

УДК 621.396.253

А.А. Смирнов<sup>1</sup>, В.Н. Сай<sup>2</sup>, А.В. Коваленко<sup>1</sup><sup>1</sup>Кировоградский национальный технический университет, Кировоград<sup>2</sup>НЦ боевого применения РВиА Сумского государственного университета, Сумы

## АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ РАДИОСИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ И СВЯЗИ С ОРГАНИЗАЦИЕЙ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА

*Анализируются перспективы развития систем связи, автоматизированных и информационных систем ВС Украины, приведены результаты сравнительных исследований различных технологий реализации много-стационарного доступа для построения мобильной компоненты системы связи. Показано, что обеспечение требуемых показателей помехозащищенности, имитостойкости и скрытности радиоканалов управления может быть достигнуто за счет применения широкополосных систем радиосвязи с использованием больших ансамблей слабокоррелированных дискретных сигналов.*

**Ключевые слова:** информационные системы, ансамбли слабокоррелированных дискретных сигналов.

### Введение

**Постановка проблемы в общем виде и анализ литературы.** В современных условиях комплексного совершенствования систем управления и связи автоматизация и цифровизация процессов сбора, обработки, обмена и доведения информации во всех звеньях управления являются важнейшими задачами Государственной программы развития ВС Украины [1].

Первоочередным направлением в решении комплекса поставленных задач есть создание базовой информационно-телекоммуникационной сети (ИТС) ВС Украины, развертывание цифровых систем связи с требуемыми показателями помехозащищенности, имитостойкости и скрытности радиоканалов управления [2 – 9].

В данной работе проанализированы перспективы развития систем связи, автоматизированных и информационных систем ВС Украины, приведены результаты сравнительных исследований различных технологий реализации многостанционного доступа для построения мобильной компоненты системы связи.

Показано, что обеспечение требуемых показателей помехозащищенности, имитостойкости и скрытности радиоканалов управления может быть достигнуто за счет применения широкополосных систем радиосвязи с использованием больших ансамблей слабокоррелированных дискретных сигналов.

Проанализированы требования, предъявляемые к современным системам военной связи, критерии и показатели выбора ансамблей дискретных сигналов для построения широкополосных радиосистем управления и связи с множественным доступом по технологии кодового разделения каналов.

### Основной раздел

#### Перспективы развития системы связи, автоматизированных и информационных систем Вооруженных Сил Украины

Основу системы связи, автоматизированных и информационных систем (ИС) Вооруженных Сил Украины на сегодняшний день составляют комплексы средств автоматизации (КСА) оперативно-стратегического, оперативно тактического и тактического уровней. Но, как показывает проведенный анализ и опыт эксплуатации [1], они не позволяют создать современную высокоэффективную АСУ, а могут обеспечить лишь частичное автоматизированное решение задач управления в локальных группировках тактического уровня.

Значительной проблемой остается старение существующего парка техники связи и АСУ. Ее техническое состояние из года в год ухудшается из-за физического старения, пребывания на открытых площадках и отсутствия достаточного финансирования для содержания [1]. Средства отображения, обмена и документирования информации, средства связи морально и физически устарели [1]. На сегодняшний день на вооружении находится техника связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления, срок эксплуатации которой составляет [1]: до 15 лет – 7,2 %; от 15 до 20 лет – 32 %; свыше 20 лет – 60,8 %.

Таким образом, существующее состояние систем связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления, с учетом современных требований, нуждается в поиске путей и направлений качественного совершенствования на основе перспективных информационно-телекоммуникационных технологий.

Учитывая стремительное внедрение новейших информационных технологий в телекоммуникаци-

онные сети Украины, основными направлениями развития системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления ВС Украины являются [1]: внедрение в систему управления ВС Украины цифровых средств обмена информацией и технологий; создание автоматизированной системы управления войсками и оружием, совместимой с другими автоматизированными системами; обеспечение обмена и отображения информации на пунктах управления ВС Украины в реальном масштабе времени.

