

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ КАНАЛОВ И СИСТЕМ ПЕРЕДАЧИ ПО СВОЙСТВАМ ВОЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

## COMPARATIVE ANALYSIS OF ANALOG AND DIGITAL CHANNELS AND TRANSMISSION SYSTEMS ON THE PROPERTIES OF MILITARY EFFICIENCY

**E. Isakov  
A. Myakotin  
M. Pylinsky  
S. Kryvtsov  
G. Baiseitov  
A. Drozdov**

*Summary.* the article presents a comparative analysis of analog and digital channels and transmission systems on the properties of military efficiency. The estimation of efficiency of use of military communication systems of the guarded analog and digital channels is given. The characteristics of military communication systems in the context of certain trade-offs.

*Keywords:* military communications, real bandwidth, analog signals, digital signals, signal-to-noise ratio.

**В** отечественной военной науке и практике существует точка зрения, что цифровые системы передачи (ЦСП) многократно превосходят аналоговые (АСП) по возможным скоростям и объемам передачи информации за единицу времени. На этой основе еще в 70-х годах прошлого века было прекращено военное промышленное производство АСП и запущено промышленное производство ЦСП. Однако, данное телекомму-

**Исаков Евгений Евгеньевич**  
Д.т.н., с.н.с., ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
isakoveenic@gmail.com

**Мякотин Александр Викторович**  
Д.т.н., профессор, ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
aleksandrmyakotin@gmail.com

**Пылинский Максим Валерьевич**  
К.воен.н., ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
pylinskii.maksim@mail.ru

**Кривцов Станислав Петрович**  
Старший преподаватель, ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
staskriv@mail.ru

**Байсаитов Гани Нуралиевич**  
К.т.н., ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
bayyseitov.ganinurgalievich@rambler.ru

**Дроздов Антон Сергеевич**  
Преподаватель, ФГКВОУ ВО «Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого» (г. Санкт Петербург)  
das280574@yandex.ru

*Аннотация.* в статье представлен сравнительный анализ аналоговых и цифровых каналов и систем передачи по свойствам военной эффективности. Дана оценка эффективности использования военных систем связи посторожённых аналоговых и цифровых каналах. Определены характеристики военных систем связи в рамках определенных компромиссных соотношений.

*Ключевые слова:* военная связь, реальная пропускная способность, аналоговые сигналы, цифровые сигналы, соотношение сигнал/шум.

никационное оборудование не смогло в полной мере заменить АСП, для её надёжной работы требовалась замена большого количества кабельных линий связи и усилительных пунктов, что не было сделано и в настоящее время.

Вместе с тем, в начале 90-х годов, кроме ЦСП отечественных производителей, стало закупаться оборудова-

ние ЦСП зарубежных компаний с канальной емкостью от нескольких десятков до сотен и более каналов связи для оснащения ею как гражданской, так и военной связи. В значительных объемах оно продолжает закупаться в настоящее время. В связи с этим зарубежные ЦСП применяются для боевого управления войсками и оружием, что не может вызывать опасения, а в некоторых случаях и вообще не применимо. Обусловлено это не только многократным расширением в рамках ЦСП, по сравнению с АСП, полосы частот сигналов электросвязи (до 100 и более раз), но и с наличием у них каналов синхронизации с уязвимыми свойствами ко всем видам помех и искажений [1]. Это вызывает необходимость специального рассмотрения на сопоставительной основе (на физическом, количественном и иных уровнях) базовых свойств АСП и ЦСП с целью выявления и обоснования рациональных путей и способов их практического применения в военной связи.

#### Аналоговые сигналы и каналы электросвязи:

В соответствии с базовыми положениями из общей теории связи, аналоговые сигналы электросвязи характеризуются бесчисленным множеством возможных их значений на оси частот и описываются функцией непрерывного времени. Теоретически им изначально присущ бесконечный динамический, что позволяет рассчитывать на устойчивую передачу отдельных видов информационных сигналов в сложной оперативной и иной обстановке за счет применения типовых аналоговых каналов тональной частоты (ТЧ) с штатными полосами частот  $\Delta F = 3.1$  кГц).

