

УДК 621.61

Способы повышения помехоустойчивости в автоматизированных системах контроля

Будко П. А., Будко Н. П., Винограденко А. М.

Аннотация. Специфика функционирования современных территориально-распределенных комплексов связи специального назначения, характеризующаяся изменяющимися условиями работы в сложной помеховой обстановке, а также высокой критичностью отказа, обуславливает необходимость применения систем дистанционного контроля их технического состояния. Использование подобных систем контроля характеризуется недостаточной помехоустойчивостью при передаче аварийных сигналов с контролируемых комплексов связи, функционирующих в условиях воздействия естественных и искусственных дестабилизирующих факторов, что снижает эффективность функционирования всей системы связи специального назначения. **Цель работы** заключается в разработке способов повышения помехоустойчивости в автоматизированных системах дистанционного контроля технического состояния территориально-распределенных комплексов связи специального назначения. **Используемые методы:** повышение помехоустойчивой передачи аварийных сигналов осуществляется за счет применения новой сигнально-кодовой конструкции в радиоканале доведения телеметрической информации, что позволяет повысить помехоустойчивость систем удаленного контроля и телеметрии. **Новизна:** предложено и обосновано расширение возможностей систем удаленного контроля технического состояния территориально-распределенной автоматизированной системы связи специального назначения с использованием радиосистем в декаметровом диапазоне волн. На основе применения SDR-технологий и использования данных контроля от элементов системы контроля, предлагаются новые способы построения помехоустойчивых сверхузкополосных декаметровых радиолиний, в том числе работающих в режиме перестройки рабочих частот по псевдослучайному закону. **Результат:** в основу системы дистанционного контроля, телеметрии должны лечь программно-аппаратные комплексы средств связи, построенные на основе SDR-технологий. Предложено графическое отображение аварийных сигналов с объектов контроля при их приеме в виде спектрограммы. Это дает возможность внедрения нового способа доведения аварийных сигналов от удаленных терминалов территориально-распределенной системы контроля по декаметровому радиоканалу в виде линейно- либо дискретно-частотно модулированных сигналов с возрастающим, либо убывающим градиентом модуляции. **Практическая значимость:** результаты исследования можно использовать в процессе дистанционного контроля технического состояния территориально-распределенных комплексов связи для помехоустойчивой передачи измерительной информации, при оперативном управлении радиолиниями и для маневра частотным ресурсом в сложной помеховой обстановке. Предлагаемые способы позволяют осуществлять помехоустойчивую радиосвязь при автоматическом и визуальном приеме за счет повышения вероятности доведения аварийных сигналов до органов управления, а также вести работу с унаследованными радиолиниями.

Ключевые слова: помехоустойчивость, передача аварийных сигналов, территориально-распределенные комплексы связи, система удаленного контроля, техническое состояние, телесигнализация, телеизмерения.

Библиографическая ссылка на статью:

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.

Reference for citation:

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.

Введение

Увеличение числа источников измерительной информации (ИИ) в современных комплексах связи и на автоматизированной системе связи (АСС) специального назначения (СН), характеризуется специфичностью задач, которые ставятся при мониторинге технического состояния (ТС) их элементов, и многообразием каналов передачи ИИ, телеметрической информации (ТМИ) к автоматизированным системам контроля (АСК), к телеметрическим системам (ТМС), что предполагает предъявляться все более жесткие требования по повышению помехоустойчивой передачи информации [1, 2].

Существующие АСК, в которых информация от датчиков на объектах контроля (ОК) передается на диспетчерские пункты управления (ДПУ) мониторинга ТС распределенных телекоммуникационных систем, характеризуются проблемами сбора аварийных сигналов при прохождении их через различные среды распространения, в условиях воздействия дестабилизирующих факторов (ДФ) различной физической природы. Проблемы сбора этих сигналов в условиях ДФ определяют как ТС ОК и, соответственно, готовность современных комплексов связи СН к выполнению задач по предназначению, так и состояние среды распространения сигналов телеизмерений (ТИ) и телесигнализации (ТлС). Поэтому традиционными способами не всегда удается решить задачу сбора и передачи больших потоков ИИ с заданной достоверностью, особенно при воздействии таких ДФ как помехи в канале связи (КС) [3].

Длительность удаленного измерения большого количества параметров и продолжительность анализа результата измерения обуславливается особенностью среды распространения и воздействиями ДФ. В связи с этим, применяемые в АСС способы дистанционного контроля ТС территориально-распределенных объектов связи характеризуются низкой производительностью (оперативностью, полнотой, достоверностью) оценки ТС, что в целом снижает эффективность системы связи.

Эволюция развития комплексов связи СН, привела в тому, что даже кратковременное пропадание или существенное искажение данных о протекающих в них процессах, контролируемых с помощью существующих средств измерений, является неприемлемой с точки зрения выполнения требований устойчивости [4]. Поэтому, необходимы новые способы удаленного контроля, которые будут способствовать повышению помехоустойчивости при передаче аварийных сигналов о ТС комплексов связи АСС СН. Это, в целом, позволит обеспечить эффективное управление и функционирование комплексов связи АСС СН.

Проблемы помехоустойчивой передачи ИИ. Проблема повышения эффективности целевого использования АСС СН, тесным образом связана с обеспечением устойчивости ее функционирования в условиях воздействия различного рода ДФ. С учетом этого в материалах данного исследования основным показателем эффективности АСС СН определена именно помехоустойчивость, как одно из основных составляющих свойства устойчивости. Высокая помехоустойчивость АСС СН определяется как способностью выполнять свои задачи по передаче сообщений (доведению аварийных сигналов, команд управления и др.) с требуемым качеством при всех воздействующих ДФ (естественного и ис-

кусственного происхождения) и является центральной как по значимости данного свойства системы, так и по сложности ее обеспечения [5, 6]. Достижение высокой помехоустойчивости АСС СН возможно на основе оперативной работы системы контроля ТС по своевременному доведению до ДПУ достоверной информации о ТС ОК с целью «маневра» телекоммуникационными ресурсами в условиях динамически меняющейся обстановки. Обеспечение требований по устойчивости АСС СН является, фактически, ключевым для системы контроля ТС комплексов связи, на который расходуется внешний и внутренний ресурс. Таким образом, обобщая вышесказанное, можно сделать вывод, что повышение помехоустойчивости АСС СН, с учетом неблагоприятных воздействий внешней среды, различного рода ДФ на процессы контроля при передаче ИИ, является актуальной научно-технической проблемой.

Технической проблемой в процессах передачи (обмена) ТМИ систем дистанционного контроля ТС комплексов связи СН является низкая помехоустойчивость аварийных сигналов, передаваемых в ДПУ для принятия оперативных решений по управлению АСС СН. С учетом этого, с ростом поступающих на снабжение комплексов связи, ввиду малой оснащенности их АСК или даже полным ее отсутствием, растет число аварийных ситуаций в АСС при воздействии ДФ: влиянии сложных климатических факторов, сосредоточенных по спектру помех, индустриальных шумов крупных мегаполисов, а также преднамеренных радиоэлектронных помех в особый период (перед началом и при ведении боевых действий). С учетом этого, необходима разработка нового способа помехоустойчивой передачи (обмена) ИИ в АСК ТС комплексов связи территориально-распределенной АСС СН, функционирующей в условиях ДФ (здесь и далее под ДФ понимаются естественные и преднамеренные радиоэлектронные помехи, формирующие сложную помеховую обстановку). Особенно это важно в интересах контроля ТС необслуживаемых автономных (удаленных) необитаемых объектов связи АСС или иных ОК с низкой степенью обитаемости.

Таким образом, *цель настоящей работы заключается* в разработке способов повышения помехоустойчивости в автоматизированных системах дистанционного контроля ТС комплексов связи СН, функционирующих в условиях ДФ, соответствующих естественным и преднамеренным радиоэлектронным помехам.

Для реализации помехоустойчивой передачи (приема) ИИ в виде аварийных сигналов о ТС комплексов связи СН предлагается использование интеллектуальных радиосистем, отличительной особенностью которых является способность извлекать и анализировать информацию об окружающем радиопространстве, прогнозировать изменения параметров КС и оптимально адаптировать услуги, предоставляемые органам управления к изменяющимся параметрам среды распространения радиоволн (РРВ), помеховой обстановке и др. (например, загрузке частотного диапазона).

Функционирование АСК ТС комплексов связи СН в рамках технологического базиса интеллектуальных радиосистем позволит значительно повысить помехоустойчивость передачи ИИ, что, в целом, обеспечит эффективное функционирование территориально-распределенных АСС СН.

1. Анализ известных работ по повышению устойчивости систем передачи данных (ТМИ)

Проведем анализ существующих способов передачи информации, применение которых будет способствовать повышению помехоустойчивости систем удаленного контроля.

Существующие способы помехоустойчивой передачи ТМИ в процессах интеллектуального контроля ТС АСС СН. Используемый еще со времен первой мировой войны способ ведения радиообмена в неавтоматическом режиме с приемом на слух кода Морзе [7], продолжает широко применяться и в настоящее время для связи с удаленными объектами различных типов базирования (наземного, воздушного и морского). В соответствии с данным способом формирование бинарных посылок осуществляется при помощи длинных и коротких сигналов («точек» и «тире»), причем за единицу времени при кодировании букв алфавита, цифр, знаков препинания и других символов принимается 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». Передача сигналов происходит на фиксированных частотах волн в режиме амплитудной телеграфии (АТ), а прием на слух – 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. К недостаткам описанного способа относятся низкая помехозащищенность радиообмена из-за значительной загрузки частотного диапазона сосредоточенными помехами и наличие замираний сигнала в среде распространения радиоволн (особенно для ионосферного канала), а также низкую скорость телеграфирования.

В авиации, для связи диспетчерских пунктов с заходящими на посадку воздушными судами, используют маркерные радиомаяки (МРМ) дальнего (ДПРМ) и ближнего (БПРМ) приводных радиомаркерных пунктов аэродромов, а также отдельных приводных радиомаркерных пунктов (ОПРМ) вертолетных площадок (для радиомаячных систем (РМС) метрового диапазона*). Их функционирование основано на способе привода воздушных судов с помощью РМС обеспечения инструментального захода воздушных судов на посадку [8-11]. Приводные аэродромные радиостанции (ПАР), работающие в режимах «связь» и «привод» характеризуются особенностью размещения на одной позиции с ними маркерных радиомаяков ДПРМ, БПРМ и ОПРМ. При отказе бортовой радиостанции передача команд на воздушное судно осуществляется в режиме «связь». При этом ПАР ДПРМ (ОПРМ) и ПАР БПРМ передают опознавательные сигналы в режиме «привод». Причем ПАР ДПРМ и ОПРМ передают кодом Морзе двухбуквенный опознавательный сигнал с заданной кратностью и периодом повторения, а ПАР БПРМ – однобуквенный опознавательный сигнал также с заданной кратностью и периодом повторения. Маркерный радиомаяк так-

*В качестве дальнего и ближнего маркерных радиомаяков РМС допускается использовать маркерные радиомаяки ДПРМ и БПРМ.