Перспективная система связи Вооруженных Сил Украины предусматривает стационарный и мобильный компоненты (рис. 1) [1]. Стационарный компонент системы связи будет создан на основе цифровой интегральной сети связи (ЦИСС) и предусматривает развертывание информационно-телекоммуникационных узлов (ИТУ) (рис. 2):

– центрального ИТУ ВС Украины – ИТУ Вооруженных Сил Украины, к которому подключены все региональные ИТУ, территориальные ИТУ центрального региона и периферийные ИТУ района размещения. На нем осуществляется коммутация каналов и маршрутизация пакетов между ИТУ разных регионов, территориальными ИТУ центрального региона и между периферийными ИТУ района размещения;

– региональных ИТУ ВС Украины – ИТУ с помощью которых осуществляется подключение к ИТС Вооруженных Сил территориальных ИТУ одного региона, периферийных ИТУ и абонентских пунктов района размещения. На нем осуществляется коммутация каналов и маршрутизация пакетов между территориальными ИТУ своего региона, периферийными ИТУ и абонентскими пунктами района размещения;

– территориальных ИТУ ВС Украины – ИТУ с помощью которых осуществляется подключение к ИТМ Вооруженных Сил периферийных ИТУ и абонентских пунктов района размещения. На нем осуществляется коммутация каналов и маршрутизация пакетов между ИТУ и абонентскими пунктами района размещения;

– периферийных ИТУ ВС Украины – ИТУ пункта управления или военной части. Они предоставляют информационно-телекоммуникационные услуги в интересах служебного персонала управления или воинской части.

ИТУ с помощью опорной сети связи, линий прямой связи между ИТУ и линий привязки объединяются в информационно-телекоммуникационную сеть (рис. 3). Привязка ИТУ осуществляется двулучевым способом с использованием волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) к стационарной или полевой телекоммуникационной сети общего (государственного) пользования. Резервирование

телекоммуникационных сетей (ВОЛС) осуществляется с использованием цифровых радиорелейных и тропосферных средств связи, имеющих пропускную способность от 256 до 8448 кБ/с.

**Мобильный компонент** системы связи и автоматизированного управления войсками ВС Украины запланировано строить по трехуровневой схеме: ИТУ стратегического уровня; ИТУ оперативно – стратегического уровня; ИТУ тактического уровня.

ИТУ мобильного компонента состоит из специализированных комплексных аппаратных (цифрового каналообразования, сетей доступа, радиосвязи и радиодоступа). Использование новых комплексов цифровой связи позволит повысить качество и достоверность связи, уменьшить количество аппаратных связей на пунктах управления и сделать их универсальными, обеспечить помехозащищенность, имитостойкость и скрытность радиоканалов управления.

Проведенный анализ качественных характеристик современных систем связи и АСУ показывает, что обеспечение требуемых показателей помехозащищенности, имитостойкости и скрытности радиоканалов управления мобильной компоненты системы связи и автоматизированного управления войсками ВС Украины может быть достигнуто за счет применения широкополосных систем радиосвязи с организацией множественного доступа по технологии кодового разделения каналов [2 – 7].

Реализация динамического режима функционирования, использование больших ансамблей дискретных сигналов с улучшенными свойствами позволит обеспечить требуемые показатели эффективности каналов управления и связи [8, 9]. С точки зрения эффективного использования частотно-временных и энергетических ресурсов каналов связи широкополосные системы с шумоподобными дискретными сигналами и прямым расширением спектра является наиболее перспективным направлением совершенствования мобильной компоненты системы связи [2 – 9].

Передаваемые сообщения в таких каналах приобретают вид шумоподобных последовательностей, а за счет большой мощности ансамблей дискретных сигналов и прямого расширения частотного спектра обеспечивается высокая имитостойкость, помехозащищенность и скрытность радиоканалов управления [8].

Разделение абонентских каналов и реализация многостанционного доступа обеспечивается по технологии кодового разделения каналов за счет использования больших ансамблей дискретных сигналов (псевдослучайных последовательностей (ПСП)) с улучшенными ансамблевыми, корреляционными и структурными свойствами [2 – 9].

