

УДК 621.39

Способ доведения управляющей и телеметрической информации в интересах робототехнических платформ различных типов базирования

Будко Н. П., Будко П. А., Ключин М. А., Шаталов А. Е.

Постановка задачи: в работе на основе применения линейных частотно-модулированных сигналов, до сегодняшнего дня широко применяемых в радиолокации и радиомониторинге состояния ионосферы, ставится задача на формирование способа доведения управляющей и телеметрической информации в интересах управления робототехническими комплексами и робототехническими платформами различных типов базирования в условиях сложной помеховой обстановки. При этом способ применим как для управления беспилотными летательными аппаратами и безэкипажными судами (катерами), так и робототехническими комплексами подводного базирования, а также наземными и космическими роботизированными платформами. **Цель работы:** обеспечение повышения помехоустойчивости каналов управления робототехническими комплексами и робототехническими платформами различного базирования в условиях случайных и преднамеренных помех. **Используемые методы:** методы согласованной цифровой фильтрации по соответствующим шаблонам, методы экстраполяции и нейрообработки для последующей идентификации команд управления и телеметрической информации, методы построения сигнально-кодовых конструкций для радио- и гидроакустических каналов управления глобально перемещающимися объектами. **Результаты исследования:** техническим результатом, достигаемым с помощью предложенного способа, является повышение помехоустойчивости сигналов управления и телеметрической информации в интересах робототехнических систем в условиях сосредоточенных и шумовых помех. **Новизна:** благодаря новой совокупности существенных признаков предложенного способа и введенной последовательности действий, основанной на применении в каналах управления робототехнических систем по азимуту (курсу), по направлению (скорости) движения и по углу места (тангажу) линейных частотно-модулированных сигналов, градиент наклона которых на спектрограмме существенно отличается от нулевого градиента наклона сосредоточенных по спектру помех. **Практическая значимость:** состоит в повышении устойчивости доведения команд управления и телеметрии от пунктов управления до глобально перемещающихся объектов и обратно в различных средах в условиях случайных и преднамеренных помех. Дополнительным выигрышем способа является повышение оперативности в доведении команд управления и телеметрии за счет сокращения или полного отказа от защитного интервала между передаваемыми бинарными посылками сигнально-кодовой конструкции, а также возможность реализации автоматического восстановления принятых бинарных посылок по фрагментарным данным. Рассматривая применимость способа в звукоподводной связи, необходимо отметить, что для оценки энергетической дальности действия гидроакустической системы в разных режимах её функционирования (эхо-локации, шумопеленгования, телеметрии) необходимо проведение дополнительных исследований в рамках построения устройства управления робототехническим комплексом морского базирования.

Библиографическая ссылка на статью:

Будко Н. П., Будко П. А., Ключин М. А., Шаталов А. Е. Способ доведения управляющей и телеметрической информации в интересах робототехнических платформ различных типов базирования // Системы управления, связи и безопасности. 2025. № 3. С. 294-322. DOI: 10.24412/2410-9916-2025-3-294-322

Reference for citation:

Budko N. P., Budko P. A., Klyushin M. A., Shatalov A. E. A method of delivering control and telemetry information in the interests of various types of robotic platforms. *Systems of Control, Communication and Security*, 2025, no. 3, pp. 294-322 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2025-3-294-322

Ключевые слова: канал информационного взаимодействия, канал траекторного наведения, канал управления, линейный частотно-модулированный сигнал, робототехнический комплекс, робототехническая платформа, сигнально-кодовая конструкция, случайная помеха, сосредоточенная помеха, телеметрическая информация.

Актуальность

Опыт широкого внедрения в деятельность человека в последние годы робототехнических комплексов (РТК) и робототехнических платформ (РТП) различных типов базирования (наземного – НБ, воздушного – ВБ, космического – КБ, надводного (морского) – МБ, подводного – ПБ) [1-3] показывает, что вопросы обеспечения помехоустойчивости каналов управления и телеметрии при их функционировании в сложной помеховой обстановке (особенно при преднамеренном деструктивном воздействии) выходят на первый план и требуют тщательной проработки в части обеспечения устойчивости информационного взаимодействия на уровнях:

- наземных/береговых пунктов управления (НПУ/БПУ) с РТК/РТП, так и наоборот (РТК/РТП – НПУ/БПУ);
- РТП – РТК и РТК – РТК при групповом (роевом) выполнении миссии;
- бортовых (корабельных, воздушных, космических) пунктов управления (БортПУ) и ретрансляторов в виде беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) либо буёв-ретрансляторов с РТК (РТП) и наоборот – РТК(РТП) – БортПУ.

Повышение эффективности применения трактов управления (каналов траекторного наведения), а также каналов информационного взаимодействия как БПУ с РТК (РТП), так и в группе РТК, достигается посредством использования формализованных сообщений (ФС). Включающих конкретный набор данных, содержащих: адресную часть, информационное поле (составляющее командную информацию или корректирующие команды), а также избыточную часть, формируемую системой кодирования для обеспечения требуемых показателей помехоустойчивости в гетерогенных средах передачи (беспроводных каналах и трактах связи различных диапазонов частот: от радио до гидроакустических).

При этом ФС используются, прежде всего, для повышения оперативности обмена и снижения времени энергетического контакта, обеспечивающего информационное взаимодействие с РТК. Причем снижение размеров энергетического пространства может осуществляться, не только за счет уменьшения излучаемой мощности сигнала, но также за счет изменения его полосы или частотного спектра, обеспечивая работу каналов управления и телеметрии «под шумами», либо имитируя биологические сигналы крупных морских млекопитающих (например, для РТК МБ и РТК ПБ) [4-7].

Цель статьи: разработка способа управления и доведения телеметрической информации (ТМИ) в интересах РТК и РТП различных типов базирования в условиях сложной помеховой обстановки (при воздействии случайных и преднамеренных помех) с использованием линейно-частотно модулированных

(ЛЧМ) сигналов², до сегодняшнего дня широко применяемых в радиолокации и радиомониторинге состояния ионосферы, а также автоматизация идентификации принятых команд управления и телеметрии.

1. Основные термины и обозначения

В ходе проведения анализа существующих и перспективных способов доведения управляющей информации и телеметрии до/от РТК (РТП), а также целевой установки исследования используем следующие обозначения, таблица 1.

Таблица 1 – Основные обозначения и их физический смысл

Обозначение	Физический смысл обозначения
f_0	Центральное значение несущей частоты
$f_{\max} - f_{\min}$	Полоса частот действия ЛЧМ-сигнала
$f_{\max}$	Максимальное значения частот радиосигнала
$f_{\min}$	Минимальное значения частот радиосигнала
θ	Градиент наклона ЛЧМ-сигнала (%) – это синус угла наклона траектории, домноженный на 100 %; величина погружения (подъема), тангажа ³
m	Число повторов бинарных посылок команд управления
$T_{\text{бп}}$	Длительность бинарных посылок команд управления
$T_{\text{защ}}$	Величина защитного интервала бинарных посылок коман управления
$S_{\text{ЛЧМ}}^{(0)}(t)$	Линейно возрастающий закон изменения частоты
$S_{\text{ЛЧМ}}^{(1)}(t)$	Линейно убывающий закон изменения частоты
S_0	Амплитуда сигнала
b	Параметр, равный скорости изменения частоты во времени
T_c	Длительность сигнала
φ_0	Начальная фаза радиосигнала
V	Величина скорости движения робототехнического комплекса (платформы)
α	Величина угла поворота по азимуту
S	Скважность следования бинарных посылок команд управления
T	Период следования бинарных посылок команд управления
τ	Длительности бинарной посылки
$T_{\text{в}}$	Величина выигрыша в оперативности передачи команды управления для различных вариантов формирования сигнально-кодовой конструкции (с защитным интервалом внутри бинарных посылок $T_{\text{защ}}$ или без него)
h^2	Помехоустойчивость суммарного ЛЧМ гидроакустического сигнала
k	Количество ЛЧМ сигналов в «пакете» сигнально-кодовой конструкции
Δt_{Σ}	Длительность суммарного ЛЧМ гидроакустического сигнала
Δt_c	Длительность единичного ЛЧМ сигнала в суммарном гидроакустическом сигнале

² *Линейная частотная модуляция* (ЛЧМ) сигнала – это вид частотной модуляции, при которой частота несущего сигнала изменяется по линейному закону.

³ *Тангаж* летательного аппарата или морского судна (франц. tangage – килевая качка), угловое движение летательного аппарата (судна), при котором его продольная ось изменяет своё направление относительно горизонтальной плоскости. Применяется в двух значениях: как собственно отклонение (характеризуется углом тангажа) и как движение летательного аппарата (судна), когда изменяется угол тангажа (характеризуется скоростью тангажа).

Обозначение	Физический смысл обозначения
P_c	Мощность единичного ЛЧМ сигнала
P_Σ	Суммарная мощность излучения
ν^2	Спектральная плотность шума в морской среде
S_B	Бионический сигнал
$l_{\max}$	Максимальная дальность гидроакустической связи

Основной терминологический аппарат, раскрывающий сущность предлагаемого способа представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Основной терминологический аппарат разрабатываемого способа

Терминологический аппарат	Характеристика, описание, физический смысл сущностей, процессов, объектов и субъектов разрабатываемого способа
Код Морзе	Способ кодирования бинарных посылок при помощи длинных и коротких сигналов в виде так называемых «точек» и «тире». Единицей времени при кодировании букв алфавита, цифр, знаков и других символов принимают длительность одной «точки». Длительность одного «тире» равна трём «точкам», пауза между знаками в одной букве – одна «точка», между буквами в слове – три «точки», между словами – семь «точек». Сигналы передают в режиме амплитудной телеграфии.
КОИ-8	Код Обмена Информацией, 8 бит (KOI8) – восьмибитовая кодовая страница, совместимая с ASCII. Разработана для кодирования букв кириллических алфавитов. Была широко распространена как основная русская кодировка в Unix-совместимых операционных системах и в электронной почте, однако в настоящее время, с распространением Юникода, постепенно выходит из употребления.
МТК-2	Международный Телеграфный Код № 2 – Пятиэлементный код старто-стопных буквопечатающих телеграфных аппаратов по ГОСТ 15607, разработанный в СССР на основе стандарта ITA2 Международного консультативного комитета по телеграфии и обратно совместимый с ним. МТК-2 содержит 86 символов: 26 букв латинского алфавита, 31 букву русского алфавита (Ё и Ъ не используются), 10 цифр, 11 орфографических, пунктуационных и математических знаков, а также 8 управляющих символов (в том числе пробел).
SDR	<i>Software Define Radio</i> (англ.) – программно определяемая радиосистема, радиопередатчик и (или) радиоприёмник, в которых компоненты, традиционно реализованные в аналоговых аппаратных средствах, выполняются с помощью программного обеспечения на компьютере или встроенной системе.
CRS	<i>Cognitive Radio System</i> (англ.) – система когнитивного радио, это радиосистема, функционирующая на основе постоянного изучения окружающей электромагнитной среды и своего внутреннего состояния, использующая полученные знания для динамической корректировки своих эксплуатационных параметров и протоколов в интересах достижения поставленных целей
Тракт управления	Включает каналы командной информации и траекторного наведения

Терминологический аппарат	Характеристика, описание, физический смысл сущностей, процессов, объектов и субъектов разрабатываемого способа
Канал командной информации	К командной информации относятся формализованные сообщения и данные, используемые для управления РТК (РТП), типа: сценарный план миссии (например, «СП-5»), телеметрия в соответствии с данными цифровых карт местности обеспечивающей геоинформационной системы района выполнения миссии РТК, номера и координаты маршрутов движения РТК (например, «Маршрут № 3» – М3) и пр.
Канал траекторного наведения	В предлагаемом способе к корректирующим командам траекторного наведения для РТК НБ и МБ определены команды: по изменению скорости и направления движения «Вперед» – «Назад», по изменению азимута (крена) движения «Влево» – «Вправо», а для РТК ВБ, КБ, и ПБ дополнительно к перечисленным – по изменению угла места (тангажу подъема – спуска, погружения) «Вверх» – «Вниз».