же использует для передачи сигналов опознавания код Морзе: для МРМ в составе ДПРМ – последовательность «тире», передаваемых с заданной частотой; для МРМ в составе БПРМ и ОПРМ – последовательность «точек» также с заданной частотой; для МРМ в составе ОПРМ, установленного в дополнение к объективным средствам посадки – последовательность «точек» и «тире», передаваемых с заданной частотой чередования, отличающаяся от сигналов опознавания МРМ ДПРМ и БПРМ. Низкая помехозащищенность кода Морзе в условиях помех является недостатком данного способа привода воздушных судов на аэродром базирования. Воздействие ДФ естественного и искусственного происхождения на систему связи и радиотехническое обеспечение (РТО) аэродрома является критичным и резко снижает безопасность полетов. Для частичной компенсации снижения помехозащищенности для ПАР и МРМ выделяются резервные частоты.

Другой способ передачи информации по радиоканалу с использованием линейно-частотно-модулированных (ЛЧМ¹) сигналов («0» и «1») [12, 13] предполагает формирование двух сигналов соответственно с линейно возрастающим и линейно убывающим законом изменения частоты, а для приема используют корреляционный метод или метод согласованной фильтрации. Низкая помехозащищенность радиообмена является недостатком и этого способа, что влечет за собой повышение вероятности пропуска сигнала при попытке его распознавания на фоне шумов и помех при автоматическом приеме.

Способ повышения помехоустойчивости средств радионавигации и посадки в условиях сосредоточенных и шумовых помех, называемый в США «сверхмедленный телеграф» [14], представляет собой визуальный радиообмен QRSS (Quasi Random Signal Source, крайне низкая скорость передачи телеграфных сигналов). Данный способ основан на процессе формирования бинарных посылок в виде последовательности коротких и длинных элементов на минимальной скорости передачи, реализуемом на передающей стороне. Передача бинарных посылок происходит на фиксированных частотах волн, а прием – визуально по спектрограмме с экрана монитора. При этом длительность отдельных элементов телеграфных посылок кода Морзе может достигать от 3 с (для «точки») и 9 с (для «тире») до 60 с и 180 с соответственно (в QRSS-60). В результате этого, невозможным становится прием на слух, однако используя компьютерную обработку сигналов с применением звуковой карты, получают автоматическую регистрацию сигналов, после чего их представляют на спектрограмме в плоскости «время-частота» на экране монитора в виде телеграфного кода. К недостаткам этого способа можно отнести очень низкую скорость передачи информации. Так, при передаче одного бинарного элемента (бита) знака за 180 с время передачи знака в целом (буквы, цифры) может достигать более 10 мин, а слова – более 1 ч. При совпадении частоты передачи сигнала с частотой какого-либо источника мощных сосредоточенных помех, прием информа-

¹ **Линейная частотная модуляция (ЛЧМ)** сигнала – это вид частотной модуляции, при которой частота несущего сигнала изменяется по линейному закону

ции становится затруднительным. При этом отметим, что наличие таких помех является обычным явлением в загруженных участках радиодиапазона.

Известен способ передачи и приема цифровой информации в радиопередачах, в соответствии с которым, на передающей стороне величину несущей частоты модулируют информационной последовательностью по одному из известных узкополосных методов, изменяют расширяющей кодовой последовательностью по псевдослучайному закону и излучают в эфир, при этом используется сигнал с расширением спектра скачками частоты – ППРЧ [15]. Частоту первого гетеродина на приемной стороне изменяют в соответствии с расширяющей кодовой последовательностью, которая задается на передающей стороне, а принятый сигнал после гетеродинирования переносят на фиксированную промежуточную частоту, где осуществляют селективную фильтрацию. К недостаткам способа приема сигналов ППРЧ можно отнести необходимость динамической скоростной перестройки фильтров (их переключение). Эти процессы не всегда позволяют получить требуемое качество фильтрации, а также усложняют приемное устройство.

Известен способ сдвоенного приема с разнесением по частоте [16], при котором на одну антенну через дуплексор подается сигнал от двух передатчиков, работающих на разных частотах, к которым через общий модулятор поступает групповой сигнал от каналообразующей аппаратуры. Приемная станция также имеет одну антенну, к которой через дуплексор подключены два приемника, настроенные на соответствующие передатчикам частоты. При определенном разnose между этими заданными частотами замирания радиосигналов на входах приемников оказываются декоррелированными, благодаря чему и обеспечивается снижение влияния помех и быстрых замираний радиосигнала на качество приема. К недостатку этого способа, можно отнести необходимость R -кратного разнесения по частоте, что требуется для повышения помехоустойчивости приема. Однако при этом должно быть R передатчиков и R приемников. К стабильности частоты возбуждателей передатчиков и гетеродинов предъявляются весьма высокие требования, при том что мощные передатчики и чувствительные приемники всегда характеризуются высокой сложностью.

Наибольший интерес, в отношении достижения цели настоящей статьи, представляет способ повышения помехоустойчивости средств радионавигации и посадки [17, 18]. Особенно необходимо выделить его применение в качестве основного режима работы маркерных радиомаяков и приводных аэродромных радиостанций для режима внутрибитовой псевдослучайной перестройки рабочих частот (ППРЧ). Повышение помехоустойчивости в условиях воздействия помех, в соответствии с данным способом, осуществляется за счет расширения спектра передаваемого сигнала за счет использования ППРЧ. Восстановление бинарных посылок на приемной стороне осуществляют путем преобразования принимаемого сигнала в исходную форму. Кроме того, длительность бинарных посылок равна отношению длительности бита к числу скачков рабочей частоты внутри одного бита, изменяющихся по псевдослучайному закону. Преобразованием принимаемого сигнала в исходную частотную форму за счет его пере-

множения с сформированным гетеродинным сигналом на частотах матрицы ППРЧ осуществляют восстановление принятого бита.

При этом способе приём сообщений осуществляется, как правило, только в автоматическом режиме. Для обеспечения помехоустойчивой связи повышают мощность передачи, для компенсации сложной помеховой обстановки в декаметровом канале. При этом использование метода анализа панорамных спектрограмм не позволяет оператору (диспетчеру) в реальном масштабе времени визуально демодулировать и декодировать группы коротких импульсов (менее 0,1 с), передаваемых на разных частотах в режиме ППРЧ. К недостаткам этого способа можно отнести увеличение вероятности обнаружения сигнала в условиях постановки преднамеренных помех. Кроме того, для использования режима ППРЧ в системе радиосвязи необходимо наличие высокоточной синхронизации необходимо [17].

Таким образом, анализ представленных выше способов, в основном, показал, что они обладают недостаточной помехоустойчивостью, а также низкой скоростью, скрытностью и необходимостью значительного усложнения аппаратуры передачи информации с учетом новых требований, предъявляемых к эволюционирующим АСС СН. Это предполагает необходимость разработки новых способов повышения помехоустойчивой передачи информации в системах контроля ТС АСС СН.

2. Применение интеллектуальных технологий в системах дистанционного контроля ТС территориально-распределенных АСС СН

В настоящее время известен ряд интеллектуальных подходов в современных системах передачи ИИ, характеризующихся высокой помехоустойчивостью, основанных на механизме динамического управления спектром. Отличительной особенностью, так называемых, интеллектуальных радиосистем является способность извлекать и анализировать информацию из окружающего радиопространства, прогнозировать изменения параметров КС и оптимально адаптировать услуги связи, предоставляемые абонентам сети к изменяющимся параметрам среды РРВ, помеховой обстановке и загрузке частотного диапазона [19-21].

Когнитивное радио. Когнитивные радиосистемы являются новой эпохой в развитии радиосвязи. Основанные на гносеологических методах, когнитивные системы связи характеризуются «интеллектуальностью» функционирования, способностью к познанию и самообучению. При этом, сами принципы когнитивности радиосистем в административном смысле включает в себя, прежде всего, вторичность использования радиочастотного спектра (РЧС), а в технологическом смысле – адаптивность радиосистем в части использования полос и номиналов радиочастот [22].

Резолюция МСЭ-R2117 («Рекомендации международного союза электросвязи по определению формата данных») устанавливает, что «...к системам когнитивного радио относятся радиосистемы, использующие технологию, позволяющую получать знания о своей среде эксплуатации и географической среде, об установившихся правилах и о своем внутреннем состоянии; динамически и

автономно корректировать свои эксплуатационные параметры и протоколы, согласно полученным знаниям, для достижения заранее поставленных целей и учиться на основе полученных результатов...».

SDR-технология. Одним из перспективных направлений развития систем радиосвязи является использование SDR-технологий, обуславливающих создание радиоприемных устройств (РПУ) с системой графического отображения сигналов в виде спектрограммы, что способствует повышению помехоустойчивости, помехозащищенности, и, в целом, эффективности их функционирования. К таким РПУ могут быть отнесены цифровые радиоприемники декаметрового диапазона (ДКМ) волн, работающие под управлением компьютер. Согласно МСЭ-R2117, «...SDR – это устройство с программируемыми параметрами: передатчик и/или радиоприемное устройство, использующие технологию, позволяющую с помощью программного обеспечения установить или изменить рабочие радиочастотные параметры, включая, в частности, диапазон частот, тип модуляции или выходную мощность...» [18].

Известно, что в АСС СН, значительное внимание уделяется средствам «прямой» радиосвязи, обеспечивающим возможности оперативного обмена информацией между абонентами минуя каналы и линии первичной сети связи и сетей связи общего пользования. К классу таких средств относятся линии ДКМВ радиосвязи, которые находят широкое применение практически во всех звеньях управления, что обусловлено возможностью доведения информации на дальние и сверхдальние расстояния, а также сравнительно низкая стоимость и компактность технических средств ДКМВ радиолиний.