В значительной мере этому способствует и возможное дополнительное применение в рамках АСП специальных (современных) способов дискретной (цифровой) обработки аналоговых сигналов (ЦОС). С их применением, например, обеспечиваются режимы работы, позволяющие одновременно передавать по одному каналу ТЧ в шифрованном виде до 3-х и более телефонных и телеграфных сообщений одновременно. К сожалению, за малым исключением, данные способы и технологии оказались упущенными из вида отечественной наукой и практикой. В случае их применения, например, на уровне канала ТЧ АСП с применением отмеченных выше технологий, вполне возможной становится одновременная передача по нему до нескольких речевых и иных информационных сигналов, как в открытом, так и в шифрованном виде, так же оказываются возможными и способы особо устойчивой передачи информации с использованием, как более широких (десятки кГц), так и узкополосных каналов электросвязи (вплоть до значений в 10...100 Гц).

Более того, за счет применения в рамках АСП способов ЦОС, — становятся возможными, как формирование систем передачи информации с наперед заданными свойствами (на канальном, линейном и сетевом уровнях), так и с гибким управлением такими свойствами в процессе самой эксплуатации (выборочным управлением амплитудами сигналов электросвязи, их полосами частот, числом самих каналов связи, их рациональным размещением на оси частот, с возможной передачей по таким каналам видео сигналов (вплоть до реализации режимов видео конференц — связей др.).

#### Цифровые сигналы и каналы электросвязи

В соответствии с базовыми положениями из общей теории связи, цифровые сигналы электросвязи придуманы человеком, природа таких сигналов «не знает». Они являются функцией дискретного времени и характеризуются счетным множеством возможных их значений. Цифровые способы представления информации дали мощный толчок к развитию счетных машин (арифмометров, ЭВМ), цифровой электроники. Их применение послужило основой для быстрого роста производительности труда в промышленном производстве и стремительного прогресса во многих иных областях человеческой деятельности. Вместе с тем, так называемая «Цифровизация» послужила основой для появления класса особо широкополосных и многоканальных систем передачи информации, базирующихся на преимущественном использовании коаксиальных и волоконно — оптических линий связи. Однако, в отечественной военной и гражданской связи сам процесс перевода АСП на ЦСП, был распространен, как на основные типы военных средств УКВ, радиорелейной, тропосферной и спутниковой радиосвязи, так и на основные типы многоканальных радио- и проводных средств гражданской связи (в рамках системы связи Ростелекома и смежных с ним структур). Произшедшая «цифровизация» особо негативным образом отразилась на показателях устойчивости военной связи по причинам, как многократного расширения полосы частот цифровых сигналов электросвязи в сотни, а зачатую и в тысячи раз, так и по причинам появления в их рамках уязвимых ко всем видам помех и искажений каналов синхронизации, поступающих в том числе и со стороны зарубежных телекоммуникационных сетей.

Сравнительный анализ ширины спектров (полосы частот) аналоговых и цифровых сигналов электросвязи в наглядном виде возможен на примере занимаемой в линейном тракте АСП и ЦСП полосы частот одним аналоговым и, соответственно, одним цифровым сигналом электросвязи. Так, в рамках АСП с любой канальной ем-

