНІКА, РАДІОЛОКАЦІЯ, ЕЛЕКТРОНІКА, ЗВ'ЯЗОК

<b>Белевщук Я.О., Василюк В.О., Нечитайло С.В.</b> Метод расчета вторичного излучения антенны РЛС П-18 .....	20
<b>Бильчук В.М., Пашенко Р.Э., Вовк А.И.</b> Селекция объектов дистанционного зондирования земли при нечетком описании их характеристик рассеяния .....	26
<b>Голян Н.В., Голян В.В.</b> Моделирование характеристик газоразрядного контура газового лазера ....	32
<b>Слюсар В.И., Масесов Н.А.</b> Технология мульти-ММО в гарантоспособных беспроводных системах связи .....	39
<b>Печенин В.В., Нечипорук П.А., Фиров С.А.</b> Цифровая модель радиолокационных отражений от дождевых осадков .....	42
<b>Науменко М.І., Порошин С.М., Бахвалов В.Б.</b> Антенная решетка рупорных излучателей .....	45
<b>Рассомахин С.Г., Сорока Л.С.</b> Нелинейная фильтрация квазигaussianовых сигналов .....	48
<b>Ткаченко А.А., Шевчук В.Ф.</b> Применение многоэтапного метода первоначального определения параметров орбиты космического объекта в системе траекторных измерений .....	53
<b>Ямницкий В.А., Кулаков П.А.</b> Использование сплайн аппроксимации для программного ведения приводов космических радиолокаторов и радиотелескопов .....	56
<b>Яцевич С.Е., Егорова Л.А., Яцевич Е.И.</b> Статистические характеристики почвенного покрова и их влияние на отраженный сигнал при радиолокационном зондировании Земли .....	59

### КІБЕРНЕТИКА ТА СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

<b>Дуденко С.В., Колмиков М.М., Вельчев К.А.</b> Двумерное смещенное дискретное преобразование Хартли .....	62
<b>Кошевой Н.Д., Павлик А.В., Сироклыи В.П.</b> Классификация планов многофакторного эксперимента .....	65
<b>Кузнецов А.А., Ковтун В.Ю., Сергиенко Р.В.</b> Аспекты реализации криптоалгоритма ADE .....	68
<b>Кучеренко Е.И., Краснокутский Д.Е.</b> Методы анализа процессов принятия решений в нечетком пространстве состояний объектов на основе иерархии сетевых моделей .....	75
<b>Левыкин В.М., Евланов М.В.</b> Детализация определения ценности информации, сохраняемой в динамической информационной системе .....	81
<b>Ляшенко С.А., Сакало Т.С.</b> Построение модели Гаммерштейна с помощью радиально-базисной сети .....	85
<b>Манжос Ю.С., Петрик В.Л.</b> Дескрипторный контроль программного обеспечения критического применения в реальном времени .....	90
<b>Романенко О.А., Титова Е.В., Усань А.А.</b> Метод оценки значимости признаков объектов в базах данных с использованием теории приближенных множеств .....	94

<b>Романенко І.А., Баранник В.В., Сидченко С.А.</b> Восстановление изображений на основе декодирования частотно-спектрального мультиадического представления .....	97
<b>Шипулин А.И., Павлик А.В., Дидык Н.А.</b> Приближенный метод выбора структуры систем с функциональным резервированием .....	100

### МЕХАНІКА, МАШИНОЗНАВСТВО ТА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

<b>Егоров А.Б., Ириков Д.В., Цурак С.М.</b> Формирование и анализ системы электроснабжения предприятий с помощью программы «ELSNA» .....	103
<b>Кононов Б.Т., Малыш А.Н., Кравченко М.С.</b> Повышение точности отработки постоянного времени опережения в импульсных синхронизаторах .....	107
<b>Пантелеева И.В., Рыкова И.А.</b> Включение синхронных генераторов на параллельную работу ....	113
<b>Сапига Н.Н., Захарова Т.Н.</b> Схема устройства контроля изоляции в сети 0,4 кв с глухозаземлённой нейтралью .....	115
<b>Хрупенко А.М.</b> Балістичний ефект активного способу старту балістичної ракети .....	118
<b>Юрченко О.О.</b> Згинальні коливання лінійних дискретних систем з великою кількістю ступенів вільності .....	121

### ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА

<b>Божко Д.В.</b> Метод планирования проектной мощности создания продукта .....	124
---	-----

### ЗАПОБІГАННЯ ТА ЛІКВІДАЦІЯ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

<b>Буданов Н.П., Буданов П.Ф., Демидов Б.А.</b> Перспективы развития методов и средств контроля радиационной обстановки территории АЭС .....	129
<b>Сидоренко В.Л., Азаров С.І.</b> Оцінка ризику ураження військовослужбовців фрагментами боеприпасів при вибуху на артскладі .....	133

### АКТУАЛЬНІ ПИТАННЯ ВИХОВАННЯ

<b>Пашкевич І.Д., Кононов В.Б., Прибілєв Ю.Б.</b> Питання підготовки фахівців тактичного рівня за галуззю знань «Метрологія, вимірювальна техніка та інформаційно – вимірювальні технології» .....	136
<b>Полищук Л.И.</b> Элементы информационных технологий обучения программистов .....	140

### ХРОНІКА ТА ІНФОРМАЦІЯ

Четверта наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба .....	143
Перша науково-технічна конференція «МНС України: сучасний стан та проблемні питання страхового фонду документації, перспективи розвитку та взаємодії».....	151
<b>Відомості про авторів</b> .....	154
<b>Наші автори</b> .....	157

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ  
ХАРКІВСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ ПОВІТРЯНИХ СИЛ**

**Випуск 1 (16)**

Відповідальний за випуск *Г.А. Кучук*

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ № 9498 від 13.01.2005 р.

Комп'ютерна верстка: *А.Д. Бердочник, В.В. Кірвас, В.В. Богомаз*  
Оформлення обкладинки: *І.В. Льїна*

Техн. редактор *А.Д. Бердочник*

Коректор *Р.Ю. Жермельова*

---

Підписано до друку 31.03.2008

Формат 60×84/8

Папір офсетний

Гарнітура «Times New Roman»

Друк – різнограф

Ум.-друк. арк. – 20,0

Обл.-вид. арк. – 19,75

Ціна договірна

Наклад 150 прим.

Зам. 1/207-08

---

Видавництво Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 2535 від 22.06.2006 р.

---

Друкарня Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба  
61023, Харків-23, вул. Сумська, 77/79