2. Существующие подходы к формированию каналов управления и телеметрии в интересах РТК и РТП различных типов базирования

Анализ известного научно-методического аппарата формирования каналов связи в радио и подводной среде для управления техническими системами и глобально перемещающимися объектами (ГПО) в автоматизированном и автоматическом режимах достаточно обширен [1-8] и др., начиная от зарождения радио до широкого освещения проводимых в середине прошлого века результатов подводных и космических исследований. Значительный прогресс в развитии методов дистанционного управления ГПО и промышленными роботами был получен с появлением дистанционных систем автоматического регулирования. В данной же статье мы остановимся на ряде работ, используемых для прототипирования предлагаемого способа с применением методов построения сигнально-кодовых конструкций (СКК) на основе бинарных посылок «0» и «1» [7-9].

Известен способ ведения радиообмена с приемом азбуки Морзе [9], который с начала первой мировой войны (уже более века) продолжает использоваться в декаметровом (ДКМ) диапазоне волн для связи с удаленными объектами наземного, и морского базирования. В данном способе формируют бинарные посылки при помощи длинных и коротких сигналов в виде так называемых «точек» и «тире», причем единицей времени при кодировании букв алфавита, цифр, знаков препинания и других символов принимают длительность одной «точки». Длительность одного «тире» равна трём «точкам», пауза между знаками в одной букве – одна «точка», между буквами в слове – три «точки», между словами – семь «точек». Передают сигналы на фиксированных частотах волн в режиме амплитудной телеграфии (АТ), а принимают с использованием головных телефонов. В некоторых случаях данный способ является безальтернативным из-за уникальных возможностей слуха человека, в сравнении с автоматическими системами, по распознаванию радиосигнала на фоне шумов и помех.

Недостатками данного способа являются низкая помехоустойчивость радиообмена из-за значительной загрузки ДКМ диапазона волн сосредоточенными помехами и наличия замираний сигнала в среде распространения, а также

низкая скорость телеграфирования, ориентированная на ручной (слуховой) радиоприем.

Также известен способ передачи данных по радиоканалу с использованием ЛЧМ сигналов, описанный, например, в [12-14]. В данном способе для передачи информационных «0» и «1» формируют два ЛЧМ-сигнала, соответственно, с линейно возрастающим и линейно убывающим законом изменения частоты, а для приема используют корреляционный метод или метод согласованной фильтрации.

Недостатком способа является также низкая скорость телеграфирования, ориентированная на ручную (визуальную) обработку информации, не применимую в автоматических системах.

Более близким по технической сущности к предложенному в статье способу является способ, изложенный в работах [11, 15]. Он заключается в том, что на передающей стороне формируют бинарные посылки и передают их на заданном интервале времени, принимают которые с использованием компьютерной обработки сигнала и отображают на экране монитора в виде спектрограммы. Причем бинарные посылки представляют отрезками ЛЧМ-сигналов с линейно возрастающим или линейно убывающим законами изменения частоты в зависимости от значения бинарной посылки «0» или «1», а на приемной стороне отображают их на экране монитора в виде элементов с различными градиентами наклона, несовпадающими с градиентом прямых, отображающих сосредоточенные помехи на спектрограмме в плоскости «время-частота». Далее принятый бит информационного сообщения декодируют по заданному образцу из двоичного алфавита и после чего идентифицируют зрительный образ знака сообщения по принятой бинарной последовательности. В случае сложной помеховой обстановки по сохраняемой в цифровой форме спектрограмме восстанавливают принятые бинарные посылки по фрагментарным данным путем повторного анализа в режиме замедленного воспроизведения или в статике.

Недостатком данного способа является также его ориентация на ручной (зрительный) режим обработки информации, не применимый в автоматических системах управления РТК (РТП) различного базирования.

На сегодня достаточно активно в практике развития методов управления ГПО в виде РТК и РТП применяются интеллектуальные подходы к выбору механизмов доведения управляющей информации, характеризующихся высокой помехоустойчивостью, основанных на процессах динамического управления спектром. Отличительной особенностью таких интеллектуальных радиосистем можно назвать их способность извлекать из окружающего радиопространства и анализировать информацию о состоянии среды распространения радиоволн (РРВ), оптимально адаптируя СКК к изменяющимся параметрам канала (тракта) связи, загрузке частотного диапазона и помеховой обстановке [16-18].

Анализ достоинств и недостатков перечисленных выше подходов к формированию бинарной информации, из которых осуществляется построение СКК ФС трактов управления, телеметрии и информационного обмена между НПУ/БПУ и РТК/РТП, позволил наряду с появлением новых SDR-технологий и систем когнитивного радио (*Cognitive Radio System – CRS*) [19] создать высоко-

производительные аналого-цифровых преобразователей и программно-логические интегральные схемы 5 поколения, что в свою очередь привело к появлению перепрограммируемых возбудительных (формирователей сигналов) и радиоприемных устройств [10, 11, 20]. Это способствовало получению максимально высоких характеристик тракта управления в обеспечении помехоустойчивости каналов командной информации и траекторного наведения ГПО, что позволили осуществить следующий подход к формированию способа доведения управляющей и телеметрической информации в интересах РТК и РТП разных типов базирования.

3. Способ управления РТК и РТП различных типов базирования

Предложенный способ управления РТК (РТП) состоит, рис. 1:

- из предварительного этапа;
- первого этапа – формирования бинарных посылок команд управления;
- второго этапа – формирования тракта управления и его СКК;
- третьего этапа – доведения команд управления до РТК (РТП);
- завершающего этапа.

При этом *предварительный этап* способа осуществляется заблаговременно на пункте управления РТК/РТП и заключается в уяснении задач осуществления их миссии, оценке обстановки реализации миссии и включает шаги 1 и 2.

На шаге 1 осуществляется задание исходных данных: диапазона частот, применяемого в районе выполнения миссии РТК; выделенного частотного ресурса в интересах каналов управления и телеметрии РТК, центрального значения несущей частоты f_0 и полосы частот действия ЛЧМ-сигнала ($f_{\max} - f_{\min}$); перечня команд управления в виде корректирующих команд траекторного наведения или блока командной информации от системы поддержки принятия решения (СППР) либо лица, принимающего решение (ЛПР) типа:

- сценарного плана (СП) выполнения миссии РТК, телеметрии в соответствии с данными цифровых карт местности (ЦКМ), обеспечивающей геоинформационной системы (ГИС) района выполнения миссии РТК, номера и координат маршрута движения РТК и пр.;
- формата кодировки (Морзе, КОИ-8, МТК-2 и др.);
- градиента ЛЧМ-сигнала θ ;
- числа повторов m бинарных посылок команд управления, их длительности $T_{\text{бп}}$, величин защитного интервала $T_{\text{защ}}$;
- вида закрепленной за каналом управления СКК и др.

На шаге 2 осуществляется оценка обстановки по связи в части состояния среды РРВ (зима, лето, день, ночь, помеховая обстановка, деструктивные факторы (ДФ) естественного и искусственного происхождения).

Первый этап способа посвящен формированию бинарных посылок команд управления и телеметрии, и включает в себя шаги 3 – 5.

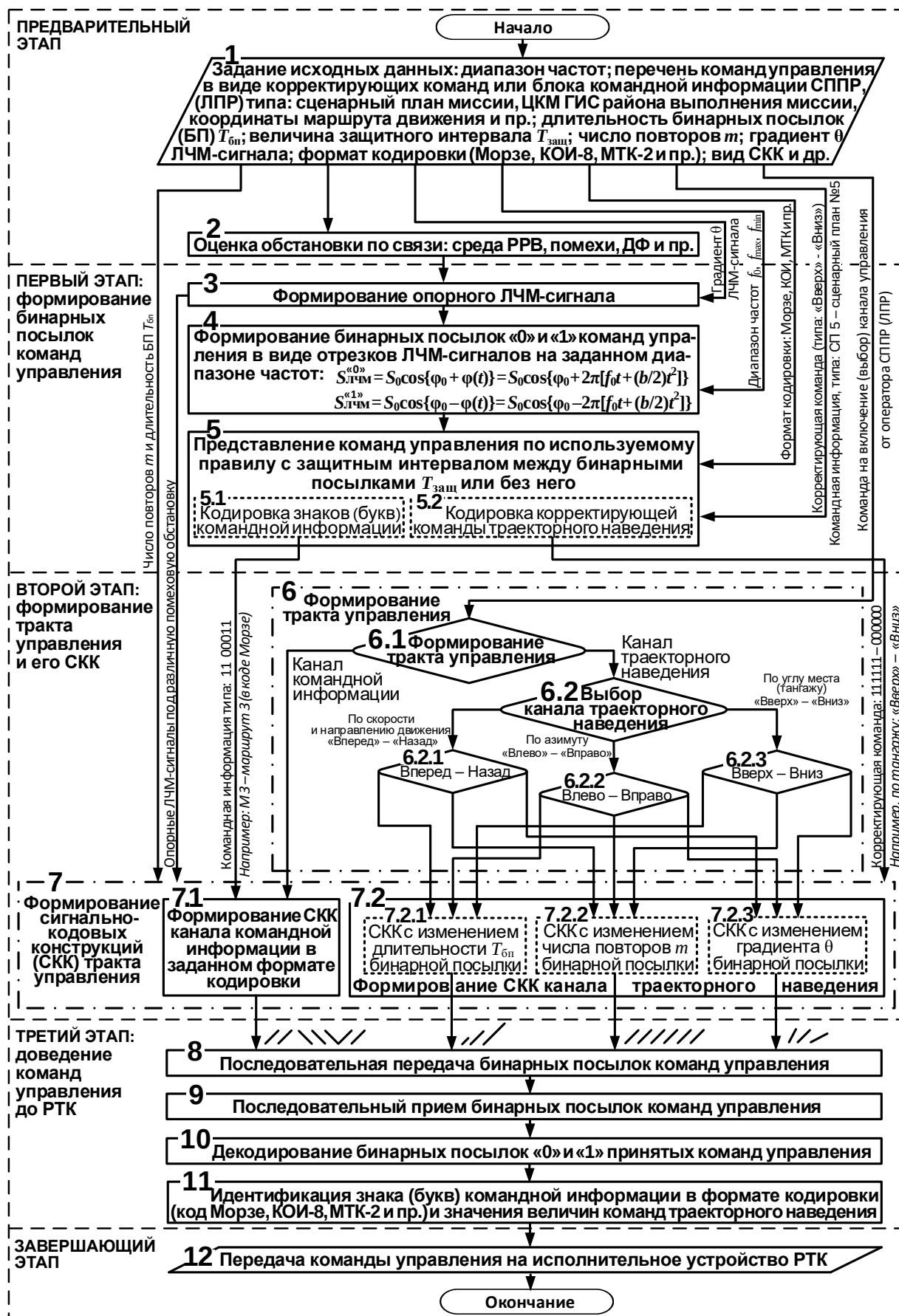


Рис. 1. Алгоритм способа доведения управляющей и телеметрической информации в интересах РТК и РТП различных типов базирования

На шаге 3 происходит формирование опорных ЛЧМ-сигналов с различными градиентами наклона θ , рис. 2. Необходимо отметить, что во всех используемых до настоящего времени ЛЧМ-несущих частотные градиенты устанавливаются слишком малыми (около $+20^\circ$ от вертикали развертки типа «Водопад»⁴, рис. 2), что важно для функции мониторинга радиочастотного спектра.