костью, полоса частот одного (типового) сигнала электросвязи имеет фиксированное значение и составляет:

$$\Delta F = 3.1 \text{ кГц}$$

В рамках применения современных телекоммуникационных технологий по каналам связи с такими полосами частот оказывается возможной одновременная передача до нескольких речевых сигналов в открытом и в зашифрованном виде, передача сигналов многоканальной телеграфии, видеоизображений, картографических документов с удовлетворительным качеством и многое другое[2]. Стремительное совершенствование современных технологий в области цифровой обработки аналоговых сигналов (ЦОС) открывает все новые возможности для «плотной упаковки» востребованных видов связи в узких и сверх узких полосах частот в интересах обеспечения особо устойчивой военной и иной связи. Минимально возможная в рамках ЦСП полоса частот основного цифрового сигнала электросвязи (ОЦК) составляет около 100 КГц, что в 30 раз больше полосы частот канала АСП и обычно используется в связке с каналами СП более высокой иерархии). Минимально возможная в рамках ЦСП полоса частот одного цифрового сигнала электросвязи (на уровне цифрового потока Е1 со штатной скоростью 2048 Кбит/с) составляет:

$$\Delta F \cong 12 \text{ мГц}$$

и растет с близкой к квадратичной зависимости в рамках цифровых потоков более высокой иерархии (Е2, Е3, СТМ-1 т.д).

Естественно, что в рамках подобного роста полосовых свойств систем передачи информации неизбежными оказываются многопорядковые потери в чувствительности радиоприема и в устойчивости всех видов связи.

Сравним на уровне АСП и ЦСП объемы передаваемой (принимаемой) информации за Единицу времени на уровне одинаковых линейных трактов на основе АСП и ЦСП остаются одинаковыми, хотя в рамках ЦСП требуемые полосовые (частотные) и энергетические затраты на передачу информации могут многократно превышать затраты в АСП. Объективным ограничивающим фактором на расширенное применение в военной связи цифровых сигналов электросвязи и систем передачи служит фундаментальная из общей теории связи формула Шеннона, которая связывает между собой в строгих математических и физических пропорциях значения скорости передачи информации (СТ бит/с) с полосой частот канала электросвязи ( $\Delta f$  Гц) и с отношениями в точке приема мощности сигнала ( $P_c$  Вт) к мощности шума ( $P_{ш}$  Вт) и имеет следующий вид:

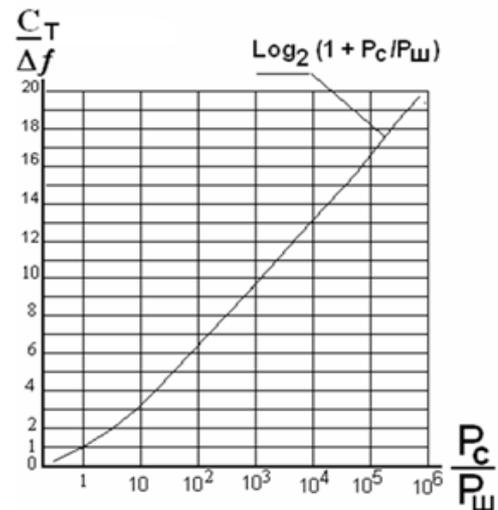


Рис. 1. Формула Шеннона в наглядном виде для количественных оценок

$$C_T \text{ бит/с} = \Delta f \times \text{LOG}_2(1 + P_c / P_{ш}) \quad (1).$$

где:  $P_{ш} = N_0 \times \Delta f$  — мощность «тепловых» шумов на входе приемной системы;

$N_0 = \kappa T_{ш}$  — спектральная плотность мощности «тепловых» шумов;

$\kappa = 1,37 \times 10^{-23}$  Вт. сек / град — постоянная Больцмана;

$T_{ш} = T_0 (N_{ш} - 1)$  соответствует шумовой температуре приемной системы;

$N_{ш}$  — коэффициент шума приемной системы (в идеальном случае  $N_{ш} = 1$ );

$T_0 = 300$  град. по Кельвину (температура окружающей среды);

$\text{LOG}_2$  — логарифм с основанием два.

Особая практическая значимость данного выражения состоит и в том, что вводимые им количественные меры позволяют оценивать эффективность различных типов линий (каналов, ВСКС), начиная еще с этапов эскизного проектирования средств связи, устанавливать условия согласования в информационном отношении различных систем передачи и каналов связи между собой, каналов связи с потребителем, формировать обоснованные требования к ряду технических параметров аппаратуры связи и др. Оно же показывает на количественном уровне и те предельные возможности, к которым следует стремиться при разработке ВСКС, линий и сетей связи[3].