Особое место ДКМВ радиосвязь занимает при организации обмена данными между удаленными абонентами гражданских и военных ведомств, например, для организации связи с абонентами в труднодоступных районах, доведения команд, сигналов до объектов СН и решения ряда других специальных задач. Кроме того, ДКМВ радиосвязь имеет важное значение как резервный вид связи. Поэтому поиск путей, основанных на применении SDR-технологий, требует модернизации принципов помехоустойчивой передачи (обмена) информации в ДКМВ радиолиниях и является основой эффективного развития АСК территориально-распределенных комплексов связи АСС СН.

Для ДКМВ канала характерно наличие помех естественного и искусственного происхождения, а также искажение принимаемого сигнала из-за эффекта «многолучёвости», что приводит к снижению вероятности приёма сообщений в автоматизированных радиосистемах. С учётом этого для помехоустойчивой передачи сообщений в ряде случаев применяется параллельная передача: передача по автоматизированной радиолинии с соответствующей сигнально-кодовой конструкцией (СКК), а также передача текста в коде «азбуки Морзе» с последующим его приёмом автоматически или дежурным оператором в «слуховом режиме». Это связано с тем, что система слухового восприятия человека способна адаптироваться к посторонним шумам и определять наличие полезного сигнала даже при отношении сигнал/шум (ОШ) менее 1.

Вместе с тем, зрительное восприятие человеком заранее заданного образа (геометрической фигуры, отрезка линии и т.д.) обеспечивается при потере или

искажении до 90 % элементов изображения, в результате воздействия помех (шумов) на его фрагменты, позволяя отождествить оставшиеся элементы изображения с заданным образом [18, 23].

Проведенные на реальных радиотрассах исследования [18] показали, что визуальный приём сигналов азбуки Морзе, с использованием приёмника, отображающего на мониторе временную spectrogramму сигнала, позволяет зрительно зарегистрировать передаваемую информацию, даже в том случае, когда в слуховом режиме приём уже невозможен из-за слишком низкого ОСШ. Визуализация сигнала, т.е. его графическое отображение на экране монитора в реальном масштабе времени является эффективным средством повышения помехоустойчивости систем связи. Для разработчиков это является возможностью для проведения новых исследований СКК и их визуального восприятия, а также создания на их основе новых способов передачи и приёма сообщений.

Таким образом, существующие интеллектуальные способы приема (передачи) информации, с последующим графическим распознаванием сигнала позволяют использовать их совместные комбинации, а также осуществить разработку новых СКК с целью повышения помехоустойчивости в системах дистанционного контроля комплексов связи территориально-распределенной АСС СН.

3. Способы повышения помехоустойчивости дистанционного контроля ТС территориально-распределенной АСС СН

Предлагаемые способы повышения помехоустойчивости дистанционного контроля ТС территориально-распределенной АСС СН основаны на применении новой СКК передаваемых аварийных сигналов с использованием SDR-технологии.

3.1. Способ повышения помехоустойчивости дистанционного контроля ТС территориально-распределенной АСС СН

Предлагаемый способ повышения помехоустойчивости дистанционного контроля ТС территориально-распределенных комплексов связи СН заключается в последовательности действий, представленных в виде алгоритма (рис. 1), относительно процесса передачи (приема) аварийных сигналов с удаленного терминала, находящимся непосредственно на контролируемом комплексе связи и, представляющим собой датчики и контроллеры сенсорного уровня системы дистанционного контроля, в главный терминал для последующей обработки и принятия соответствующих решений.

В начале формируют пакеты аварийных сигналов в виде бинарных посылок и передают их на заданном интервале времени. Их прием осуществляется автоматически или в ручном режиме с отображением spectrogramмы на экране монитора автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора (диспетчера). При этом, бинарные посылки при передаче представляют в виде отрезков ЛЧМ сигналов с линейно возрастающим или линейно убывающим законами изменения частоты в зависимости от значения бинарной посылки «0» или «1», а при

приеме – в виде элементов с различными градиентами² наклона, несовпадающими с градиентом прямых, отображающих сосредоточенные помехи на спектрограмме в плоскости «время-частота», что отображается на экране монитора АРМ ДПУ.

Далее принятый бит аварийного сигнала (при работе АСК в режиме ТлС) или информационного сообщения (при работе АСК в режиме ТИ) подлежит декодированию по заданному образцу из двоичного алфавита (согласно базы образов), а после этого по принятой бинарной последовательности – идентификации знака сообщения (автоматически или по зрительному образцу).

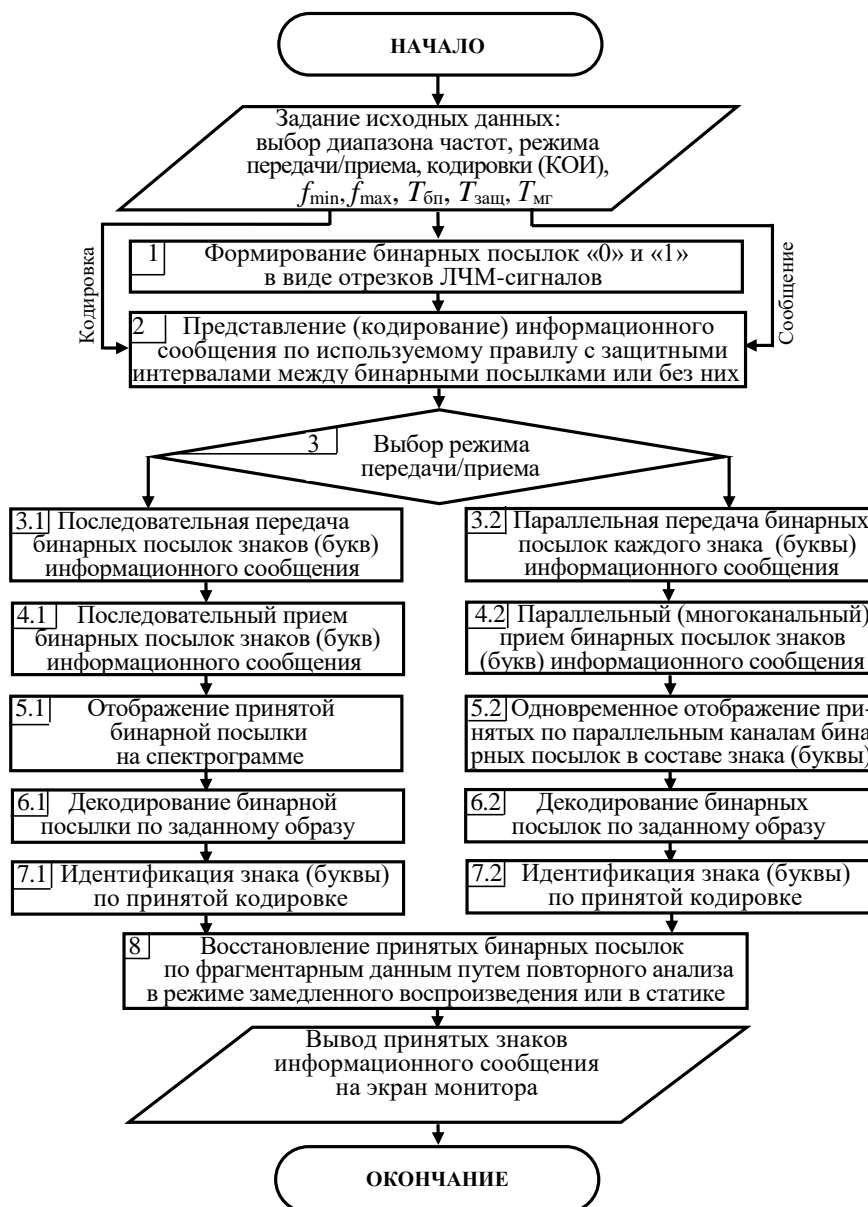


Рис. 1. Алгоритм повышения помехоустойчивости дистанционного контроля ТС комплексов связи территориально-распределенной АСС СН

² 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).

Повышение помехоустойчивости дистанционного контроля осуществляется за счет введенной последовательности действий, основанной на применении автоматической и визуальной идентификации аварийных сигналов (ТИ-ТлС), передаваемых от удаленных комплексов связи бинарных посылок, существенно отличающихся от отображения сосредоточенных и шумовых помех, что отображается на спектрограмме при приеме. Также, в случаях ошибочного распознавания, при автоматическом приеме, повышение помехоустойчивости осуществляется за счет идентификации оператором ДПУ соответствующих отличий бинарных посылок по зрительному образу.

В целом, этот способ повышения помехоустойчивости систем дистанционного контроля ТС комплексов связи территориально-распределенной АСС СН сводится к алгоритму, который представлен на рис. 1 и описывается на следующими действиями, разграниченными на 8 этапов.

На этапе 1, на удаленном терминале АСК контролируемых комплексов связи в формирователях сигналов передающих устройств осуществляется формирование бинарных посылок («0» и «1») в виде отрезков ЛЧМ-сигналов с линейно возрастающим $S_{\text{ЛЧМ}}^{0''}(t) = S_0 \cos\{\varphi_0 + \varphi(t)\} = S_0 \cos\{\varphi_0 + 2\pi[f_0 t + (b/2)t^2]\}$ и линейно убывающим $S_{\text{ЛЧМ}}^{1''}(t) = S_0 \cos\{\varphi_0 - \varphi(t)\} = S_0 \cos\{\varphi_0 - 2\pi[f_0 t + (b/2)t^2]\}$ законами изменения частоты (рис. 2 а, б), где S_0 – амплитуда сигнала, $b = (f_{\text{max}} - f_{\text{min}}) / T_c$ – параметр равный скорости изменения частоты во времени, $f_0 = (f_{\text{max}} + f_{\text{min}}) / 2$ – центральное значение несущей частоты, T_c – длительность сигнала, φ_0 – начальная фаза, а f_{max} и f_{min} – максимальное и минимальное значения частот радиосигнала. Процесс формирования сигналов с данным видом модуляции известен и подробно описан, например, в [24]. ЛЧМ-сигналы, формируемые по линейно возрастающему (логический «0») и линейно убывающему (логическая «1») законам изменения частоты приведены соответственно на рис. 2 в, г и отображаются в частотно-временной плоскости наклонными линейными отрезками с положительной и отрицательной крутизной наклона (градиентом) линейного изменения закона модуляции, рис. 3 а, б.