Однако, при передаче данных в каналах управления, и в последующем для эффективного автоматического декодирования принятых бинарных посылок, а также для получения наилучшего технического результата по повышению помехоустойчивости бинарных посылок «0» и «1» величину их градиента с линейно возрастающим или линейно убывающим законами изменения частоты необходимо поддерживать около $+45^\circ$ от вертикали, как показано на фрагментах 1 и 2 рис. 2.

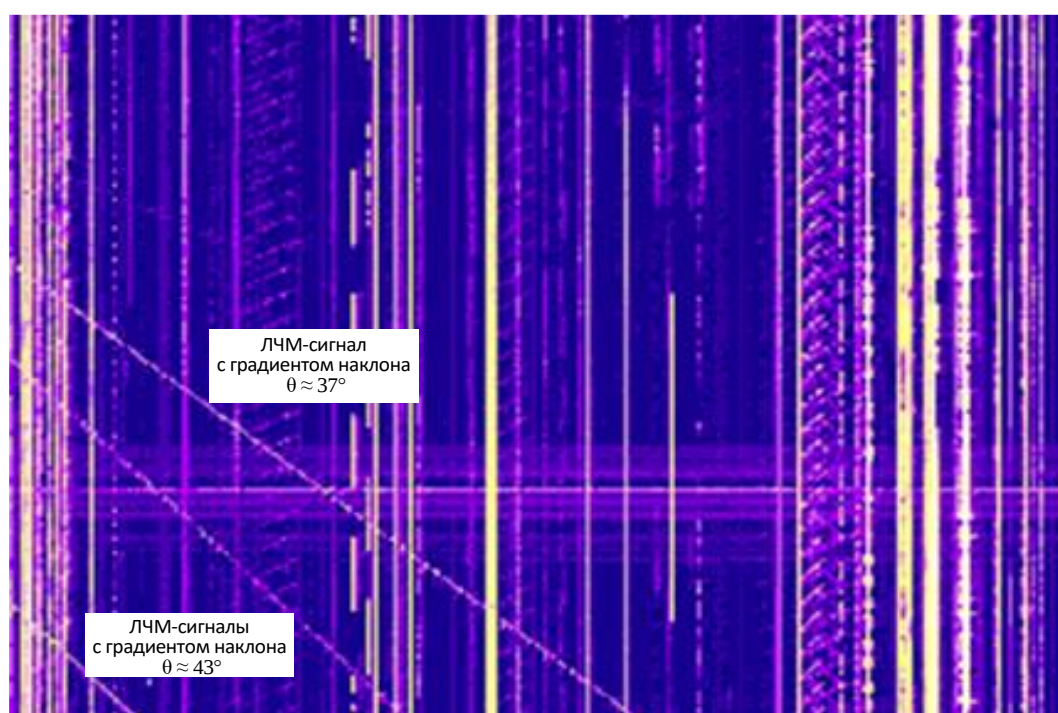


Рис. 2. Фрагмент опорного линейного частотно-модулированного сигнала с различными градиентами наклона

Поскольку только противоположные градиенты наклона, близкие к $+45^\circ$ от вертикали (горизонталь) в принимаемой смеси сигнала и помех наиболее различимы искусственной нейронной сетью (ИНС) радиоприемного устройства при их идентификации, в том числе и в условиях помех. Данный вид модуляции преимущественно используется в радиолокации и в системах мониторинга состояния ионосферы, и только в последнее время все чаще стал применяться для передачи информации. Процесс формирования сигналов с данным видом модуляции достаточно хорошо известен и подробно описан, например, в [6-15].

⁴ На спектрограмме в частотно-временной области помеха отображается в виде вертикальной линии и любые одночастотные сигналы типа азбуки Морзе при совпадении с нею неразличимы (градиент отличия равен нулю, $\theta = 0$)

На шаге 4 (рис. 1) происходит формирование из полученных на предыдущем шаге опорных ЛЧМ-сигналов бинарных посылок «0» и «1» команд управления в виде отрезков ЛЧМ-сигналов, соответственно с линейно возрастающим $S_{\text{ЛЧМ}}^{\text{«0»}}(t) = S_0 \cos\{\varphi_0 + \varphi(t)\} = S_0 \cos\{\varphi_0 + 2\pi[f_0 t + (b/2)t^2]\}$ и линейно убывающим $S_{\text{ЛЧМ}}^{\text{«1»}}(t) = S_0 \cos\{\varphi_0 - \varphi(t)\} = S_0 \cos\{\varphi_0 - 2\pi[f_0 t + (b/2)t^2]\}$ законами изменения частоты, где S_0 – амплитуда сигнала; $f_0 = (f_{\text{max}} + f_{\text{min}})/2$ – центральное значение несущей частоты; $b = (f_{\text{max}} - f_{\text{min}})/T_c$ – параметр, равный скорости изменения частоты во времени; T_c – длительность сигнала; φ_0 – начальная фаза; f_{max} и f_{min} – максимальное и минимальное значения частот радиосигнала.

Бинарные посылки на основе ЛЧМ-сигналов, формируемые по линейно возрастающему («0») и линейно убывающему («1») законам изменения частоты приведены, соответственно, на рис. 3 а) – з) и отображаются в частотно-временной плоскости наклонными линейными отрезками с положительной и отрицательной крутизной наклона (градиентом) линейного изменения закона модуляции.

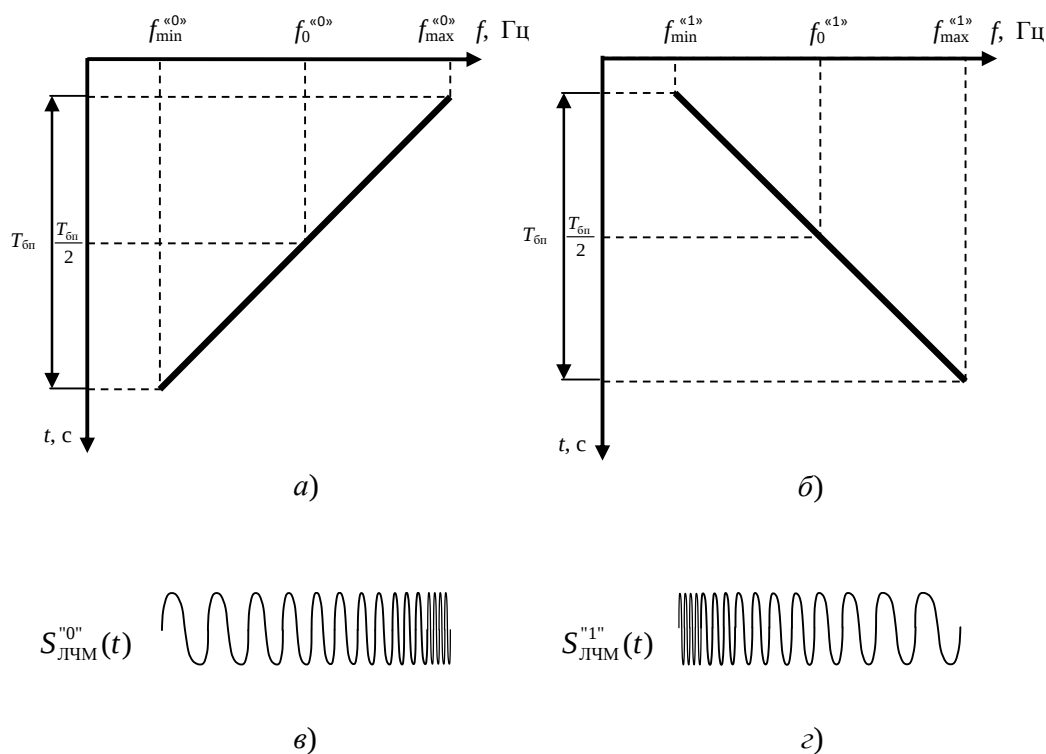


Рис. 3. Варианты построения бинарных посылок команд управления:
а) частотно-временная характеристика ЛЧМ-сигнала с законом линейно возрастающего изменения частоты (в); б) частотно-временная характеристика ЛЧМ-сигнала с законом линейно убывающего изменения частоты (г)

На шаге 5 (рис. 1) осуществляется представление команд управления по используемому правилу кодировки с защитными интервалами $T_{\text{защ}}$ между бинарными посылками или без них. При этом может быть использована кодировка, например: в коде азбуки Морзе, в пятиэлементном Международном телеграфном коде № 2 (МТК-2), в коде обмена информацией 8 бит (КОИ-8), и пр. При этом шаг 5 включает подшаги 5.1 и 5.2.

На подшаге 5.1 осуществляется кодировка знаков (букв) блока командной информации, получаемой от СППР либо ЛПР типа: сценарный план миссии (например, «СП-5»), телеметрия в соответствии с данными ЦКМ обеспечивающей ГИС района выполнения миссии РТК, номера и координаты маршрутов движения РТК (например, «Маршрут № 3» – МЗ) и пр. При этом сформированные последовательности логических «0» или «1» для передачи команды управления в виде командной информации представляют таким образом, что время передачи любой бинарной посылки $T_{бп}$ сопоставимо со временем передачи «точки» (70 мс) (рис. 4 а) в режиме АТ при передаче азбуки Морзе, что соответствует работе [9].

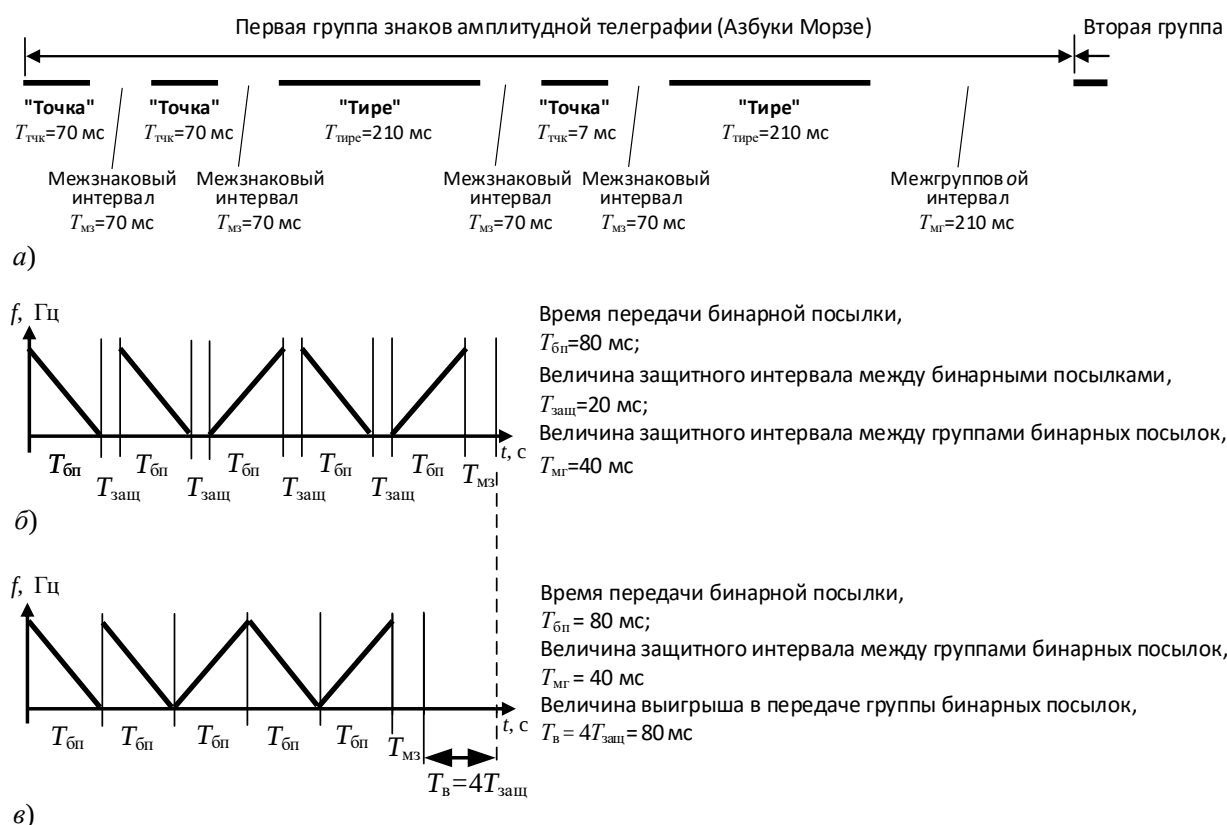


Рис. 4. К вопросу повышения оперативности доведения командной информации до РТК в виде бинарных посылок, построенных на основе ЛЧМ-сигналов:

- а) команда управления на основе Азбуки Морзе; б) та же команда управления на основе ЛЧМ-сигналов с защитными интервалами между бинарными посылками; в) та же команда управления на основе ЛЧМ-сигналов без защитных интервалов между бинарными посылками

Также в разрабатываемом способе предлагается сократить время для передачи бинарной посылки (увеличить скорость передачи) по сравнению с передачей азбуки Морзе в режиме АТ (рис. 4 б, в), поскольку этот режим ориентирован на ручной (визуальный) прием информации, а данный способ – на автоматический прием РТК команды управления в режиме реального времени.

Как правило, на автономные РТК командная информация по выполнению миссии записывается в его бортовую базу данных (БД) еще до его запуска (вы-

хода) на маршрут, а для дистанционно управляемых РТК и РТК с гибридной системой управления для доведения таких команд необходим специально выделенный канал (тракт) в случае коррекции миссии в процессе ее выполнения.

Пример представления блока командной информации, типа: «Маршрут № 3» (МЗ) в кодировке азбуки Морзе (11 00011) приведен на рис. 5 а).

На подшаге 5.2 (рис. 1) осуществляется кодировка корректирующих команд траекторного наведения. Как правило, такие команды траекторного наведения необходимы для дистанционно-управляемых РТК и РТК с гибридной системой управления, особенно на завершающем этапе выполнения миссии и в наиболее сложных условиях движения по маршруту. Для РТК с автономной системой управления также переход на режим траекторного наведения может быть использован на наиболее ответственных этапах выполнения миссии, например, стыковка космических аппаратов на орбите и пр. В предлагаемом способе к корректирующим командам траекторного наведения РТК НБ и МБ отнесены:

- по изменению скорости и направления движения «Вперед» – «Назад»;
- по изменению азимута (крена) движения «Влево» – «Вправо»;
- по изменению угла места (тангажу погружения) «Вверх» – «Вниз» (дополнительно к перечисленным – для РТК воздушного, космического и подводного базирования).

Для РТК промышленного назначения могут выделяться и другие команды на исполнение, связанные с технологией того или иного производства.

Поскольку при таком представлении корректирующих команд траекторного наведения их легко заменить бинарными послылками, то для снижения избыточности в тракте управления РТК предложено поставить им в соответствие бинарные символы «1» или «0». При этом каждая команда управления может быть представлена как одним бинарным символом «1» или «0» различной длительности, рис. 5 б), где величина длительности может быть сопоставима в каждом из каналов управления с величиной изменения скорости РТК при движении «Вперед» или «Назад», с величиной (градусом) изменения направления движения РТК по азимуту (крену) при повороте «Влево» или «Вправо», с величиной изменения тангажа (погружения) «Вверх» или «Вниз», так и числом повторов этих бинарных символов, рис. 5 в), или крутизне градиента наклона, рис. 5 г).

При этом величины скорости движения V в направлении «Вперед» – «Назад», углов поворота по азимуту α «Влево» – «Вправо», и по подъему – спуску (погружению, тангажу) θ «Вверх» – «Вниз» пропорционально соответствует длительности бинарных посылок ($T_{\text{бп}}^{''0''} = \text{var}$, $T_{\text{бп}}^{''1''} = \text{var}$), или числу повторов $m = \text{var}$ каждой из бинарных посылок при их фиксированной длине ($T_{\text{бп}}^{''0''} = \text{const}$, $T_{\text{бп}}^{''1''} = \text{const}$), или крутизне градиента наклона $\theta = \text{var}$ бинарной посылки. Данный параметр также может характеризоваться скважностью⁵ следования бинарных посылок S , определяемой через отношение периода следования T к ее длительности τ .

⁵ Скважность – безразмерная величина, определяющая отношение периода T следования (повторения) бинарной посылки к ее длительности τ ($S = T/\tau$). Часто используется величина, обратная скважности, называемая коэффициентом заполнения $D = \tau/T = 1/S$.

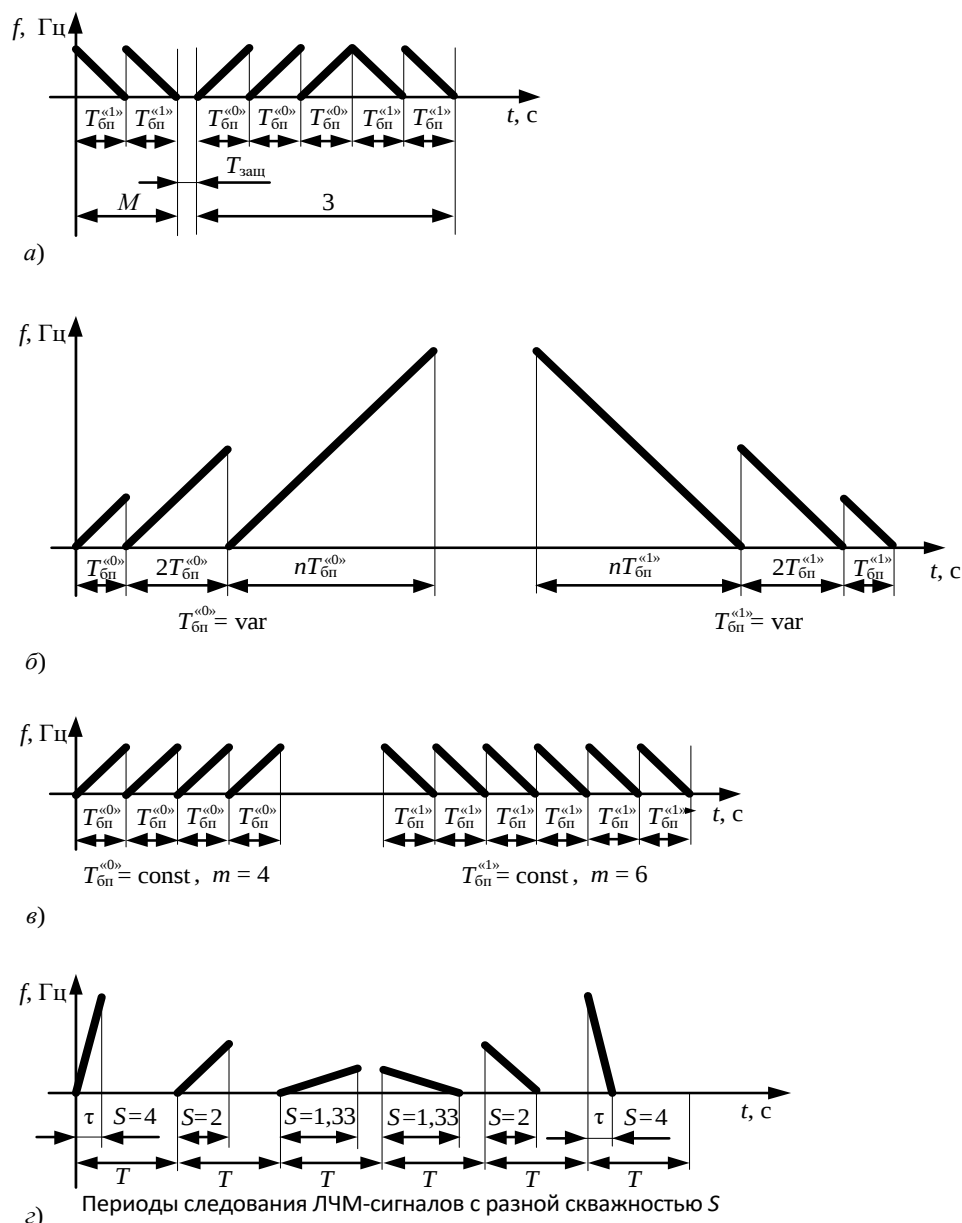


Рис. 5. Варианты формирования команд управления: а) представление команд, типа: «Маршрут № 3» (МЗ) в коде азбуки Морзе – 11 00011; б) представление корректирующей команды траекторного наведения в виде бинарных посылок на базе ЛЧМ-сигналов разной длительности, например: «Вперед, быстрее» – «Назад, медленнее»; в) представление корректирующей команды траекторного наведения в виде бинарных посылок на базе ЛЧМ-сигналов одинаковой длины, например: «Влево 4°» – «Вправо 6°» (m может быть кратно 1°, 2°, 5° или 10°); г) представление корректирующей команды наведения в виде бинарных посылок на базе ЛЧМ-сигналов с разной скважностью следования $S = \text{var}$, что может соответствовать разной величине тангажа погружения (градиенту наклона) $\theta = \text{var}$

Второй этап способа посвящен формированию тракта управления и используемых в нем сигнально-кодовых конструкций для каналов командной информации и траекторного наведения. Он включает шаги 6 и 7.

На шаге 6 (рис. 1) осуществляется формирование тракта управления РТК, в общем виде состоящего из канала командной информации и канала траектор-

ного наведения (условие 6.1 алгоритма предлагаемого способа), выбираемых оператором РТК, или СППР его системы управления. В свою очередь, выбор (детализация) конкретного канала траекторного наведения РТК осуществляется с помощью условия 6.2 алгоритма предлагаемого способа по направлению движения и величине изменения скорости «Вперед» или «Назад» (условие 6.2.1), по азимуту (крену) и величине изменения разворота «Влево» или «Вправо» (условие 6.2.2), по углу места и величине изменения тангажа (погружения) «Вверх» или «Вниз» (условие 6.2.3). При этом каждое из этих условий предполагает формирование СКК канала траекторного наведения путем изменения длительности бинарных посылок ($T_{\text{бп}}^{''0''} = \text{var}$, $T_{\text{бп}}^{''1''} = \text{var}$), или числу повторов $m = \text{var}$ каждой из бинарных посылок при их фиксированной длине ($T_{\text{бп}}^{''0''} = \text{const}$, $T_{\text{бп}}^{''1''} = \text{const}$), или крутизне их градиента наклона $\theta = \text{var}$ (скважности S ЛЧМ-сигнала), как показано на рис. 5 б) в) г) в зависимости от наличия свободного частотного ресурса (необходимой полосы частот), а также сложности помеховой обстановки или воздействия иных ДФ, например радиоэлектронного подавления.