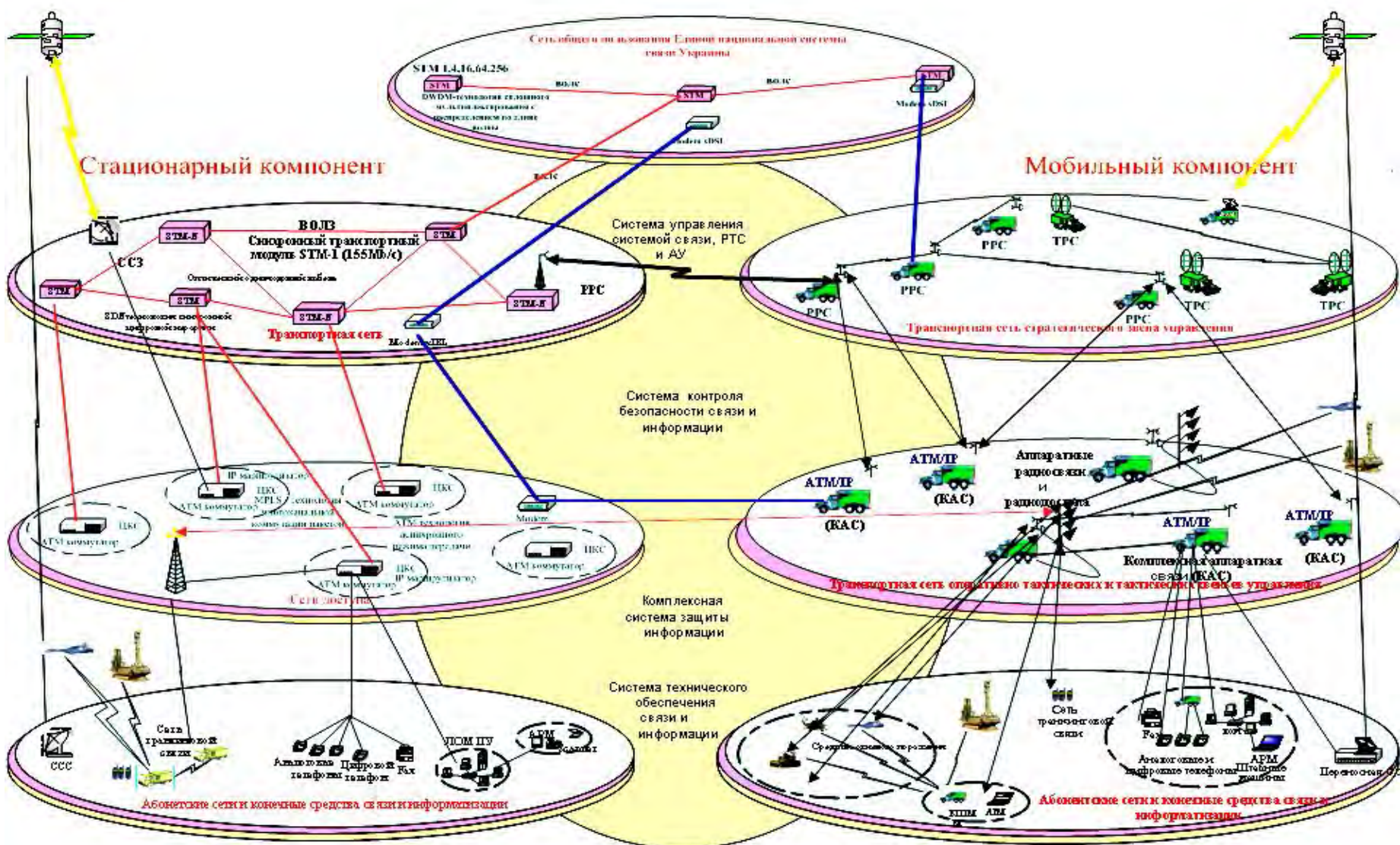


Рис. 1. Перспективы построения цифровой системы связи Вооруженных Сил Украины

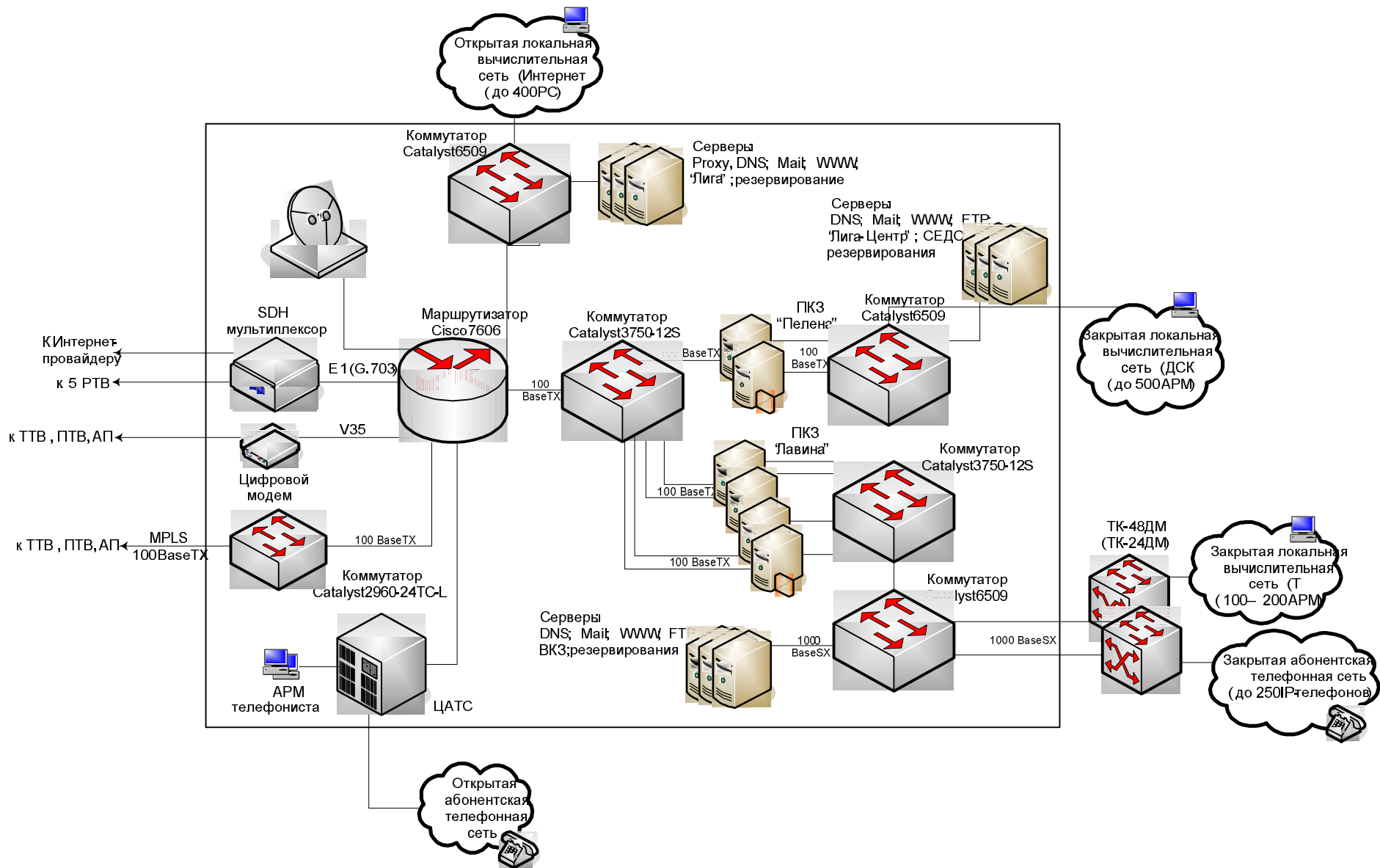


Рис. 2. Структура информационно-телекоммуникационного узла ВС Украины

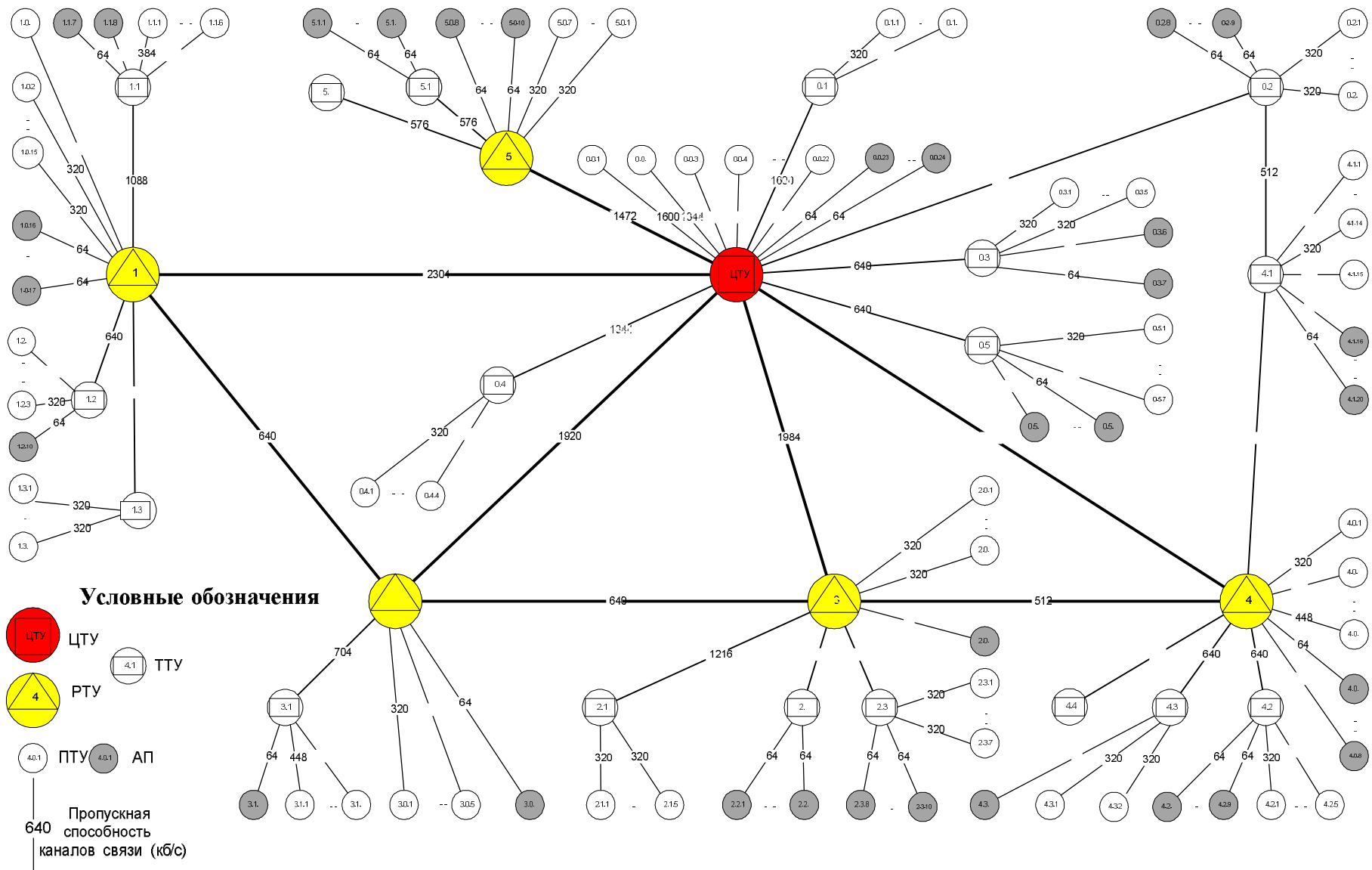


Рис. 3. Схема информационно-телекоммуникационной сети ВС Украины



Основные возможности современных систем связи с обеспечением многостанционного доступа с кодовым разделением каналов (Code Division Multiple Access – CDMA) приведены в табл. 1 [6]. Сравнительные характеристики систем связи, построенных по технологиям кодового (CDMA) и временного (TDMA) разделения каналов, приведены в табл. 2 [4, 6].

Анализ данных табл. 1, 2 показывает, что цифровые системы связи с обеспечением множественного доступа по технологии кодового разделения каналов обеспечивают возможность использования

современных информационно-телекоммуникационных услуг и имеют существенные преимущества по сравнению с другими технологиями многостанционного доступа, например, TDMA. Преимущество технологии CDMA обеспечивается за счет функционирования абонентских терминалов в одной полосе частот, число организуемых каналов связи определяется числом используемых псевдослучайных последовательностей (мощностью ансамбля дискретных сигналов) и порядок которых для современных систем составляет  $10^6 \dots 10^9$  [4, 6].