На этапе 2 (рис. 1) сформированные последовательности логических «0» или «1» для передачи знаков аварийного сигнала (в режиме ТС) или информационного (в режиме ТИ) с удаленного терминала АСК представляют таким образом, что время передачи любой бинарной посылки $T_{\text{бит}}$ сопоставимо с временем передачи «точки» (70 мс) (рис. 3 а) в режиме АТ при передаче кода азбуки Морзе. При этом необходимо учесть, что «тире» в режиме АТ при передаче кода азбуки Морзе передается в три раза длиннее «точки» (210 мс), защитный интервал $T_{\text{защ}}$ между «точками» и «тире» (бинарными посылками) внутри одного знака равен периоду передачи «точки», а межгрупповой интервал $T_{\text{мг}}$ (между знаками информационной последовательности) равен длительности «тире».

В данном способе предлагается сократить время для передачи удаленным терминалом АСК бинарной посылки, увеличив при этом скорость передачи аварийного сигнала, поскольку в ДПУ возможно принятую бинарную последовательность анализировать как в режиме реального времени в автоматическом

режиме, так и при работе штатных радиостанций с записью и последующим изменением скорости воспроизведения, а также в статике (в сложной помеховой обстановке, когда автоматический прием невозможен). Кроме того, передачу бинарных посылок внутри информационного знака можно осуществлять как с защитным интервалом $T_{\text{защ}}$ (рис. 3 б), так и без него (рис. 3 в), что дает дополнительный выигрыш $T_{\text{в}}$ в передаче знака. Это необходимо для ранней идентификации развития аварийной ситуации на объектах контроля (комплексах связи СН).

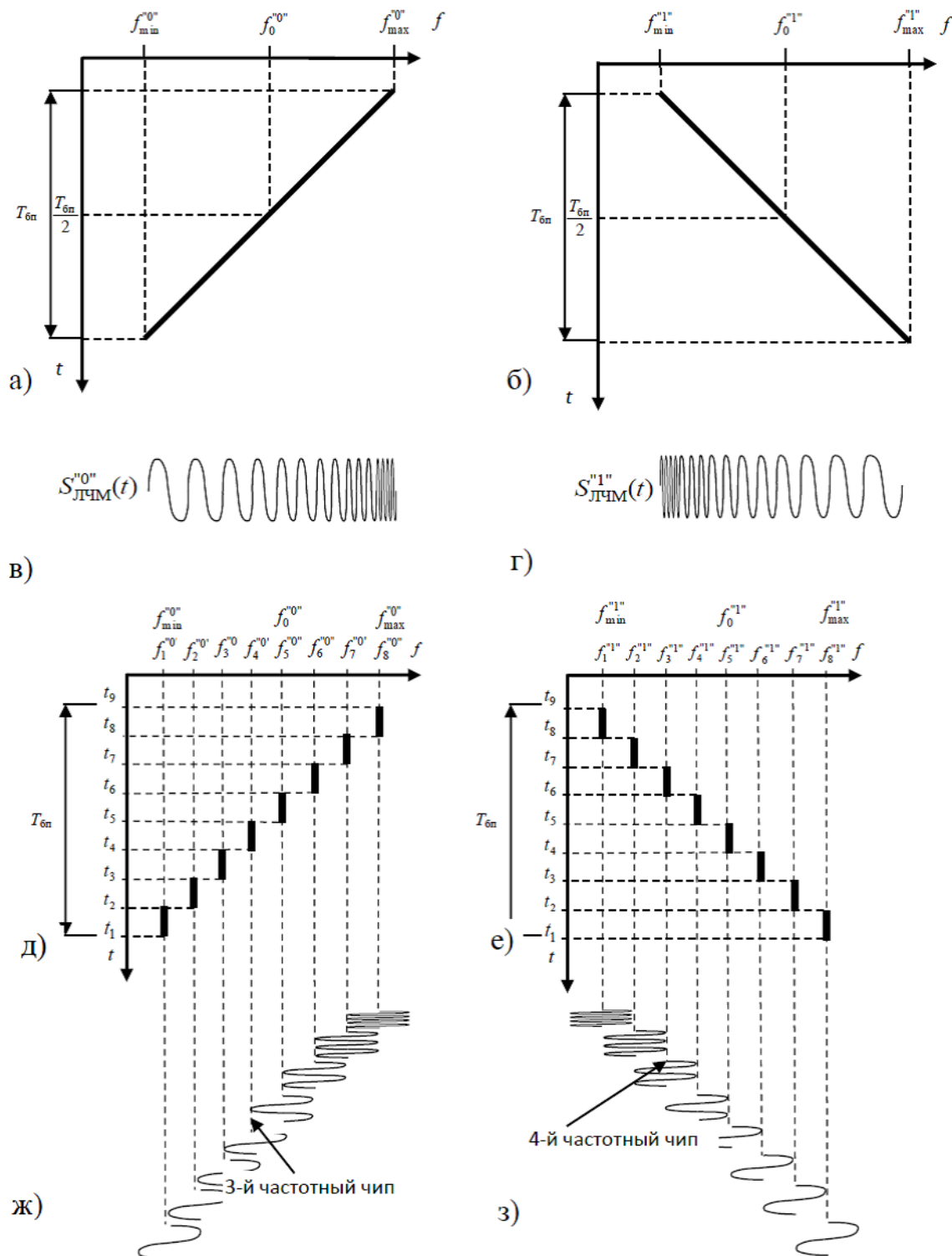


Рис. 2. Характеристики ЛЧМ-сигнала

На рис. 2 обозначены: а) частотно-временная характеристика (ЧВХ) аварийного ЛЧМ-сигнала удаленного терминала АСК с законом линейно возрастающего изменения частоты (в); б) ЧВХ аварийного ЛЧМ-сигнала удаленного терминала АСК с законом линейно убывающего изменения частоты (г); д) ЧВХ аварийного многочастотного дискретного сигнала удаленного терминала АСК с законом линейно возрастающего изменения частоты (ж); е) ЧВХ аварийного многочастотного дискретного сигнала удаленного терминала АСК с законом линейно убывающего изменения частоты (з).

Межзнаковый интервал внутри информационного сообщения необходимо оставить, но также сократить его по сравнению с режимом передачи азбуки Морзе, поскольку полное его отсутствие потребует ввода дополнительной системы синхронизации для эффективной идентификации знаков на приемной стороне. Для примера, на рис. 3 показана сравнительная оценка выигрыша в скорости передачи знаков информационной последовательности. На рис. 3 обозначены: а) при передаче информационных сигналов АТ (в коде Морзе); б) при передаче бинарных посылок в виде отрезков ЛЧМ-сигналов с защитными интервалами между ними; в) при передаче бинарных посылок в виде отрезков ЛЧМ-сигналов без защитных интервалов между ними; г) при передаче бинарных посылок в виде многочастотного дискретного сигнала (ДЧМ) с защитными интервалами между ними; д) при передаче бинарных посылок в виде многочастотного дискретного сигнала (ДЧМ), без защитных интервалов между ними, позволяющего обеспечить работу в режиме ППРЧ. Так, при времени передачи бинарных посылок предлагаемым способом ($T_{\text{бп}} = 80$ мс), величине защитного интервала между ними ($T_{\text{защ}} = 20$ мс) и величине защитного интервала между знаками (группами бинарных посылок) ($T_{\text{мг}} = 40$ мс) (рис. 3 б) величина выигрыша в скорости передачи группы бинарных посылок (знака) по сравнению с вариантом передачи азбуки Морзе в режиме АТ (рис. 3 а) составит более чем в два раза – 600 мс, а в случае отсутствия защитных интервалов между бинарными посылками внутри знака (рис. 3 в) составит еще больше – 680 мс. Следовательно, и скорость передачи увеличится.

Длительность бинарных посылок и межзнаковых интервалов аварийных сигналов (ТИ-ТС), формируемых на удаленном терминале АСК можно уменьшать и далее, а скорость передачи наращивать, поскольку современные радиоприемные устройства на SDR-технологиях позволяют вести запись принимаемой бинарной последовательности с последующим анализом и идентификацией на медленной скорости воспроизведения или в статике.

На этапе 3 (рис. 1) осуществляется передача сформированных ЛЧМ-сигналов известными в радиотехнике способами [12, 16]. При этом осуществляют согласование частотных характеристик разверток для каждой несущей $S_{\text{ЛЧМ}}^{00}(t)$ и $S_{\text{ЛЧМ}}^{11}(t)$ (рис. 2 а, б) в отношении их длительности $T_{\text{бп}}$ в соответствии с условиями канала передачи (для радиоканалов со сложной помеховой обстановкой $T_{\text{бп}}$ может быть увеличена). После чего на интервале $T_{\text{бп}}$ модулируют информационный сигнал несущей частотой, линейно изменяющейся от f_{min} до

f_{\max} или наоборот, в зависимости от передаваемой информационной бинарной посылки «0» или «1» и передают сформированный сигнал.