На шаге 7 (рис. 1) происходит формирование СКК тракта управления:

на подшаге 7.1 – формируют СКК в интересах канала передачи командной информации РТК в заданном на подшаге 5.1 формате кодировки, рис. 5 а);

на подшаге 7.2 – формируют СКК в интересах канала траекторного наведения РТК по команде от шага 6, инициируемого оператором или СППР системы управления РТК. При этом в формируемых СКК используется кодировка корректирующей команды траекторного наведения, выполненная на подшаге 5.2. Причем СКК для изменения величины скорости V в направлениях «Вперед» – «Назад» (подшаг 6.2.1), значения угла поворота по азимуту α «Влево» – «Вправо» (подшаг 6.2.2) и по значению величины подъема – спуска (погружения, тангажа) θ «Вверх» – «Вниз» (подшаг 6.2.3) не остается постоянной, а варьируется:

- длительностью бинарной посылки ($T_{\text{бп}}^{''0''} = \text{var}$, $T_{\text{бп}}^{''1''} = \text{var}$) в частотно-временной плоскости ЛЧМ-сигнала, на подшаге 7.2.1, рис. 5 б);
- числом повторов бинарных посылок ($m = \text{var}$) при жестких ограничениях на доступную полосу частот, занимаемую ЛЧМ-сигналом, на подшаге 7.2.2, рис. 5 в);
- скважностью следования $S = \text{var}$ бинарных посылок (или градиента наклона ЛЧМ-сигнала $\theta = \text{var}$, в зависимости от используемых в СППР метрик), рис. 5 г).

Предпочтение в выборе варианта формируемой СКК с изменяемой длительностью, изменяемым числом повторов или изменяемой скважностью бинарных посылок команд управления зависит от наличия свободного частотного ресурса и сложности помеховой обстановки в районе выполнения РТК своей миссии. Решение на использование того или иного варианта принимает оператор или СППР. Также возможно жесткое закрепление, например, первого из вышеперечисленных вариантов формирования СКК за каналом траекторного наведения «Вперед» – «Назад», второго – за каналом траекторного наведения

«Влево» – «Вправо», а третьего – за каналом траекторного наведения «Вверх» – «Вниз». Как правило, каждый оператор подбирает данные варианты под особенности выполнения миссии и заданную помеховую обстановку (а иногда, и под свои предпочтения), причем:

- если управление каналом траекторного наведения осуществляется с помощью манипулятора типа «джойстик» – то, очевидно, что предпочтительным будет первый вариант с изменением длительности бинарной посылки, рис. 5 б);
- при необходимости передачи точного значения изменяемой величины параметра движения, например, поворот на определенный градус азимута, то предпочтительнее будет использование второго варианта СКК с повтором бинарных посылок, рис. 5 в), при этом каждый повтор бинарной посылки соответствует заданной величине варьируемого параметра управления (в случае заявленного примера – градус азимута);
- для случая увеличения или снижения скорости изменения значения величины параметра движения, предпочтительнее третий вариант СКК с изменением скважности S бинарной посылки, рис. 5 г).

Кроме того, передачу бинарных посылок внутри блока передаваемой командной информации можно осуществлять как с защитным интервалом $T_{\text{защ}}$, рис. 4 б), так и без него, рис. 4 в), что дает дополнительную величину выигрыша $T_{\text{в}}$ в части оперативности доведения команд управления до РТК. Важно отметить, что если межкастовый интервал в передаваемом сигнале АТ азбуки Морзе имеет крайне важное значение, поскольку «точки» и «тире» передаются на одной частоте и без такого интервала они не будут идентифицированы радиотелеграфистом или в ходе цифровой фильтрации на приемной стороне, то защитный интервал между ЛЧМ-сигналами бинарных посылок команды управления играет несколько второстепенную роль, поскольку точка начала ЛЧМ-сигнала всегда хорошо идентифицируется, что видно на рис. 4 б, в).

Третий этап способа ориентирован на доведение команд управления в виде командной и телеметрической информации, а также корректирующих команд траекторного наведения до РТК (РТП). Он состоит из шагов 8 – 11.

На шаге 8 (рис. 1) происходит последовательная передача сформированных на шаге 7 СКК и состоящих из ЛЧМ-сигналов в интересах канала командной информации от подшага 7.1 или каналов траекторного наведения от подшага 7.2 (7.2.1, 7.2.2, 7.2.3) известными в радиотехнике способами [2, 9]. При этом осуществляют согласование частотных характеристик разверток для каждой несущей $S_{\text{ЛЧМ}}^{''0''}(t)$ и $S_{\text{ЛЧМ}}^{''1''}(t)$, рис. 3 а, б) в отношении их длительности $T_{\text{бп}}$ в соответствии с условиями канала передачи (для адаптивных радиолиний управления РТК в сложной помеховой обстановке, например для декаметрового радиоканала, $T_{\text{бп}}$ может быть увеличена). После чего на интервале $T_{\text{бп}}$ модулируют сигнал команды управления несущей частотой, линейно изменяющейся от f_{min} до f_{max} или наоборот, в зависимости от передаваемой бинарной посылки «0» или «1» и передают сформированный ЛЧМ-сигнал. Причем при наличии только одного выделенного канала управления в интересах РТК команды управления передаются последовательно, а при наличии свободного канального ресурса

данные команды могут передаваться одновременно на РТК (каждая в своем выделенном канале) повышая оперативность управления им при ограничениях во времени, например при наведении на цель на высокой скорости движения РТК на завершающем этапе миссии. Процедура передачи бинарных посылок в предлагаемом способе аналогична той, которая представлена в [9, 11, 21].

На шаге 9 (рис. 1) осуществляют последовательный прием бинарных посылок команд управления в виде ЛЧМ-сигналов известными в радиотехнике способами [9, 11, 21]. При этом после фильтрации сигнала осуществляют согласование с ЛЧМ пилот-сигналом, оцифровку и преобразование в другую частотную форму посредством смешивания или перемножения принимаемого сигнала со сформированным гетеродинным сигналом, имеющим знак изменения частоты, противоположный знаку изменения частоты несущей волны передаваемого сигнала, так, что частота несущей волны преобразованного сигнала является постоянной, либо частотные составляющие соответствующего спектра представляют собой постоянные частоты. Также существует возможность обработки спектральных составляющих принятого частотно-преобразованного сигнала с применением более сложных систем фильтрации по одиночке, параллельно в блоке, в случае необходимости, комбинируя их друг с другом с целью восстановления, или извлечения, или выделения параметров, несущих информацию. Для этого могут применяться способы, известные из общедоступных источников по цифровой обработке сигналов [22], например, как показано в [23].

Для отделения/очистки принимаемого ЛЧМ-сигнала от различных помеховых составляющих может оказаться достаточным применение простых фильтров, например, полосно-пропускающих фильтров (ППФ). При этом такие фильтры могут настраиваться на интересующие составляющие, или, с другой стороны, соответствующие составляющие могут переноситься в заданный частотный диапазон, например, посредством синхронизации соответствующей вспомогательной частоты с соответствующей многолучевой составляющей. Также для повышения помехоустойчивости в сложной помеховой обстановке может использоваться согласованная фильтрация с блоком защиты от сосредоточенных помех [24-26].

Именно на данном шаге осуществляется достижение цели способа в отношении повышения помехоустойчивости приема команд управления. Если на рис. 6 приведены варианты спектрограммы сигналов АТ (азбуки Морзе) в условиях сосредоточенных и шумовых помех, из которых видно, что в сложной помеховой обстановке в автоматическом режиме искусственной нейронной сети радиоприемного устройства РТК достаточно сложно выделить сигнал Азбуки Морзе (АТ) на фоне мощных сосредоточенных или шумовых помех (что влияет на выполнение РТК своей миссии), то на рис. 7 приведены варианты приема бинарных посылок в виде ЛЧМ-сигнала: а) без помех и б) в условиях мощной сосредоточенной помехи с уровнями помехи и сигнала $h_{\text{п}} = -100$ дБ и $h_{\text{с}} = -120$ дБ соответственно. Что существенно облегчает задачу ИНС и блока ППФ радиоприемного устройства РТК (РТП) по выделению сигналов на фоне помех.

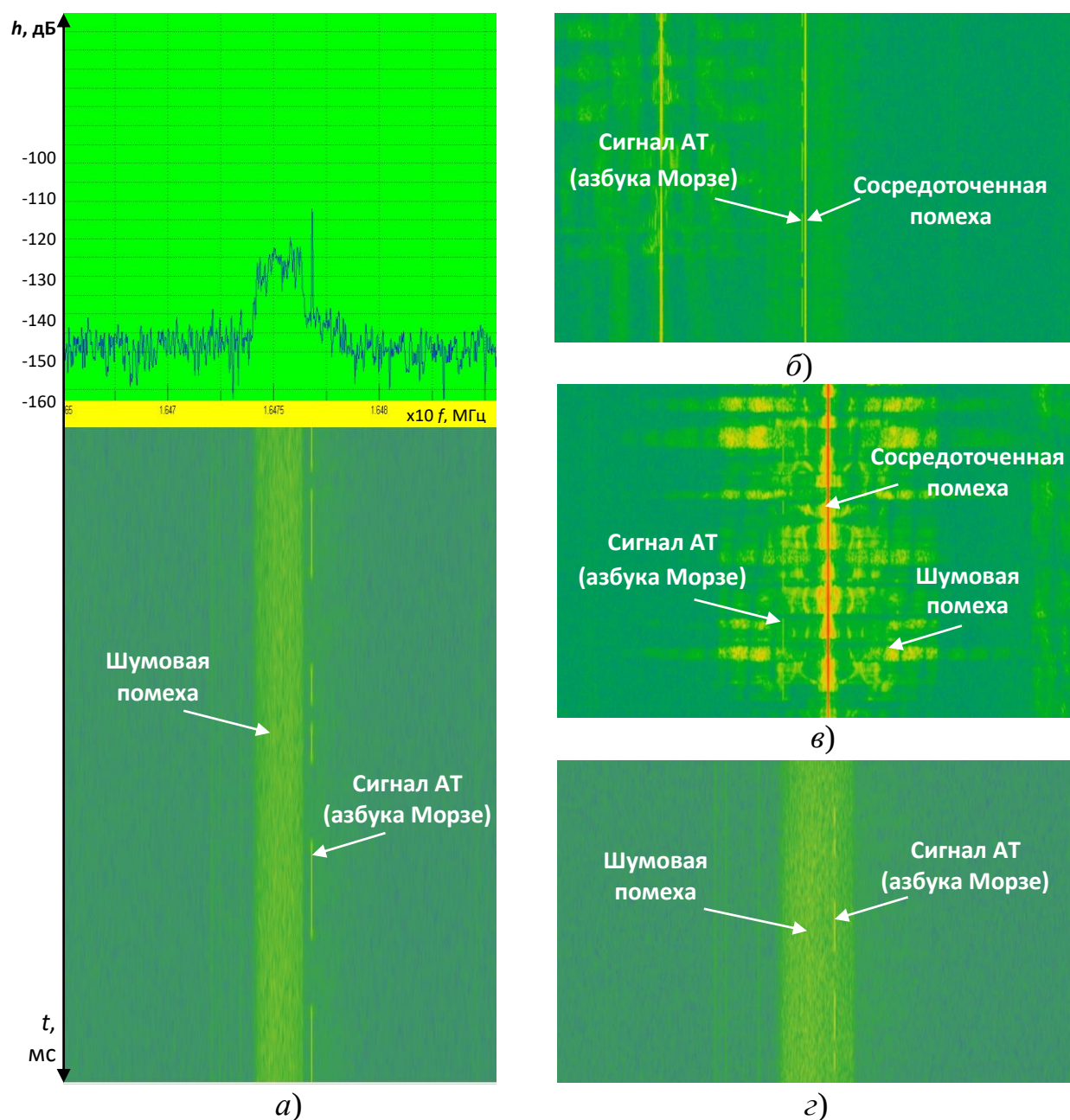


Рис. 6. Варианты спектрограммы сигналов АТ (азбука Морзе) в условиях сосредоточенных и шумовых помех: *а)* АЧХ и спектрограмма сигнала АТ рядом с шумовой помехой; *б)* спектрограмма сигнала АТ рядом с сосредоточенной помехой; *в)* спектрограмма сигнала АТ под мощными шумовой и сосредоточенной помехами; *г)* спектрограмма сигнала АТ под шумовой помехой