Таблица 1

Основные возможности современных систем связи с кодовым разделением каналов

| Вид услуги                                | Скорость передачи, кбит/с | Услуги   |
|---|---------------------------|--|
| Голосовая связь                           | 4 – 32                    | Речь, голосовая почта  |
| Низкоскоростной обмен данными             | 9,6 – 14,4                | SMS, определение местоположения  |
| Передача к коммутируемым данным (ISDN)    | до 64                     | Услуги сетей ISDN  |
| Интерактивный обмен мультимедиа-данными   | 128 – 384                 | Видеотелефонная связь, передача изображений и больших объемов информации |
| Асимметричная передача мультимедиа-данных | 384 – 2048                | Работа с сетями Internet и интрасетями                                   |

Таблица 2

Сравнительные характеристики систем CDMA и TDMA

| Стандарт, тип системы                          | IS-136, подвижная/фиксированная | GSM, подвижная/фиксированная | CDMA, мобильная | CDMA, мобильная | CDMA, фиксированная |
|--|---------------------------------|------------------------------|-----------------|-----------------|---------------------|
| Полоса, МГц                                    | 0,03                            | 0,2                          | 1,23            | 1,23            | 1,23                |
| Скорость вокодера, Кбит/с                      | 8                               | 13                           | 8               | 13              | 8                   |
| Число каналов трафика на несущую               | 3                               | 8                            | 23              | 12              | 35                  |
| Число каналов трафика на соту при полосе 3 МГц | 42                              | 30                           | 138             | 72              | 258                 |
| Емкость (каналов трафика на 1 МГц на соту)     | 14,3                            | 10                           | 56,1            | 29,6            | 86,2                |

Кроме того, использование слабокоррелированных последовательностей с высокой структурной скрытностью обеспечивает достижение высоких показателей имитостойкости и помехоустойчивости [2 – 9].