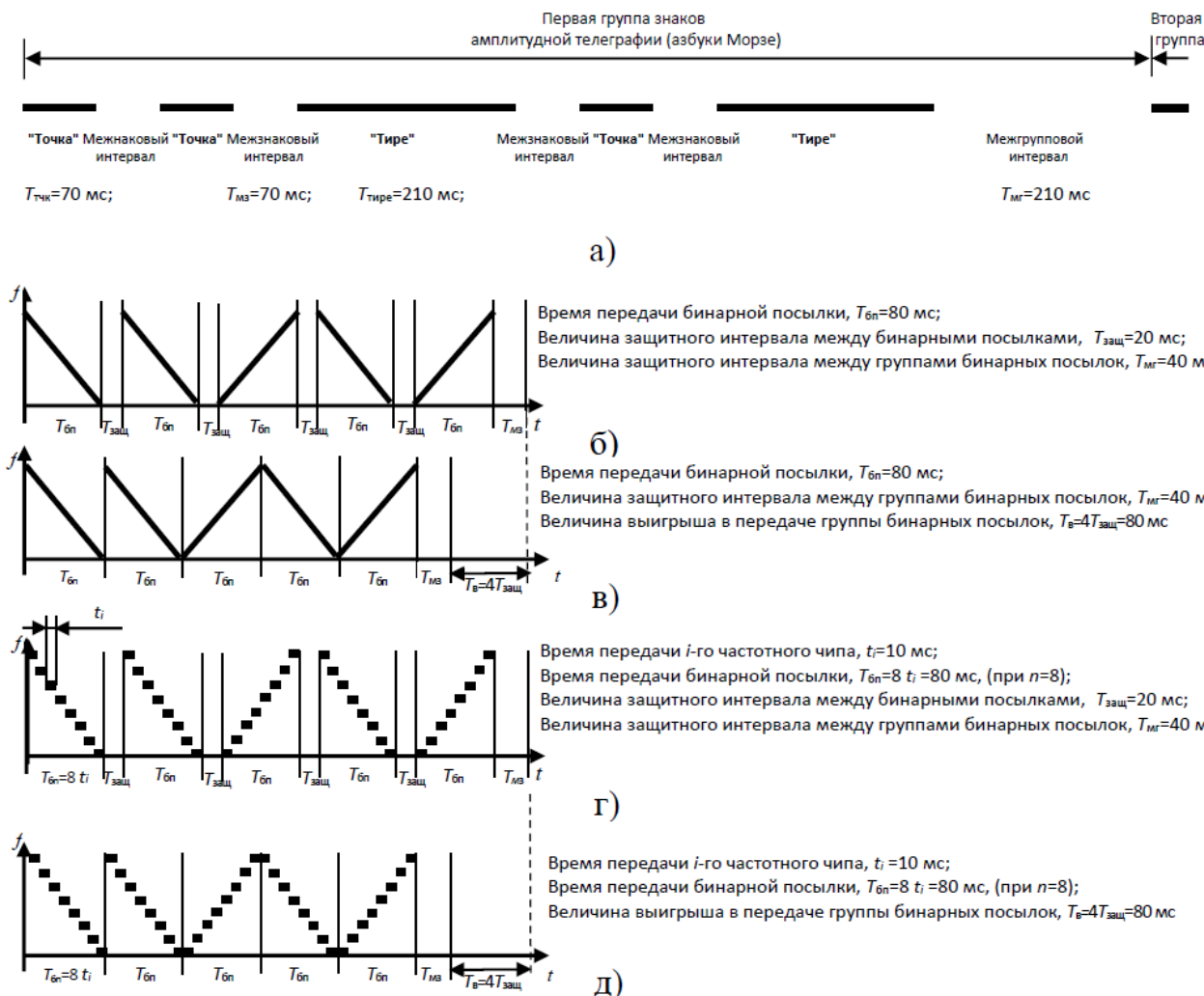


Рис. 3. Сравнение величин выигрыша в скорости передачи группы бинарных посылок (знака) при формировании аварийных сигналов на ОК (при работе АСК в режиме ТС)

На этапе 4 (рис. 1) прием аварийного сигнала на главном терминале (ДПУ) осуществляют также известными в радиотехнике способами [12, 16]. При этом после фильтрации сигнала осуществляют согласование с ЛЧМ 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 фильтровых систем по одиночке, параллельно в блоке, в случае необходимости комбинируя их друг с другом с целью восстановления, или из-

влечения, или выделения параметров, несущих информацию. Для этого могут применяться способы, известные из общедоступных источников по цифровой обработке сигналов [25].

На этапе 5 (рис. 1) осуществляют отображение принятых бинарных посылок аварийного сигнала ОК (в режиме ТлС), а также информационного сигнала при работе удаленного терминала в режиме ТИ на экране монитора АРМ оператора (программно-аппаратного комплекса) ДПУ.

Для режекции 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 [26, 27].

На этапе 6 (рис. 1) отображенную на экране монитора оператора ДПУ бинарную посылку декодируют, ставя ей в соответствие заданный образ из двоичного алфавита «0» или «1». Необходимо отметить, что во всех используемых до настоящего времени ЛЧМ несущих частотные градиенты устанавливаются слишком малыми (около $\pm 20^\circ$ от вертикали развертки типа «водопад»), поэтому, при передаче данных, для эффективного декодирования оператором принятых бинарных посылок, а также для получения наилучшего технического результата по повышению помехоустойчивости и различимости информационных «0» и «1» величину градиента отображаемых на экране монитора бинарных посылок с линейно возрастающим или линейно убывающим законами изменения частоты необходимо поддерживать около $\pm 45^\circ$ от вертикали, как показано на рис. 2 а, б. Поскольку только противоположные градиенты наклона, близкие к $\pm 45^\circ$ от вертикали (горизонталь) в отображении бинарных посылок наиболее различимы нейронной сетью головного мозга оператора при идентификации, в том числе и в условиях помех. Это доказано продолжительной исторической практикой с использованием «карт Зенера» [28], в соответствии с которой наиболее различимыми фигурами для лучшего зрительного восприятия человеком являются: «X», «/», «\», «○», «□», «☆», «≈». Причем отображение градиентов «/» «\» (отрезков с противоположной крутизной наклона) на экране монитора, фиксирующих линейно убывающий (возрастающий) законы изменения частоты можно менять путем регулировки скорости развертки в ручном режиме оператором на главном терминале (ДПУ), придерживаясь оптимальной величины в 45° .

На этапе 7 (рис. 1) осуществляют идентификацию (распознавание) знака (буквы) принимаемого сообщения с априори известной по базе данных (базе фильтров) в автоматическом режиме или непосредственно оператору (диспетчеру) ДПУ кодировкой (МТК-2, КОИ-8 и др.) в режиме реального времени. Причем, обычно, при нормальном изображении, целостность восприятия фор-

мируется эмпирически, а при недостаточно полном отображении действительности у оператора включается мыслительная деятельность. Фрагментарность зрительных представлений проявляется в том, что в образе объекта зачастую отсутствуют многие существенные детали, что в значительной мере преодолевается благодаря развитию навыков зрительного обследования объектов в совокупности с деятельностью мышления при формировании целостного образа объекта в сумме его свойств: фрагментарность восприятия, схематизм, неточное отражение в сознании внешнего мира. Если к этому процессу добавляется еще один канал восприятия – слух человека, процесс отображения объекта в сознании внешнего мира значительно улучшается. При этом визуальная идентификация принимаемой информации в неавтоматическом режиме значительно увеличивает скорость приема по сравнению с используемым до настоящего времени слуховым приемом. Поскольку слух человека принципиально не позволяет из радиоэфира принимать знак в целом. В то же время визуально оператору (диспетчеру) проще идентифицировать (читать) принимаемый текст познательно. Визуальная идентификация принятого знака при этом осуществляется в целом, так называемыми «образами». Как отмечается в [29], мозг человека позволяет идентифицировать известный заранее зрительный образ всего за 13 мс, и с высокой вероятностью восстанавливает весь образ (фигуры, отрезка линии и т. п.) целиком при сохранившихся всего лишь 10% его элементов на фоне визуальных помех. При этом прием информации визуальным способом с использованием кода МТК-2 фактически повышает скорость приема в пять раз в сравнении с слуховым приемом каждой бинарной посылки знака (буквы используемого алфавита) отдельно и последовательно.

На этане 8 (рис. 1) в случае сложной помеховой обстановки, а также при высокой скорости передачи и малой длительности бинарных посылок аварийного сигнала удаленного терминала в режиме ТлС, по сохраняемой в цифровой форме спектрограмме осуществляют восстановление принятых бинарных посылок в информационной последовательности по фрагментарным данным путем повторного визуального анализа в режиме замедленного воспроизведения или в статике. Фактически заявленный способ пригоден для передачи любой двоичной информации с любой скоростью, поскольку все современные средства имеют возможность записи (сохранения в карте памяти) для дополнительного просмотра и восстановления информации. При этом сохраненный сигнал, переданный с высокой скоростью, может быть проанализирован (визуально просмотрен) и восстановлен в группе сообщения как познательно (буквы, цифры, знаки) в целом, так и поэлементно (побитно) в статике или на медленной скорости воспроизведения. Причем восстановление информации по видеоизображению возможно при значительном превышении уровня сигнала над уровнем помех, когда исключена возможность автоматического приема или приема на слух (при использовании азбуки Морзе). На спектрограммах рис. 4 приведены возможности визуальной идентификации сигналов азбуки Морзе (АТ) при попадании «точек» и «тире» рядом с шумовой помехой (рис. 4 а), под сосредоточенной помехой (рис. 4 б) и под шумовыми помехами (рис. 4 в, г). При этом в условиях помеховой обстановки, представленной на рис. 4 а пока еще возможен

слуховой прием, а в случаях, представленных на рис. 4 б-г, слуховой прием невозможен.

Вариант восстановления бинарных посылок в заявленном способе приведен на рис. 5. Так сигнал (левый и правый градиент наклона бинарных посылок) явно просматривается в режиме реального времени на свободном от помех и шумов участке диапазона частот в центральной части спектрограммы рис. 5 в, в отличие от использования сигнала с унаследованной структурой при соотношениях сигнал/помеха ≈ 0 дБ (рис. 5 а) и сигнал/помеха ≈ -40 дБ (рис. 5 б). При переносе передачи сигнала заявленным способом в полосу частот, занятую мощной сосредоточенной помехой левый и правый градиент наклона бинарных посылок также легко восстанавливается визуально, что продемонстрировано на рис. 5 в, несмотря на превышение мощности помехи над сигналом на $h_{\text{п}} = -40$ дБ (таблица 1).

Таблица 1 – Соотношение уровня сигналов и помех в АСК

ОСШ, дБ (относительно «несущей» помехи)	автоматический режим	слуховой режим	визуальный режим
0	0	0	0
-20	3-5	1-2	0
-40	неустойчивый прием	неустойчивый прием (более 20)	неустойчивый прием (более 10)

При использовании дискретно-частотно-модулированных сигналов количество частотных чипов внутри сформированной бинарной посылки может достигать десяти и более в зависимости от состояния радиоканала или от преднамеренного воздействия. Так на рис. 2 д, е показаны информационные бинарные посылки, состоящие из восьми частотных чипов, что значительно повышает помехоустойчивость заявленного способа, поскольку вероятность одновременного глубокого замирания сигнала на такой полосе частот значительно меньше вероятности столь же глубоких замираний в полосе частот каждого передаваемого частотного чипа в отдельности.

Минимальное количество частотных чипов, необходимых для уверенного (надежного) восстановления (с определением градиента наклона линейно убывающего или возрастающего законов дискретного изменения частоты) на приемной стороне при визуальном восприятии оператором информации, равно двум. Это определяется тем, что любой наклон отрезка можно определить всего по двум его точкам. Даже при наличии глубоких замираний, поражающих весь частотный чип (или несколько чипов), входящий в бинарную информационную посылку, для ее визуального восстановления на приемной стороне достаточно уверенного восстановления (распознавания) всего двух чипов, по которым возможно определить градиент наклона бинарной посылки. На рис. 6 представлен вид отображения на спектрограмме варианта визуального восстановления бинарной посылки по фрагментарным данным при приеме четырех (а), трех (б) и двух (в, г, д) частотных чипов (элементов бинарных посылок) в условиях слож-

ной помеховой обстановки. При этом вертикальные сплошные и пунктирные линии соответствуют на спектрограмме мощным сосредоточенным помехам.