В графическом виде данное выражение представлено на Рис. 1.

Здесь показан характерный для любых типов систем передачи информации особо быстрый (экспоненциаль-

ный) рост требуемых значений мощности сигналов электросвязи в точке приема (рост требований к значениям РС/РШ) с наращиванием значений скоростей передачи информации (значений СТ), или числа каналов связи (Nк).

Так, в соответствии с данными рис. 1, при значениях:  
 $C/\Delta f = 3$  — отношение РС/РШ в точке приема должно быть не менее 10;

$C/\Delta f = 8$  — отношение РС/РШ в точке приема должно быть не менее 1000;

$C/\Delta f = 20$  — отношение РС/РШ в точке приема должно быть не менее 100000.

Иначе говоря, семикратный рост значений скоростей передачи информации при неизменной полосе частот тракта связи ( $\Delta f$  — Const, РШ — Const) требует увеличения мощности сигнала в точке приема не менее чем в: 100000 раз. Естественно, что подобный эффект проявляется именно в цифровых системах связи, где исходной отсчетной единицей служит не канал ТЧ АСП (с полосой частот 3.1 кГц), а цифровой поток Е1, состоящий из 32 нормализованных по характеристикам каналов ОЦК, изначально характеризующихся особой широкополосностью самих цифровых сигналов электросвязи

( $\Delta f$  ОЦК = 400 кГц,  $\Delta f$  Е1 = 12 МГц). Очевидно, что подобного рода динамика быстрого роста полосовых (частотных) и энергетических затрат на передачу информации в полной мере проявляется в рамках именно ЦСП любых типов и предназначения. Для некоторого их ослабления используются в каналообразующих системах (УКВ, РРЛ, ТРЛ, ИСЗ и др.) дополнительно применяются способы кодирования радиосигналов (от КАМ — 2 до КАМ — 256 и выше) с целью их преобразования на участках переноса радиосигналов (из пункта «А» в пункт «В») из цифрового вида к аналоговому и наоборот. Однако достигаемый на этой основе эффект по-прежнему остается на много порядков ниже по сравнению с типовыми радиосредствами на основе АСП. Что же касается вполне возможного и расширенного применения как в военной, так и в гражданской связи АСП в составе радио — и проводных средств с дополнительным использованием современных способов цифровой обработки сигналов (ЦОС), то они оказались упущенными из вида отечественной наукой и практикой. В случае их практической реализации (что подтверждается результатами инициативного макетирования) открываются качественно новые возможности по построению особо устойчивых ВСКС с гибкими свойствами для прогнозируемых условий военного информационного противоборства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Е. Е. Исаков. «Основные принципы построения устойчивой военной связи и возможные способы их реализации» СПб ВАС, 2015, 448с).
2. Исаков Е. Е., Мякотин А. В., Губская О. А., Кривцов С. П. Оптимальная цифровизация военных систем связи // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия «Естественные и технические науки» — 2017, -№ 3–4, -С. 22–26
3. Исаков Е. Е., Мякотин А. В., Жадан А. П., Кривцов С. П., Басулин Д. В. Оценка необходимых и достаточных значений реальной пропускной способности военных систем передачи информации. Информация и космос. Радиотехника и связь. СПб. 2017. С. 133–136.

© Исаков Евгений Евгеньевич (isakoveenic@gmail.com), Мякотин Александр Викторович,  
 Пылинский Максим Валерьевич (pylinskii.maksim@mail.ru), Кривцов Станислав Петрович,  
 Байсаитов Гани Нуралиевич (bayuseitov.ganinurgalievich@rambler.ru), Дроздов Антон Сергеевич (das280574@yandex.ru).  
 Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Военная академия связи им. Маршала Советского Союза С. М. Будённого