Таким образом, эффективное функционирование цифровых систем связи с обеспечением множественного доступа по технологии кодового разделения каналов непосредственно зависит от ансамблевых, корреляционных и структурных свойств формируемых дискретных сигналов.

Проведем анализ требований, предъявляемых к современным системам военной связи, проанализируем критерии и показатели выбора ансамблей дискретных сигналов для построения широкополосных шумоподобных радиосистем управления с реализа-

цией множественного доступа по технологии кодового разделения каналов.

#### **Анализ современных требований к перспективным широкополосным радиосистемам управления с множественным доступом**

Проведенный анализ показал, что основными требованиями, предъявляемыми к перспективным широкополосным радиосистемам управления с множественным доступом являются [2 – 9]:

– помехоустойчивость, характеризующая способность военной связи обеспечивать управление войсками (силами) и оружием в условиях воздействия помех всех видов;

– помехозащищенность, характеризующая способность военной связи обеспечивать управление

войсками или силами и оружием в условиях воздействия преднамеренных помех противника (злумышленника);

– имитостойкость, характеризующая способность военной связи ее способность противостоять вводу в нее ложной информации, несанкционированному доступу к передаваемой или принимаемой информации, навязыванию ложных режимов работы средствам связи;

– абонентская емкость системы связи, характеризующая ее способность обеспечивать доступ к услугам связи различного числа абонентов информационного обмена.

Система военной связи предназначена для обеспечения системы управления войсками (силами) и оружием качественной военной связью [1, 10]. Качество военной связи характеризует ее способность обеспечивать своевременную, достоверную и скрытую передачу (прием) и доставку сообщений [1, 10]:

– под своевременностью понимают способность военной связи обеспечивать передачу (прием) и доставку сообщений в заданные сроки;

– под достоверностью понимают способность военной связи обеспечивать воспроизведение передаваемых сообщений в пунктах приема с заданной точностью;

– под скрытностью понимают способность военной связи обеспечивать сохранение в тайне от противника содержания передаваемой информации и факт ее передачи.

Проанализируем основные показатели и критерии оценки помехоустойчивости, имито- и помехозащищенности, абонентской емкости системы военной связи, а также частные показатели и критерии оценки качества военной связи: своевременности, достоверности и скрытности.

Основным показателем оценки своевременности военной связи является вероятность доведения  $P_{\text{дов}}$  информации до получателя за время  $T$ , не превышающее требуемое  $T \leq T_{\text{тр}}$ , где  $T$  – реальное время доведения сообщения до получателя, характеризующее оперативность военной связи и зависящее от времени подготовки, передачи и обработки сообщения на принимающей стороне. Современные требования по своевременности и оперативности составляют [2 – 9]:

$$P_{\text{дов}} \geq 0,999; \quad T \leq T_{\text{тр}} = 2с.$$

Общим показателем оценки достоверности связи является вероятность правильного приема сообщения в процессе передачи  $P_{\text{п.п.}}$ . Более удобным для количественной оценки является показатель потери достоверности, в качестве которого используют ошибочного приема  $P_{\text{ош}} = 1 - P_{\text{п.п.}}$  сообщения. Современные требования по достоверности составляют [2 – 9]:

$$P_{\text{ош}} \leq 10^{-9}, \quad P_{\text{п.п.}} = 1 - P_{\text{ош}}.$$

Скрытность военной связи оценивают с помощью отдельных показателей, характеризующих пространственную  $S_{\text{п.с.}}$ , частотную  $S_{\text{ч.с.}}$ , временную  $S_{\text{в.с.}}$ , энергетическую  $S_{\text{э.с.}}$  и структурную  $S_{\text{с.с.}}$  скрытность. Интегральный показатель скрытности  $S$  военной связи можно оценить по критерию минимального риска  $S = \min \{S_{\text{ч.с.}}, S_{\text{в.с.}}, S_{\text{э.с.}}, S_{\text{п.с.}}, S_{\text{с.с.}}\}$ . Скрытность военной связи оценивается в относительных величинах, современные требования к перспективным системам зависят от функционального назначения системы управления и связи и лежат в диапазоне [2 – 9]:  $0 \leq S \leq 1$ .

Основным показателем помехоустойчивости  $\gamma$  системы военной связи является минимально необходимое соотношение энергии передаваемых сигналов к спектральной плотности мощности шума  $E/N_0$ , требуемое для достижения заданной достоверности передачи информации, т.е.

$$\gamma = \min(E/N_0 | P_{\text{ош}} \leq P_3),$$

где  $P_3$  – заданная (допустимая) величина потери достоверности.