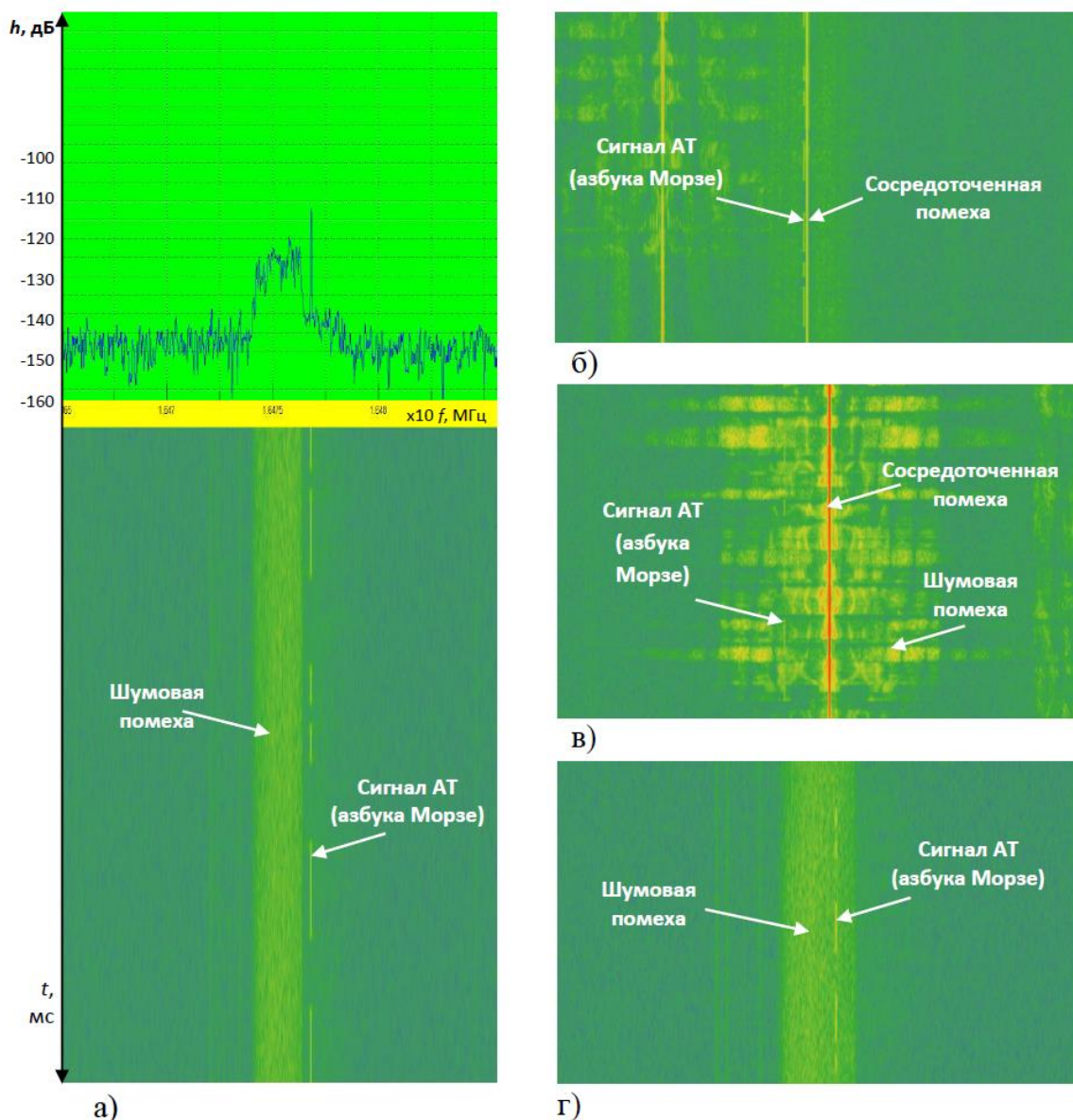
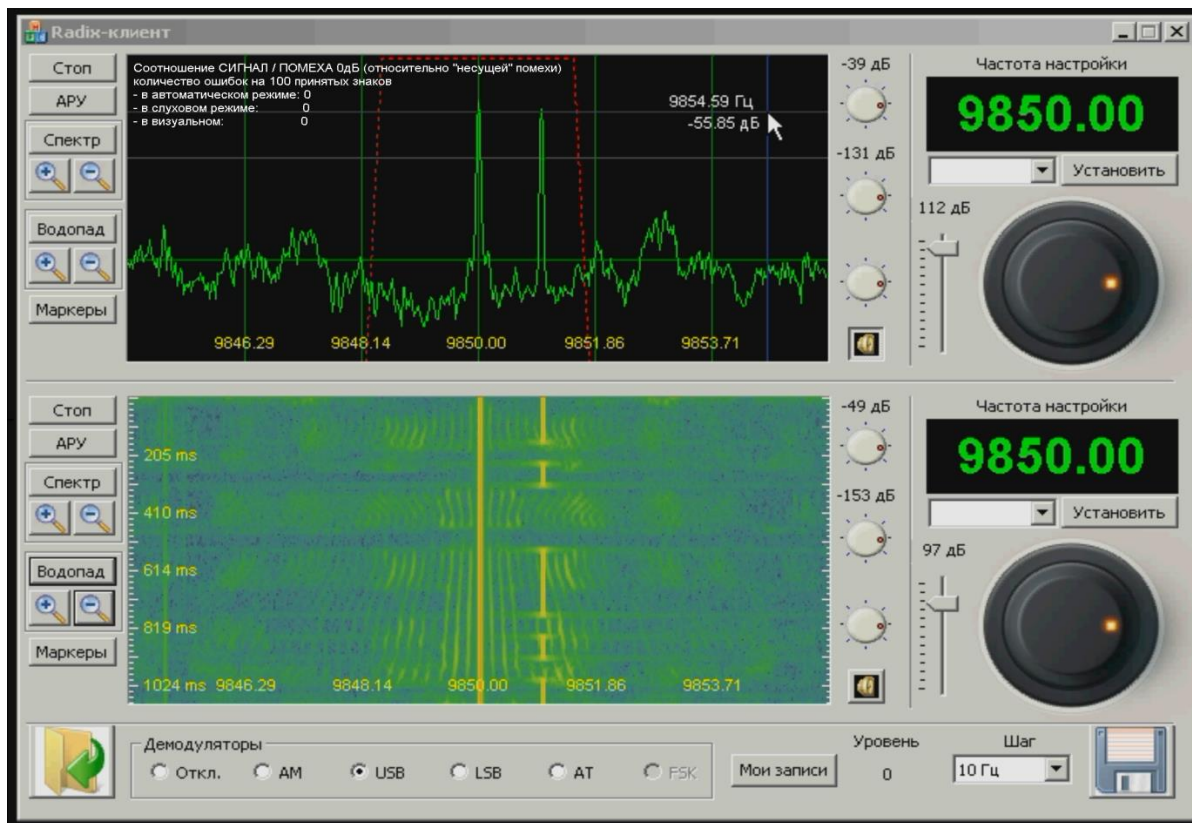
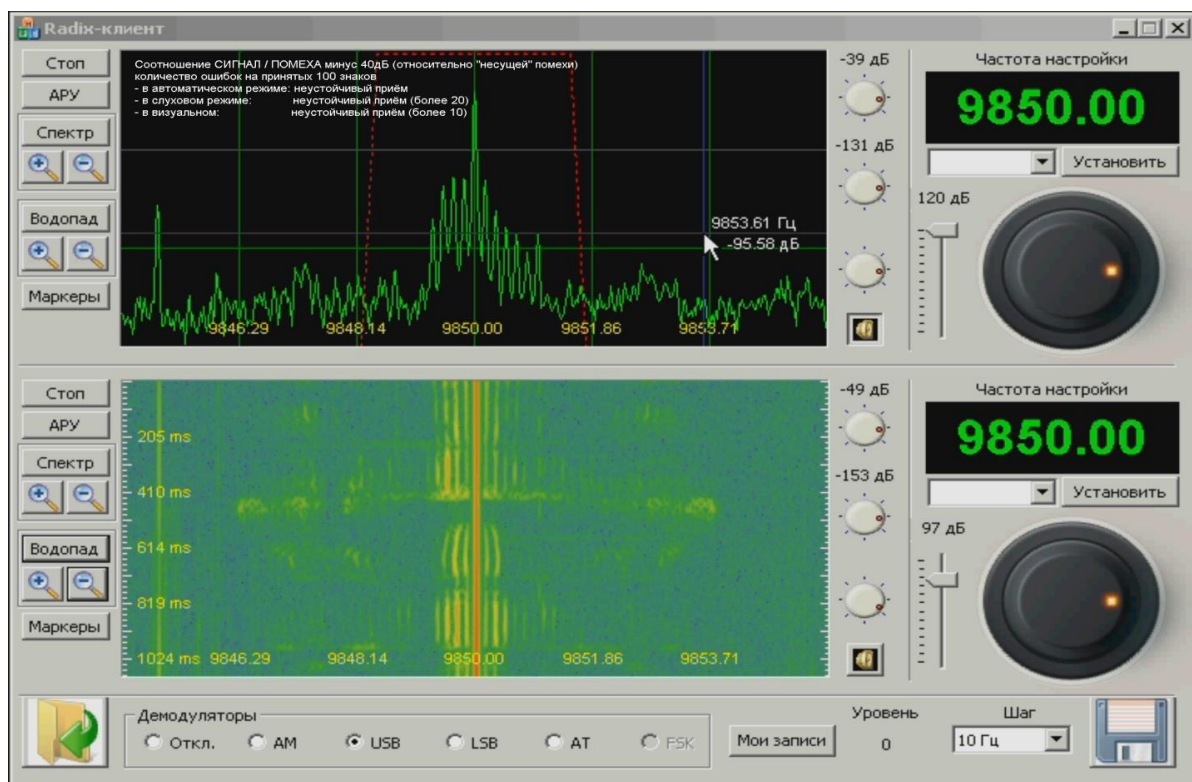