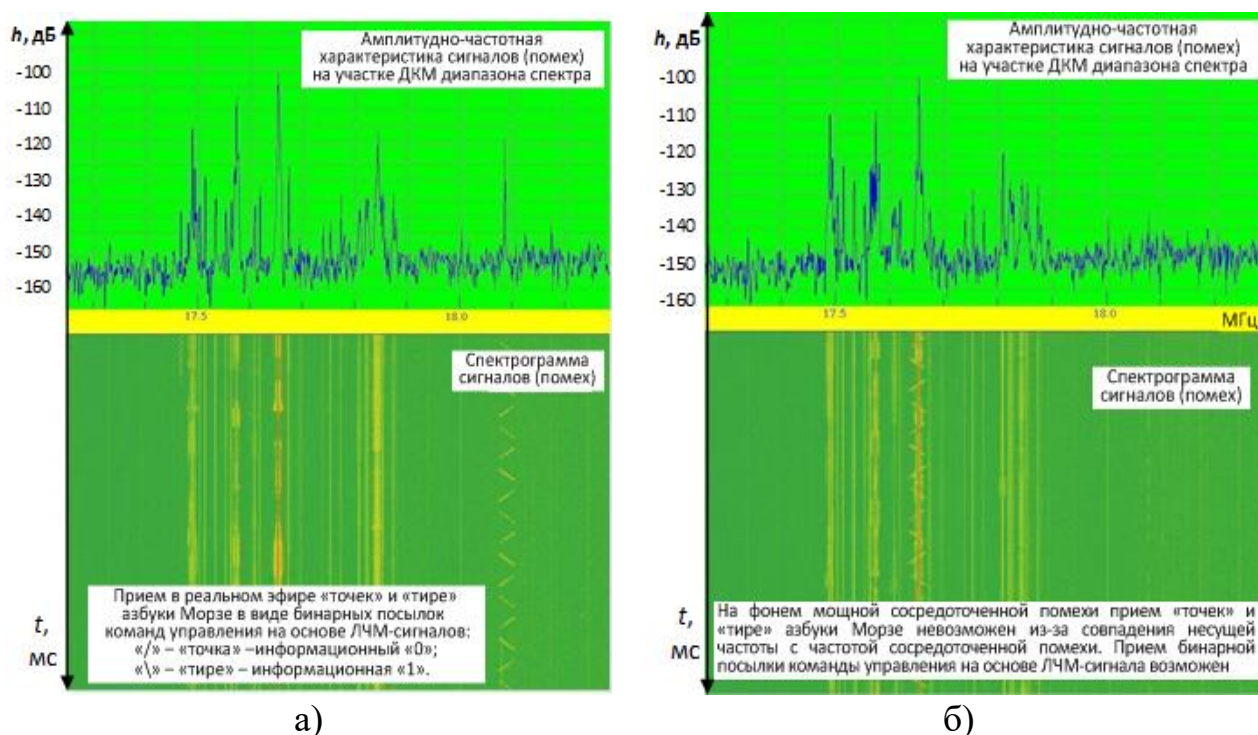


Рис. 7. Вариант идентификации бинарных посылок в виде ЛЧМ-сигнала:
а) без помех; б) в условиях мощной сосредоточенной помехи с уровнями помехи и сигнала $h_{\text{п}} = -100 \text{ дБ}$ и $h_{\text{с}} = -120 \text{ дБ}$, соответственно

На шаге 10 (рис. 1) осуществляют декодирование по принятым на шаге 9 ЛЧМ-сигналам с правым или левым градиентами наклона, соответствующих им бинарным посылкам команд управления, ставя им в соответствие заданный образ из двоичного алфавита «0» или «1». Данная процедура подробно описана в [11].

На шаге 11 (рис. 1) осуществляют идентификацию знака (буквы) принимаемого сообщения (команды управления), например, координат точек маршрута движения, с априори известной системе идентификации РТК кодировкой (азбука Морзе, МТК-2, КОИ-8 и др.) в режиме реального времени. При этом использование методов согласованной цифровой фильтрации по соответствующим шаблонам, методов экстраполяции и нейрообработки для последующей идентификации команды управления, позволяет автоматически восстанавливать принятые бинарные посылки по фрагментарным данным.

На завершающем этапе (на шаге 12) происходит передача принятых и идентифицированных на предыдущих шагах способа команд управления и телеметрии на соответствующие исполнительные устройства РТК (РТП).

Пример реализации способа с идентификацией корректирующей команды траекторного управления РТК показан на рис. 7 а) при отсутствии помех, а также в условиях воздействия мощной сосредоточенной по спектру помехи, рис. 7 б).

4. Пример использования ЛЧМ-сигналов в живой природе

Пример использования ЛЧМ-сигналов в живой природе приведен на рис. 8. Так на рис. 8 а) представлен фрагмент спектрограммы так называемого «зова кита», использование которого может выступать прототипом при моделировании сигнала для управления РТК подводного базирования; на рис. 8 б) показана расчетная характеристика оптимальной частоты излучения гидроакустического сигнала [6].

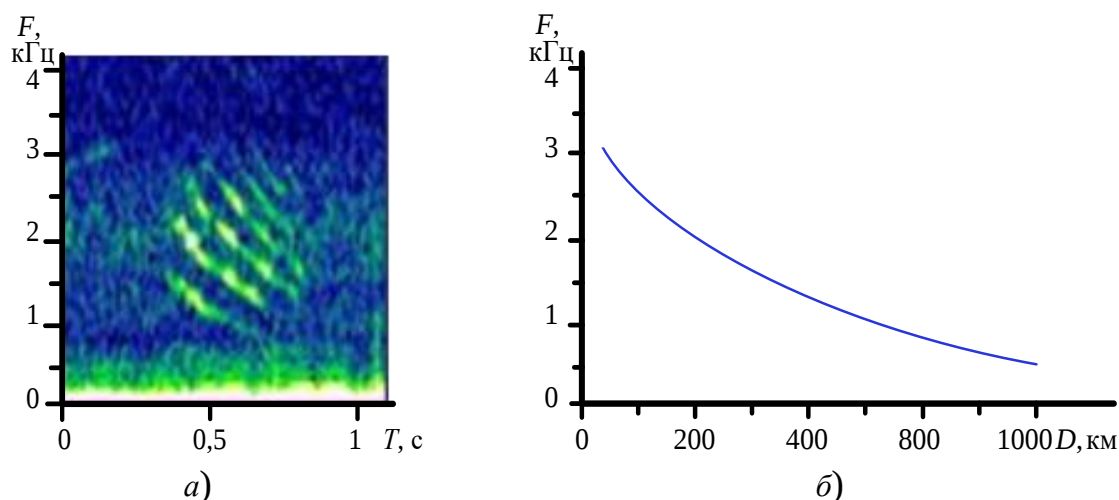


Рис. 8. Пример использования ЛЧМ-сигналов в живой природе – сигнал так называемого «зова кита» для управления РТК подводного базирования:
а) фрагмент спектрограммы «зова кита»; б) расчетная характеристика оптимальной частоты излучения гидроакустического сигнала

Известно, что в океанской среде крупные морские животные общаются на значительных расстояниях друг от друга. Так, например, общение горбатых китов, как показывают ихтиологические исследования, может осуществляться при их взаимном удалении свыше 1000 км. Как следует из анализа рис. 8 а), основные элементы спектрограммы могут быть аппроксимированы «пакетом» ЛЧМ-сигналов. В предположении их квазикогерентного сложения (реальный «механизм» совместной обработки элементов сигналов звукового аппарата китов неизвестен), а также одинаковой мощности и длительности, можно примерно оценить помехоустойчивость суммарного рассматриваемого сигнала:

$$h^2 \approx k \frac{P_c \Delta t_c}{v^2}, \quad (1)$$

где k – количество ЛЧМ сигналов в «пакете», Δt_c – длительность сигнала, P_c – мощность отдельного сигнала, v^2 – спектральная плотность шума в морской среде [27].

С точки зрения помехоустойчивости, такой «пакет» сигналов будет ориентировочно эквивалентен передаче одного «короткого» (длительностью Δt_c) ЛЧМ-сигнала с мощностью излучения $P_\Sigma \approx k \cdot P_c \left(\text{т. е. } h^2 \approx \frac{(k P_c) \Delta t_c}{v^2} \right)$, или «длинному» ($\Delta t_\Sigma = k \cdot \Delta t_c$) ЛЧМ-сигналу с мощностью излучения $P_c \left(\text{т. е. } h^2 \approx \frac{P_c (k \Delta t_c)}{v^2} \right)$. При

этом «многочастотность» зова кита может быть объяснена ограниченностью мощности излучения отдельным «звуковым резонатором» их голосового аппарата.

Таким образом, одним из вариантов энергетической имитации бионического сигнала (S_B) при ограничении мощности излучения может быть ЛЧМ-сигнал с параметрами $f_{\min} \approx 0,7$ кГц; $f_{\max} \approx 3,1$ кГц; $\Delta t_{\Sigma} \approx 1 \div 2$ с; $P_c \approx 2$ кВт (исходя из имеющихся данных по значению акустической мощности зова кита).

Необходимо подчеркнуть ряд особенностей такого сигнала S_B . Результаты теоретических расчетов по формуле (1) для усредненных значений переменных составляющих водной среды с учетом использования антенны линейного типа приведены на рис. 8 б) [6]. Как следует из графика, диапазон рабочих частот в имитационном сигнале S_B соответствует значениям расчетных оптимальных частот для различных протяженностей подводных трасс, вплоть до 1000 км.

Как следует из таблицы 3 [4, 27], для современных модемов заявляемая максимальная дальность гидроакустической связи (ГАС) $l_{\max}$ составляет до 30 км. Однако, в настоящее время к подсистеме ГАС, в значительной степени определяющей успешность выполняемых РТК подводного базирования специальных заданий, предъявляются более высокие требования по максимально достижимым значениям $l_{\max}$.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика модемов гидроакустической связи

Параметры модема	S2C R 8/16 Германия	S2C R 40/80 Германия	Acoustic Modem Германия	UWM 2000H США	ВСГС Россия, АО «НИИ Гидросвязи «Штиль»	ГАСС Россия, ДВО РАН
Дальность действия (км)	10,0	2,5	30	6,0	10,5	8,0
Максимальная скорость передачи данных (кбит/с)	6,9	35,7	0,145	17,8	57,6	4
Частота излучения (кГц)	8 ÷ 16	40 ÷ 80	—	26,77 ÷ 44,62	18,75 ÷ 42,75	16 ÷ 20
Вероятность ошибки	—	—	—	10^{-9}	10^{-9}	—
Вес модема (кг)	4,2	2,1	—	—	—	—

Заключение

Таким образом, новизной предложенного способа управления РТК и РТП различного типа базирования по сравнению с ранее известными из работ [4, 6-8, 10-15] способами, описывающих общий порядок применения ЛЧМ-сигналов для областей применения (передача данных, мониторинг технического состояния и др.), является то, что в данном способе представлен новый подход к управлению РТК (РТП), когда используются несколько параметров ЛЧМ-сигналов: длительность сигнала, число его повторов и градиент наклона (скважность). При этом изменение каждого из перечисленных параметров ис-

пользуется как изменение значения величины управляющего воздействия. Если в ранее используемых подходах [4, 6-8, 10-15] ЛЧМ-сигналы с левым и правым градиентом наклона использовались только в качестве «точек» и «тире» как элементов Азбуки Морзе, то в предложенном способе заложен абсолютно новый подход — изменение значений основных параметров ЛЧМ-сигнала применяется для управления РТК (РТП): по углу места — тангажу — «вверх-вниз», по азимуту «влево-вправо», по скорости движения «вперед-назад» быстрее-медленнее. Причем это применимо для РТК (РТП) различных типов базирования, например для наземных и надводных РТК – управление по азимуту и скорости (направлению) движения, а для РТК воздушного, космического и подводного базирования добавляется управление по углу места (тангажу). В связи с чем, предложенный способ управления, в какой-то мере, можно назвать универсальным способом управления. Также в каждом из каналов управления или канале траекторного наведения («влево-вправо», «вперед-назад», «вверх-вниз») можно использовать один из «закрепленных» за ним изменяющийся параметр ЛЧМ-сигнала. Оператор РТК (РТП) по своему усмотрению может подбирать для того или иного канала управления сигнально-кодovou конструкцию с изменением различных параметров ЛЧМ-сигнала (по его различной длительности, по различному числу повторов, по разному градиенту наклона).