Современные требования к помехоустойчивости системы связи дифференцированы по способам организации передачи данных, видам модуляции и способам обработки сигналов [2 – 9]. В общем виде требования к помехоустойчивости запишем в виде:

$$\gamma = \min(E/N_0 | P_{\text{ош}} \leq 10^{-9}).$$

Для важнейших систем боевого управления, предназначенных для организации связи с военными объектами в чрезвычайно сложной помеховой обстановке, требования к помехоустойчивости выражаются в минимально необходимом (для обеспечения требуемой величины достоверности) соотношении мощности полезного сигнала  $P_c$  к мощности шума  $P_{\text{ш}}$ . В соответствии с современными положениями эта величина должна достигать – 40 дБ, т.е. требуемая достоверность связи должна быть обеспечена даже при условии, когда мощность шума превышает мощность полезного сигнала в 10 000 раз [2 – 9].

Помехозащищенность оценивается с использованием вероятностного показателя  $P_{\text{под}}$ , характеризующего вероятность подавления каналов связи и зависящего как от вероятности разведки противника, постановки им специально организованных (структурных) помех, так и от вероятностей успешного решения задач средствами связи, при условии воздействия преднамеренных и естественных помех. Современные требования по помехозащищенности составляют [2 – 9]:  $P_{\text{под}} \leq 10^{-5}$ .

Имитостойкость системы военной связи оценивается с помощью вероятностного показателя навязывания ложной информации, несанкционированному доступу к передаваемой или принимаемой информации, навязыванию ложных режимов работы средствам связи  $P_n$ . Вероятность навязывания зависит от отдельных показателей навязывания ложных сигналов, кодовых последовательностей, несанкционированного доступа к передаваемой или принимаемой информации. Современные системы связи должны обеспечивать имитостойкость радиоканалов управления на уровне [2 – 9]:  $P_n \leq 10^{-9}$ .

В качестве показателя абонентской емкости системы связи используют максимальное число абонентов  $L$ , которые могут одновременно участвовать в процессе информационного обмена. Для современных систем радиосвязи характерно постоянное повышение требований к числу абонентских каналов и интенсификация информационного обмена данными. На практике, при проектировании системы связи показатель абонентской емкости  $L$  максимизируют (при обеспечении требований эффективности по остальным частным показателям).

Таким образом, проведенный анализ показал, что эффективность функционирования системы военной связи оцениваются через совокупность отдельных (частных) показателей помехоустойчивости, имито- и помехозащищенности, своевременности, достоверности и скрытности управления и связи. В общем виде показатель эффективности системы связи можно записать в виде функционала:

$$\Phi = f(\gamma, P_{\text{под}}, P_n, P_{\text{дов}}, T, P_{\text{ош}}, S, L),$$

где вид функции  $f(\gamma, P_{\text{под}}, P_n, P_{\text{дов}}, T, P_{\text{ош}}, S, L)$  определяется целевым назначением системы связи, а условия ее функционирования и предъявляемые требования выражаются в виде системы ограничений на отдельные (частные) показатели, выступающие в роли аргумента функции  $f$ .

Задача повышения эффективности системы связи математически может быть записана в виде целевой функции:

$$\max [f(\gamma, P_{\text{под}}, P_n, P_{\text{дов}}, T, P_{\text{ош}}, S, L)],$$

где экстремум (максимум обобщенного показателя эффективности) находится по возможным реализациям системы связи с учетом накладываемой системы ограничений на отдельные (частные) показатели.

Аналитических методов решения указанной задачи в виду ее чрезвычайной сложности на сегодняшний день не разработано [2 – 9], эффективность системы управления и связи повышают за счет улучшения отдельных (частных) показателей системы.

Таким образом, проведенный анализ показал, что повышение абонентской емкости системы связи,

помехозащищенности, имитостойкости и скрытности радиоканалов управления широкополосных систем с прямым расширением спектра и организацией множественного доступа посредством кодового разделения каналов может быть основано на использовании дискретных сигналов с улучшенными ансамблевыми, корреляционными и структурными свойствами [2 – 9].

## Выводы

Проведенный анализ состояния и перспектив развития систем связи, автоматизированных и информационных систем ВС Украины показал, что техническую основу стоящих на вооружении систем управления составляют комплексы средств автоматизации, техника связи и АСУ, морально и физически устаревшие и способные обеспечить лишь частичное решение задач управления в локальных группировках тактического уровня. Подавляющее большинство (более 75%) составляет устаревшая техника автоматизации и связи, срок эксплуатации которой составляет 20 и более лет.