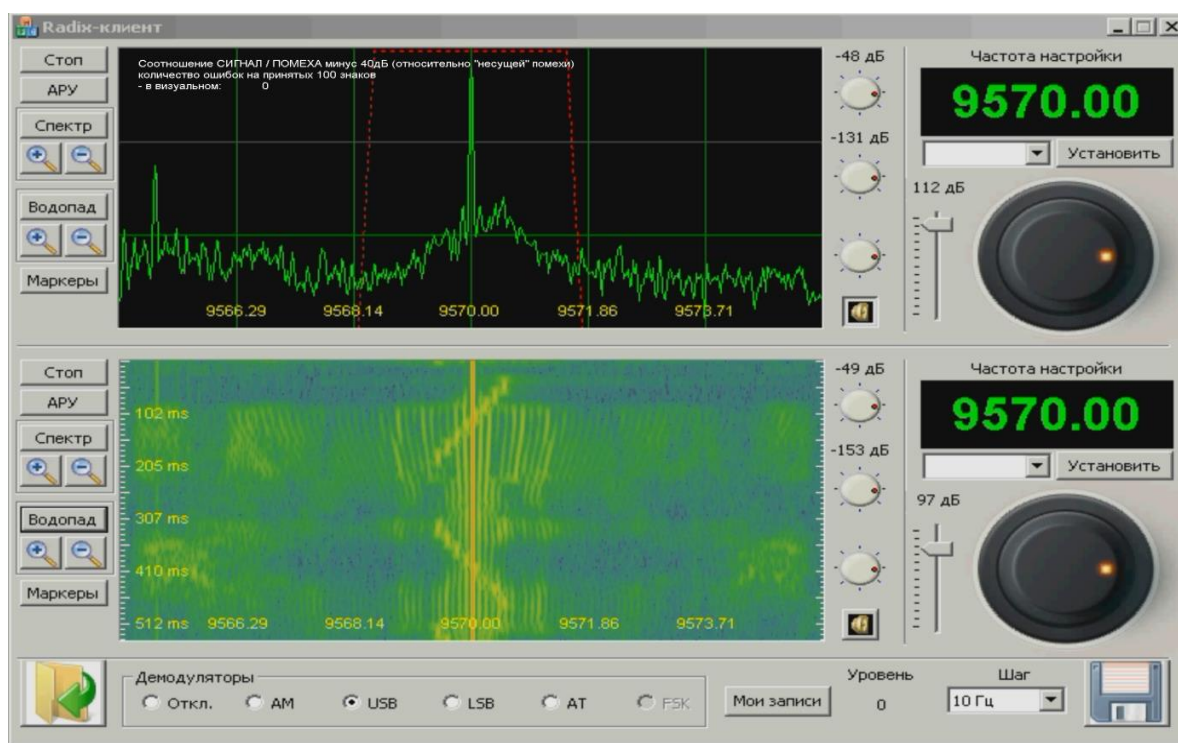
Рис. 4. Вариант визуализации сигналов АТ (в коде Морзе) в условиях сосредоточенных и шумовых помех: а) АЧХ и спектрограмма сигнала АТ рядом с шумовой помехой; б) спектрограмма сигнала АТ рядом с сосредоточенной помехой; в) спектрограмма сигнала АТ под мощными шумовой и сосредоточенной помехами; г) спектрограмма сигнала АТ под шумовой помехой



а) ОСШ \approx 0дБ;



б) ОСШ \approx -40дБ;



в) ОСШ ≈ -40 дБ (для СКК)

Рис. 5. Вариант идентификации бинарных посылок в виде ЛЧМ-сигнала: а) без помех ($h_{\text{ш}} = 0$ дБ); б) в условиях мощной сосредоточенной помехи с уровнями помехи и сигнала $h_{\text{ш}} = -40$ дБ; в) отображение сигнала с новой СКК при $h_{\text{ш}} = -40$ дБ

Таким образом, *техническим результатом, достигаемым с помощью предлагаемого способа повышения помехоустойчивости в АСК ТС комплексов связи, является:*

- повышение помехоустойчивости аварийных сигналов (ТИ-ТЛС) в АСК, ТМС к сосредоточенным по спектру помехам;
- обеспечение равновероятного приема ЛЧМ-сигнала «точки» и «тире» в смысле одинаковой помехоустойчивости (в коде Морзе, передаваемом в унаследованном режиме АТ, помехоустойчивость «точки» и «тире» различная. Из-за воздействия сосредоточенной помехи «точка» может трансформироваться в «тире». Для ЛЧМ-сигнала такой трансформации произойти не может);
- повышение различимости слухового фона при приеме «точки» и «тире»;
- возможность применения на унаследованных средствах связи (старого парка) исходя из классического определения, что широкополосный сигнал не создает шумов для узкополосного;
- простота реализации автоматического приема ЛЧМ сигналов аварии на ДПУ (ПУ различных звеньев управления связью) с использованием согласованной фильтрации;
- совместимость ЛЧМ сигналов аварии с радиолиниями другого (унаследованного) класса;

- расширение степени свободы в способах приема аварийных сигналов (удаленных терминалов АСК) для оператора ДПУ: автомат-слух-видео (в мирное время работает автоматический прием аварийных сигналов, но в особый период при преднамеренном воздействии ДФ на АСС, добавляется возможность слухового или визуального приема в ДПУ);
- простота организации работы АСК средств связи по допусковому контролю таких параметров опознавательных ЛЧМ сигналов как скважность их следования, уменьшение глубины модуляции (градиента наклона «точек» и «тире») и пр.

3.2. Способ повышения помехозащищенности дистанционного контроля ТС территориально-распределенной АСС с использованием режима «быстрой» ППРЧ

Передача аварийных сигналов в режиме перестройки рабочих частот по псевдослучайному закону (ППРЧ) может использоваться в системах дистанционного контроля ТС комплексов связи территориально-распределенной АСС СН, при передаче данных контроля по ДКМ радиолиниям [17, 30] в целях повышения помехозащищенности. Это обусловлено снижением влияния случайных и преднамеренных помех на функционирование таких РЛ, а также уменьшением вероятности группирования ошибок в принимаемых сообщениях, вызванных наличием глубоких замираний сигнала в КС. В работе [13] отмечено, что дополнительное повышение качества приема при сохранении скорости передачи сообщений в целом может быть достигнуто при использовании многоканальной радиолинии с параллельным излучением узкополосных (сверхузкополосных) сигналов (элементов сообщения) в режиме ППРЧ.

В начале формируют аварийный сигнал (бинарную посылку) в виде многочастотного дискретного сигнала, состоящего из n чипов, в котором каждый его i -й частотный чип $i = \overline{1, n}$ передают на частоте псевдослучайного кода, а на ДПУ их принимают и восстанавливают путем преобразования принимаемого сигнала в исходную частотную форму. Причем, при передаче несущие колебания частот «точек» и «тире» $f_i^{0''}$ ($f_i^{1''}$) каждого i -го частотного чипа, сигнальной (ТлС) или информационной (ТИ) бинарной посылки «0» или «1» до частотного преобразования по псевдослучайному закону дискретно изменяют с равномерным шагом $\Delta f = f_i^{0''(1'')} - f_{i-1}^{0''(1'')} = f_{i+1}^{0''(1'')} - f_i^{0''(1'')}$, с постоянным дискретно повышающим или дискретно понижающим изменением частоты на заданных интервалах времени $T_{\text{бп}}^{0''}$ или $T_{\text{бп}}^{1''}$. Причем несущие колебания частот остаются постоянными на длительности i -го частотного чипа t_i ($f_i^{0''} = \text{const}$, $f_i^{1''} = \text{const}$). Далее осуществляют прием сигнала и обратное преобразование по псевдослучайному закону. Затем многочастотный дискретный сигнал (состоящий из n чипов) отображают в виде группы n чипов, которые воспроизводят вид бинарной посылки с соответствующим градиентом наклона на спектрограмме в плоскости «время-частота» автоматически или в режиме визуального приема. После чего принятый бит аварийного сигнала (при работе АСК в режиме ТлС) или

информационного сообщения (при работе АСК в режиме ТИ) декодируют по заданному образцу из двоичного алфавита (согласно базы образов), а после этого по принятой бинарной последовательности – идентифицируют знак сообщения (автоматически или по зрительному образу).