Испытания, проведённые авторами (рис. 6 и 7) на реальных трактах управления, показали, что разработанный способ доведения управляющей и телеметрической информации в интересах робототехнических платформ различных типов базирования с использованием ЛЧМ-сигналов и цифровой фильтрации способен обеспечить доведение команд управления и телеметрии до РТК в условиях сложной помеховой обстановки. При этом необходимо отметить, что помехоустойчивость заявленного способа зависит не только от выбранного частотного диапазона, состояния радиоканала (или гидроакустического канала связи), превышения уровня помех над уровнем сигнала, но также и от параметров ЛЧМ-сигнала, используемых в предложенном способе, а также возможностей системы радиоэлектронной борьбы [26] для РТК и РТП специального назначения. Кроме того, передачу бинарных посылок внутри блока передаваемой командной информации можно осуществлять как с защитным интервалом $T_{\text{защ}}$, так и без него, что дает дополнительную величину выигрыша $T_{\text{в}}$ в части оперативности доведения команд управления и телеметрии до РТК (РТП). Все это говорит о достижимости поставленной цели исследования и технического результата разрабатываемого способа.

В данном случае, предлагаемый способ строго ориентирован на передачу команд управления и телеметрии на необитаемый РТК (типа БПЛА, автономные безэкипажные катера (БЭК), или необитаемые РТК подводного базирования) с автоматическим приемом команд управления и телеметрии. Однако дальнейшее расширение применимости предложенного способа может быть осуществлено и в обратном направлении: от РТК (РТП) – к пункту управления ими, где всегда присутствует человек (оператор РТК). А поскольку человеческий мозг способен к инвариантному распознаванию заранее известных образов (по сигналам, поступающим от органов слуха и зрительной системы), независимо от изменения раз-

меров, освещенности, положению и потере или искажения значительной части этого образа, представляется целесообразным (учитывая наличие современных средств «цифровой» записи и визуализации радио-, а также аудио- и видеосигналов) использовать помимо автоматического, также слуховой и визуальный прием информации (расширяя степени свободы оператора РТК на пункте управления в повышении помехоустойчивости при приеме поступающей от РТК информации о ходе миссии и о его техническом состоянии), что является направлением дальнейшего исследования.

Рассматривая применимость способа в звукоподводной связи, необходимо отметить, что для оценки энергетической дальности действия гидроакустической системы в разных режимах её функционирования (эхо-локации, шумопеленгования, телеметрии) необходимо проведение дополнительных исследований в рамках построения устройства управления РТК. В предложенном способе необходимо обратить внимание еще на одну из особенностей имитационного ЛЧМ-сигнала по его характерному звучанию при слуховом приеме, которое позволяет оператору (гидроакустику или радиотелеграфисту) с высокой вероятностью (большей, чем при приеме узкополосного сигнала) зафиксировать факт его появления даже в условиях мощных помех. Проверка эффективности приема сообщения с рассмотренной выше СКК была проведена с использованием имитационной модели гидроакустического канала [6]. Результаты обеспечения вероятности безошибочного приема команды из 20 знаков в условиях помех приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Вероятность безошибочного приема команды из 20 знаков, в условиях помех

Вид помехи	Узкополосный сигнал			СКК на базе S_B	
	Слуховой прием	Визуальный прием	Автоматический прием	Визуальный прием	Автоматический прием
Сосредоточенная	0,74	0,87	0,64	1,0	0,71
Широкополосная	0,85	0,93	0,81	0,99	0,86

При этом прием информации на глубокопогруженном объекте осуществляется на цифровую гидроакустическую фазированную антенную решетку, а на пункте управления РТК – с использованием программно-аппаратного комплекса приема и обработки информации с реализацией автоматической, визуальной и слуховой регистрации, что повышает устойчивость доведения как команд управления, так и ответной телеметрической информации от РТК на НПУ или на БПУ.

Литература

1. Будко П. А., Жуков Г. А., Кулешов И. А., Николашин Ю. Л. Методы и каналы управления робототехническими комплексами морского базирования в гетерогенной среде // Робототехника и техническая кибернетика. 2017. № 4 (17). С. 28-40.

2. Макаренко С. И., Козлов К. В. Автоматизированная система управления беспилотными летательными аппаратами при совместном решении ими специальных задач // Системы управления, связи и безопасности. 2025. № 1. С. 131-155. DOI: 10.24412/2410-9916-2025-1-131-155.

3. Владыко А. Г., Нестеров А. А., Макаренко С. И. Актуальные вопросы и перспективные направления обеспечения интероперабельности робототехнических комплексов различного типа и базирования на основе технологии Robot-to-Everything // Техника средств связи. 2024. № 3 (167). С. 18-30. DOI: 10.24412/2782-2141-2024-3-18-30.

4. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А. Обеспечение устойчивого доведения команд управления до удаленных исполнительных звеньев // Техника средств связи. 2022. № 1 (157). С. 2-24.

5. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жуков Г. А., Угрик Л. Н. Новое направление создания помехоустойчивых радиолиний декаметрового диапазона волн // Техника средств связи. 2021. № 1 (153). С. 2-26.

6. Мирошников В. И., Будко П. А., Жуков Г. А. Составной тракт доведения информации до робототехнических комплексов в северных морях // Техника средств связи. 2019. № 3 (147). С. 2-26.

7. Будко П. А., Будко Н. П., Винограденко А. М. Способы повышения помехоустойчивости в автоматизированных системах контроля // Системы управления, связи и безопасности. 2020. № 2. С. 176-211. DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10206.

8. Будко П. А., Винограденко А. М., Кузнецов С. В., Гойденко В. К. Реализация метода многоуровневого комплексного контроля технического состояния морского робототехнического комплекса // Системы управления, связи и безопасности. 2017. № 4. С. 71-101. – URL: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf>

9. История отечественных средств связи / Под ред. А.С. Якунина. – М.: Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2013. – 576 с.

10. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жолдасов Е. С., Жуков Г. А. Перспективные методы повышения помехоустойчивости декаметровых радиолиний. // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2014. № 1. С. 30-37.

11. Будко Н. П., Будко П. А., Жолдасов Е. С., Жолдасова А. Е., Жуков Г. А., Кулешов И. А., Мальцев Д. С., Мирошников В. И., Николашин Ю. Л., Фатюхин И. Н. Способ передачи и приема бинарной информации по каналам радиосвязи в неавтоматическом режиме (Варианты) // Патент RU № 2605045 от 20.12.2016, бюл. № 35. 31 с.

12. Будко Н. П. Методы доведения измерительной информации от удаленных и глобально перемещающихся объектов до сервера мониторинга распределенной информационно-телекоммуникационной сети Росморречфлота // Техника средств связи. 2022. № 2 (158). С. 77-100. DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-77-100.

13. Будко Н. П., Васильев Н. В., Груздев А. А., Каретников В. В., Шаталов А. Е., Шмидт А. А. Способ интеллектуального мониторинга состояния информационно-телекоммуникационной сети // Патент RU № 2841123 от 03.06.2025, бюл. № 16.

14. Будко Н. П., Аллакин В. В., Каретников В. В. Метод передачи аварийных сигналов на распределенной информационно-телекоммуникационной сети Росморречфлота // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2023. Т. 15. № 2. С. 10-17. doi: 10.36724/2409-5419-2023-15-2-10-17.

15. Будко П. А., Жуков Г. А., Винограденко А. М., Литвинов А. И. Комплексное использование разнородных каналов связи для управления робототехническими комплексами на базе единой системы радиомониторинга // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2017. Т. 9. № 1. С. 18-41.

16. Budko P. A., Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M. Adaptive System Monitoring of the Technical Condition Technological Objects Based on Wireless Sensor Networks // III International scientific Conference «Communications in computing and information Science» (Convergent'2018). Moscow, 2018. Vol. 1140. Springer, Cham. P. 200-210. doi: 10.1007/978-3-030-37436-5_18.

17. Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Samoylenko V. V., Samoylenko I. V., Sharipov I. K., Anikuev S. V. Mathematical aspects of stable state estimation of the radio equipment in terms of communication channel functioning // Proceedings of 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019). Moscow, 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. P. 547-559. doi: 10.1007/978-3-030-36625-4_44.

18. Budko P. A., Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Samoylenko V. V., Pedan A. V. Approach to the intellectual monitoring of the technical condition of difficult dynamic objects on the basis of the systems of a polling // Proceedings of 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019). Moscow, 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. P. 560-573. doi: 10.1007/978-3-030-36625-4_45.

19. Кизима С. В., Митченков С. Г., Емельяников Б. Б. Когнитивные радиотехнологии. Аспекты практической реализации // Электросвязь. 2014. № 9. С. 43-47.

20. Николашин Ю. Л., Кулешов И. А., Будко П. А., Жолдасов Е. С., Жуков Г. А. SDR радиоустройства и когнитивная радиосвязь в дециметровом диапазоне частот // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. №1. С. 20-31.

21. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Радио и связь, 1986. – 513 с.

22. Галкин В. А. Цифровая мобильная радиосвязь. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 432 с.

23. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.
24. Семенов А. М., Сикарев А. А. Широкополосная связь. – М.: Воениздат, 1970. – 278 с.
25. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г. И. Тузов, В. А. Сивов, В. И. Прытков и др.; Под ред. Г.И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
26. Куприянов А. И. Радиоэлектронная борьба. – М.: Вузовская книга, 2013, – 360 с.
27. Белоусов И. Современные и перспективные необитаемые подводные аппараты ВМС США // Зарубежное военное обозрение. 2013. № 5. С. 79-88.