Учитывая стремительное внедрение новейших информационных технологий в телекоммуникационные сети Украины, основным направлением развития систем связи и АСУ является автоматизация и цифровизация процессов сбора, обработки, обмена и доведения информации во всех звеньях управления, создание базовой информационно-телекоммуникационной сети ВС Украины, развертывание цифровых систем связи с требуемыми показателями помехозащищенности, имитостойкости и скрытности радиоканалов управления.

Проведенный анализ качественных характеристик современных систем связи и АСУ показывает, что обеспечение требуемых показателей помехозащищенности, имитостойкости и скрытности радиоканалов управления мобильной компоненты системы связи и автоматизированного управления войсками ВС Украины может быть достигнуто за счет применения широкополосных систем радиосвязи с организацией множественного доступа по технологии кодового разделения каналов. Реализация динамического режима функционирования, использование больших ансамблей дискретных сигналов с улучшенными свойствами позволит обеспечить требуемые показатели эффективности каналов управления и связи.

## Список литературы

1. Кушнір О.І. Перспективи розвитку системи зв'язку, РТЗ, автоматизованих та інформаційних систем Повітряних Сил / О.І. Кушнір // Восьма наукова конференція Харківського університету Повітряних Сил імені Івана Кожедуба «Новітні технології – для захисту повітряного простору», 18 – 19 квітня 2012 року: тези доповідей – Х.: ХУПС ім. І. Кожедуба, 2012. – С. 150-151.



2. Стасев Ю.В. Основы теории построения сигналов / Ю.В. Стасев. – Х.: ХВУ, 1999. – 87с.
3. Варакин Л.Е. Теория систем сигналов / Л.Е. Варакин. – М.: Сов. радио, 1978. – 304 с.
4. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – М.: Вильямс, 2003. – 1104 с.
5. Горбенко И.Д. Теория дискретных сигналов. Ортогональные сигналы / И.Д. Горбенко, Ю.В. Стасев, А.А. Замула. – М.: МО СССР, 1988, 119 с.
6. Гряник М.В. Технология CDMA – будущее сотовых систем в Украине / М.В. Гряник, В.И. Фролов // Мир связи. – 1998. – № 3. – С. 40-43.
7. Цифровые методы в космической связи / Под ред. С. Голомба. – М.: Связь, 1969. – 272 с.
8. Горбенко И.Д. Анализ производных ортогональных систем сигналов / И.Д. Горбенко, Ю.В. Стасев // Радиотехника. – 1989. – № 9. – С. 16-18.
9. Свердлик М.Б. Оптимальные дискретные сигналы / М.Б. Свердлик. – М.: Сов. радио, 1975. – 200 с.
10. ДСТУ В 3265 – 95. Зв'язок військовий. Терміни та визначення. – К.: УкрНДІССІ, 1995. – 23с.

Поступила в редколлегию 20.06.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. Ю.В. Стасев, Харьковский университет Воздушных Сил им. И. Кожедуба, Харьков.

### АНАЛІЗ ПЕРСПЕКТИВНИХ НАПРЯМКІВ В УДОСКОНАЛЮВАННІ РАДІОСИСТЕМ КЕРУВАННЯ Й ЗВ'ЯЗКУ З ОРГАНІЗАЦІЄЮ МНОЖИННОГО ДОСТУПУ

О.А. Смірнов, В.М. Сай, О.В. Коваленко

*Аналізуються перспективи розвитку систем зв'язку, автоматизованих і інформаційних систем ЗС України, наведені результати порівняльних досліджень різних технологій реалізації багатовантажності доступу для побудови мобільного компонента системи зв'язку. Показано, що забезпечення необхідних показників перешкодозахищеності, імітативності й скритності радіоканалів управління може бути досягнуто за рахунок застосування широкополосних систем радіозв'язку з використанням великих ансамблів слабокорельованих дискретних сигналів.*

**Ключові слова:** інформаційні системи, ансамблі слабокорельованих дискретних сигналів

### ANALYSIS OF PROMISING DIRECTIONS IN ENHANCING RADIOSYSTEMS CONTROL AND COMMUNICATION WITH THE MULTIPLE ACCESS

A.A. Smirnov, V.N. Say, A.V. Kovalenko

*The prospects of development of communications, automation and information systems of the Armed Forces of Ukraine, the results of comparative studies of different ways of doing a lot station permission to build a mobile communication system components. It is shown that the provision of the required indicators interference protection, durability simulation and stealth radio control can be achieved using a wide band-pass radio communication systems using large ensembles of weakcorrelated digital signals.*

**Keywords:** information systems, ensembles of weakcorrelated digital signals.