References

1. Budko P. A., Zhukov G. A., Kuleshov I. A., Nikolashin Yu. L. Methods and paths of control in heterogeneous environment for robotic complexes of sea basing. *Robotics and technical cybernetics*, 2017, no. 4 (17), pp. 28-40 (in Russian).
2. Makarenko S. I., Kozlov K. V. Automated control system for unmanned aerial vehicles when they jointly figure out combat missions. *Systems of Control, Communication and Security*, 2025, no. 1, pp. 131-155 (in Russian). DOI: 10.24412/2410-9916-2025-1-131-155.
3. Vladyko A. G., Nesterov A. A., Makarenko S. I. Current issues and promising directions for ensuring interoperability of robotic systems of various types and base placements based on Robotto-Everything technology. *Means of Communication Equipment*, 2024, no. 3 (167), pp. 18-30 (in Russian). DOI: 10.24412/2782-2141-2024-3-18-30.
4. Nikolashin Yu. L., Budko P. A., Zhukov G. A. Ensuring sustainable delivery of control commands to remote executive units. *Means of Communication Equipment*, 2022, no. 1 (157), pp. 2-24 (in Russian).
5. Nikolashin Yu. L., Budko P. A., Zhukov G. A., Ugrik L. N. A new direction for creating noise-resistant radio lines in the decameter wave range. *Means of communication equipment*, 2021, no. 1 (153), pp. 2-26 (in Russian).
6. Miroshnikov V. I., Budko P. A., Zhukov G. A. The composite path of bringing information to robotic systems in the northern seas. *Means of communication equipment*, 2019, no. 3 (147), pp. 2-26 (in Russian).
7. Budko P. A., Budko N. P., Vinogradenko A. M. Ways to increase noise immunity in automated control systems. *Systems of Control, Communication and Security*, 2020, no. 2, pp. 176-211 (in Russian). DOI: 10.24411/2410-9916-2020-10206.
8. Budko P. A., Vinogradenko A. M., Kuznetsov S. V., Goydenko V. K. Realization of a Method of Multilevel Complex Control of Technical Condition of a Sea Robot. *Systems of Control, Communication and Security*, 2017, no. 4, pp. 71-101. Available at: <http://sccs.intelgr.com/archive/2017-04/04-Budko.pdf> (in Russian).

9. *Istoriya otechestvennykh sredstv svyazi* [History of Domestic Means of Communication]. Edited by A. S. Yakunin. Moscow. Publishing House Stolichnaya Entsiklopediya, 2013. 576 p. (in Russian).

10. Nikolashin Yu. L., Budko P. A., Zholdasov E. S., Zhukov G. A. Perspective methods of increase noise stabilities of decameter radio lines. *H&ES Research*, 2014, no. 1, pp. 30-37 (in Russian).

11. Budko N. P., Budko P. A., Zholdasov E. S., Zholdasova A. E., Zhukov G. A., Kuleshov I. A., Maltsev D. S., Miroshnikov V. I., Nikolashin Yu. L., Fatyukhin I. N. *Sposob peredachi i priema binarnoj informacii po kanalam radiosvyazi v neavtomaticheskom rezhime (Varianty)* [Method of transmitting and receiving binary information via radio communication channels in non-automatic mode (Variants)]. Patent Russia, no. 2605045. 2016 (in Russian).

12. Budko N. P. Methods of bringing measurement information from remote and globally moving objects to the monitoring server of the distributed information and telecommunications network of Rosmorrechflot. *Means of communication equipment*, 2022, no. 2 (158), pp. 77-100 (in Russian). DOI 10.24412/2782-2141-2022-2-77-100.

13. Budko N. P., Vasiliev N. V., Gruzdev A. A., Karetnikov V. V., Shatalov A. E., Schmidt A. A. *Sposob intellektual'nogo monitoringa sostoyaniya informacionnotelekkommunikacionnoj seti* [Method for intelligent monitoring of the state of the information and telecommunications network]. Patent Russia, no. 2841123. 2025 (in Russian).

14. Budko N. P., Allakin V. V., Karetnikov V. V. *Metod peredachi avarijnykh signalov na raspredelennoj informacionno-telekkommunikacionnoj seti Rosmorrechflota* [Method of transmitting alarms on the distributed information and telecommunication network of Rosmorrechflot]. *H&ES Research*, 2023, no. 2, pp. 10-17 (in Russian). DOI: 10.36724/2409-5419-2023-15-2-10-17.

15. Budko P. A., Zhukov G. A., Vinogradenko A. M., Litvinov A. I. *Kompleksnoe ispol'zovanie raznorodnykh kanalov svyazi dlya upravleniya robototekhnicheskimi kompleksami na baze edinoj sistemy radiomonitoringa* [Integrated use of heterogeneous communication channels for controlling robotic complexes based on a unified radio monitoring system]. *H&ES Research*, 2017, no. 1, pp. 18-41 (in Russian).

16. Budko P. A., Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M. Adaptive System Monitoring of the Technical Condition Technological Objects Based on Wireless Sensor Networks. III International scientific Conference «Communications in computing and information Science» (Convergent'2018). Moscow, 2018, Vol. 1140. Springer, Cham. Pp. 200-210. DOI: 10.1007/978-3-030-37436-5_18.

17. Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Samoylenko V. V., Samoylenko I. V., Sharipov I. K., Anikuev S. V. Mathematical aspects of stable state estimation of the radio equipment in terms of communication channel functioning. Proceedings of 22nd International conference «Distributed computer and communication networks:

control, computation, communications» (DCCN-2019). Moscow, 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. Pp. 547-559. DOI: 10.1007/978-3-030-36625-4_44.

18. Budko P. A., Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Samoylenko V. V., Pedan A. V. Approach to the intellectual monitoring of the technical condition of difficult dynamic objects on the basis of the systems of a polling. Proceedings of 22nd International conference «Distributed computer and communication networks: control, computation, communications» (DCCN-2019). Moscow, 2019. Vol. 1141. Springer, Cham. P. 560-573. DOI: 10.1007/978-3-030-36625-4_45.

19. Kizima S. V., Mitchenkov S. G., Emelyannikov B. B. Cognitive radio technology. aspects of the practical implementation. *Electrosvyaz*, 2014, no. 9, pp. 43-47 (in Russian).

20. Nikolashin Yu. L., Kuleshov I. A., Budko P. A., Zholdasov E. S., Zhukov G. A. SDR of the radio device and cognitive radio communication in the decameter range of frequencies. *H&ES Research*, 2015, no. 1, pp. 20-31 (in Russian).

21. Gonorovskiy I. S. *Radiotekhnicheskie cepi i signaly* [Radio engineering circuits and signals]. Moscow. Radio and Communications, 1986. 513 p. (in Russian).

22. Galkin V. A. *Cifrovaya mobil'naya radiosvyaz`*. [Digital mobile radio communications]. Moscow. Hotline – Telecom Publishing House, 2007. 432 p. (in Russian).

23. Sergienko A.B. *Cifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. St. Petersburg, Peter publ., 2002. 608 p. (in Russian).

24. Semenov A. M., Sikarev A. A. *Shirokopolosnaya svyaz`* [Broadband communications]. Moscow. Voenizdat publ., 1970. 278 p. (in Russian).

25. Tuzov G. I., Sivov V. A., Prytkovi V. I. et al. *Pomexozashhennost` radiosistem so slozhny`mi signalami* [Noise immunity of radio systems with complex signals]. Edited by G.I. Tuzov. Moscow. Radio and Communications, 1985. 264 p. (in Russian).

26. Kupriyanov A. I. *Radioe`lektronnaya bor`ba* [Electronic warfare]. Moscow. Vuzovskaya kniga publ., 2013. 360 p. (in Russian).

27. Belousov I. *Sovremennyye i perspektivny`e neobitaemye podvodny`e apparaty` VMS SShA* [Modern and promising uninhabited underwater vehicles of the U.S. Navy]. *Zarubezhnoe voennoe obozrenie*, 2013, no. 5, pp. 79-88 (in Russian).

Статья поступила 08 сентября 2025 г.

Сведения об авторах

Будко Никита Павлович – кандидат технических наук. Независимый эксперт. Область научных интересов: мониторинг информационных ресурсов; сбор и обработка информации, сетевые технологии. E-mail: budko62@mail.ru

Адрес: 195220, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Бутлерова, д. 9.

Будко Павел Александрович – доктор технических наук, профессор. Публичное акционерное общество «Информационные телекоммуникационные тех-

нологии». Область научных интересов: управление ресурсами информационно-телекоммуникационных систем. E-mail: budkopa@inteltech.ru

Адрес: 197342, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Кантемировская, д. 8.

Ключин Максим Андреевич – студент. Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: роботизированные системы и комплексы. E-mail: mai@mail.ru

Адрес: 125993, Россия, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 4.

Шаталов Антон Евгеньевич – независимый специалист. Область научных интересов: системы сетевого мониторинга. E-mail: antoha_26rus2018@mail.ru

Адрес: 356030 Ставропольский край, Красногвардейский район, с. Красногвардейское, ул. Энгельса, д. 46.

A method of delivering control and telemetry information in the interests of various types of robotic platforms

N. P. Budko, P. A. Budko, M. A. Klyushin, A. E. Shatalov

Setting the task: based on the use of linear frequency-modulated signals, which are still widely used in radar and radio monitoring of the state of the ionosphere, the task is to create a way to deliver control and telemetric information in the interests of robotic complexes and robotic platforms of various types based in a complex interference environment. In this case, the method is applicable both for controlling unmanned aerial vehicles and unmanned vessels (boats), as well as underwater robotic complexes, as well as ground-based and space-based robotic platforms. **Purpose of work:** is to increase the noise immunity of control channels for robotic complexes and robotic platforms of various bases in conditions of accidental and intentional interference. **Methods used:** methods of consistent digital filtering according to appropriate patterns, methods of extrapolation and neuro-processing for subsequent identification of control commands and telemetry information, methods of constructing signal-code structures for radio and sonar control channels for globally moving objects. **Study results:** the technical result achieved using the proposed method is to increase the noise immunity of control signals and telemetric information in the interests of robotic systems in conditions of concentrated and noisy interference. **Novelty:** due to the new set of essential features of the proposed method and the introduced sequence of actions based on the use of linear frequency-modulated signals in the control channels of robotic systems in azimuth (course), direction (speed) of movement and angle of position (pitch), the slope gradient of which on the spectrogram differs significantly from the zero slope gradient concentrated on the interference spectrum. **Practical significance:** it is to increase the stability of the transmission of control and telemetry commands from control points to globally moving objects and back in various environments under conditions of accidental and intentional interference. An additional benefit of the method is to increase the efficiency in communicating control and telemetry commands by reducing or completely eliminating the protective interval between transmitted binary packets of a signal-code design, as well as the ability to automatically restore received binary packets based on fragmentary data. Considering the applicability of the method in underwater communications, it should be noted that in order to assess the energy range of the sonar system in different modes of its operation (echo location, sound direction finding, telemetry), additional research is necessary as part of the construction of a control device for a marine-based robotic complex.

Keywords: information interaction channel, trajectory guidance channel, control channel, linear frequency-modulated signal, robotic complex, robotic platform, signal-code structure, random interference, concentrated interference, telemetry information.

Information about Authors

Nikita Pavlovich Budko – Ph.D. of Engineering Sciences. An independent expert. Field of research: information monitoring; data acquisition. E-mail: budko62@mail.ru

Address: 195220, Russia, St. Petersburg, Butlerova str., build. 9/3.

Pavel Alexandrovich Budko – Doctor of Technical Sciences, Professor. Information Telecommunication Technologies Public Joint Stock Company. Research interests: resource management of information and telecommunication systems. E-mail: budkopa@inteltech.ru

Address: 197342, Russia, St. Petersburg, Kantemirovskaya St., 8.

Maxim Andreevich Klyushin – student. Moscow Aviation Institute (National Research University). Research interests: robotic systems and cjmplices. E-mail: mai@mai.ru

Address: 125993, Russia, Moscow, Volokolamsk highway, 4.

Anton Evgenievich Shatalov – an independent specialist. Research interests: network monitoring systems. E-mail: antoha_26rus2018@mail.ru.

Address: 356030 Stavropol Territory, Krasnogvardeysky district, Krasnogvardeyskoye village, Engels str., 46.