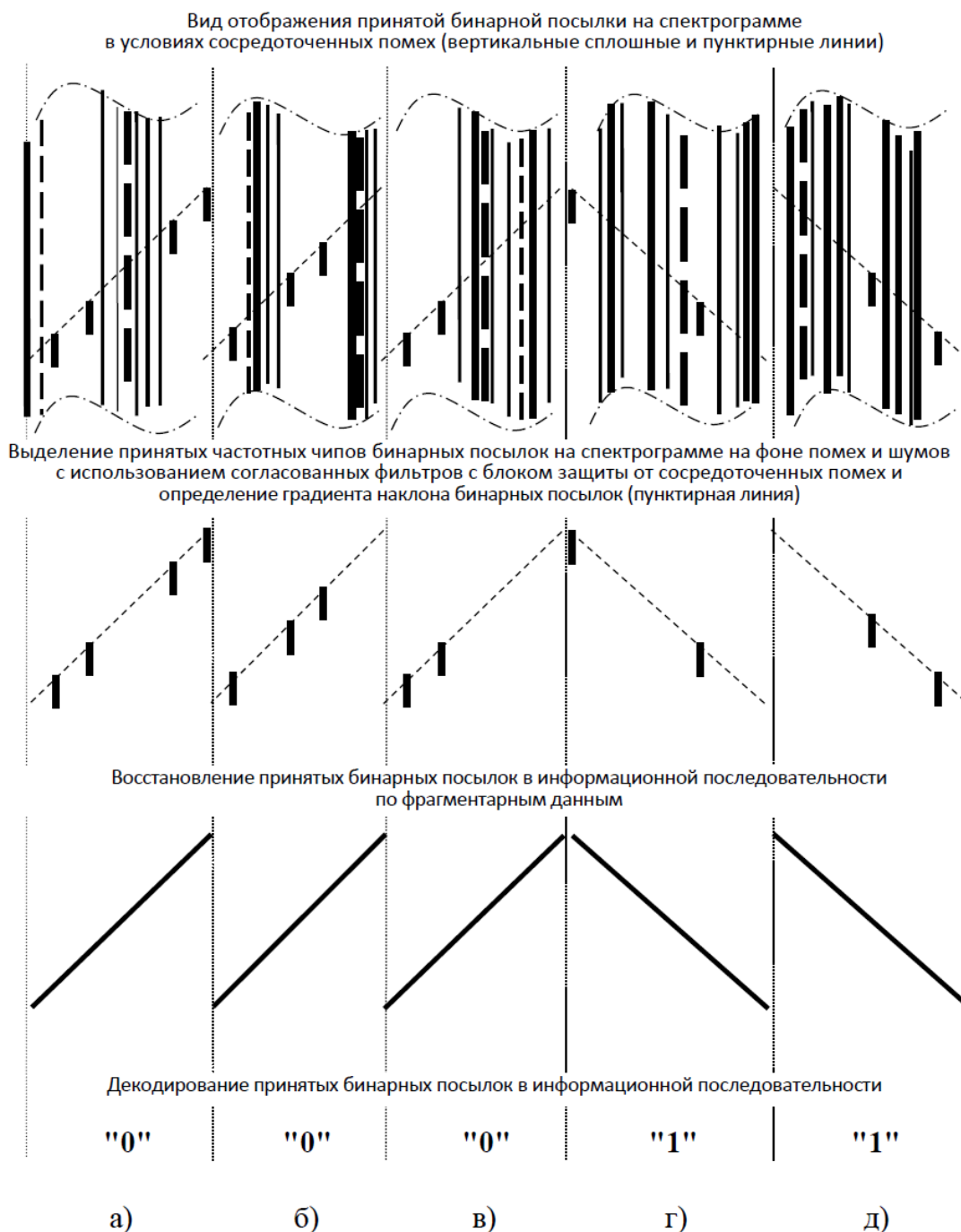


Рис. 6. Отображение на спектрограмме варианта восстановления (идентификации) бинарной посылки по фрагментарным данным при приеме четырех (а), трех (б) и двух (в, г, д) частотных чипов (элементов бинарных посылок) в условиях сложной помеховой обстановки (вертикальные сплошные и пунктирные линии соответствуют на спектрограмме мощным сосредоточенным помехам)

Повышение помехозащищенности средств дистанционного контроля осуществляется за счет введенной в нем последовательности действий, представленной в алгоритме на рис. 7 и основанной на применении автоматической и визуальной идентификации новой СКК аварийных сигналов (сигналов ТИ-ТлС удаленного терминала АСК) в режиме внутрибитовой ППРЧ с уменьшением длительности частотного чипа до времени, меньшего времени реакции системы радиоэлектронного противодействия (РЭП).

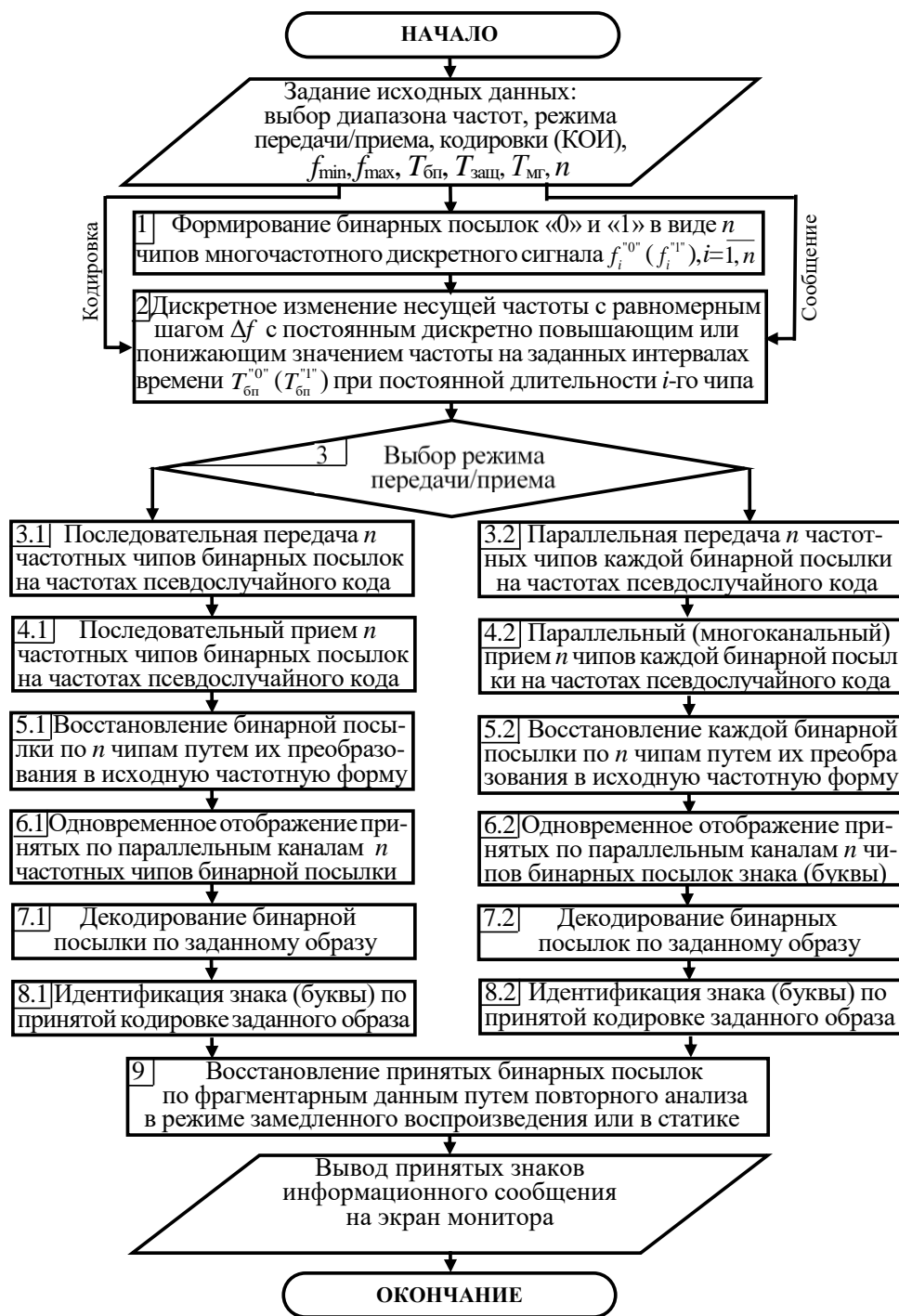


Рис. 7. Алгоритм повышения помехозащищенности дистанционного контроля ТС комплексов связи территориально-распределенной АСС СН с использованием режима «быстрой» ППРЧ

При этом обеспечение повышения помехозащищенности и фактический переход от канала с прицельной преднамеренной помехой к каналу со случайными сосредоточенными помехами с выделением «полезного» сигнала (на фоне помех) осуществляется за счет идентификации (автоматической и визуальной) принятых бинарных посылок. В случаях ошибочного распознавания, при автоматическом приеме, повышение помехозащищенности осуществляется с учетом последующей (параллельной) идентификации оператором ДПУ отличий зрительного образа бинарных посылок, согласно базе образов, от отображения помех своими градиентами наклона и другими характеристиками. Кроме того, данный процесс обеспечивает за счет доведения до нейронной сети головного мозга оператора информации, отображенной на спектрограмме (от зрительного анализатора, способного обеспечивать «трансляции в мозг» до 90 % данных контроля) [18, 24].

В целом, способ повышения помехозащищенности систем дистанционного контроля ТС комплексов связи территориально-распределенной АСС СН с использованием режима «быстрой» ППРЧ сводится к алгоритму (рис. 7) и описывается на следующими действиями, разграниченными на 9 этапов.

На этапе 1 на удаленном терминале в формирователях сигналов передающих устройств формируют бинарные посылки в виде многочастотного дискретного сигнала, в котором несущие колебания частот f_i^{00} (f_i^{11}) каждого i -го частотного чипа, $i = \overline{1, n}$, логической бинарной посылки «0» или «1» скачкообразно изменяются с постоянным повышающим или понижающим градиентом на заданном интервале времени (рис. 2 д-з), где $n = 8$).

При этом шаг скачкообразного изменения частоты Δf между чипами, формирующими передачу логического «0» или логической «1» одинаков $\Delta f = \text{const}$, ($\Delta f = f_i^{00(11)} - f_{i-1}^{00(11)} = f_{i+1}^{00(11)} - f_i^{00(11)}$). Частота передачи каждого чипа при формировании логического «0» или логической «1» внутри чипа также постоянна ($f_i = \text{const}$), в то время как увеличение частот от f_1 до f_n (от чипа к чипу) изменяется по линейному закону (по способу модуляции скачкообразного изменения частоты).

На этапе 2 (рис. 7) в сформированных на этапе 1 бинарных посылках (рис. 2 д-з) дискретно изменяют частоту модуляции через равные промежутки времени Δt (равных величине временных дискретов) для каждого из n чипов бинарной посылки «0» или «1» на заданных интервалах времени $T_{\text{бп}}^{00}$ и $T_{\text{бп}}^{11}$ с длительностью t_i каждый. Причем длительности бинарных посылок равны между собой $T_c = T_{\text{бп}}^{00} = T_{\text{бп}}^{11} = nt_i$, $i = \overline{1, n}$, длительность i -го чипа (временного дискрета) зависит от требуемой (заданной) точности идентификации сигнала в условиях различной помеховой обстановки (состояния канала радиосвязи) и должна быть меньше времени реакции системы радиоэлектронной борьбы (РЭБ) противоборствующей стороны $t_i < \tau_{\text{РЭБ}}^{\text{реакц.}}$ [31], а количество частотных чипов в бинарной послылке должно быть не менее чем отношение $n = [T_{\text{бп}} / \tau_{\text{РЭБ}}^{\text{реакц.}}]$.

Максимальное количество частотных чипов n , предназначенных для передачи бинарной посылки (логических «0» или «1»), и уверенной (надежной) их идентификации на удаленном терминале в условиях преднамеренных, аддитивных (сосредоточенных и шумовых), а также мультипликативных помех зависит от ширины выделенной полосы частот, в которой осуществляется передача аварийных сигналов (в режиме ТлС) или информационного сообщения (в режиме ТИ) с удаленного терминала АСК. Чем шире полоса частот, тем меньше вероятность попадания под помеху или в интервал селективных замираний для ДКМ КС. Полосу частот в ДКМ радиоканалах для передачи чипов, из которых формируется логический «0» или логическая «1», целесообразно выбирать больше чем коэффициент частотной корреляции в радиоканале для того чтобы не допустить попадания всей бинарной посылки под замирания. С наибольшей вероятностью селективные замирания в ДКМ радиоканале проявляются в полосе $3 \div 5$ кГц. Поэтому для защиты от замираний передаваемых частотных чипов внутри информационных бинарных посылок полосу частот для них необходимо брать $10 \div 15$ кГц.

Фактически несущие колебания частот излучения каждого i -го чипа $f_i^{0''}$ ($f_i^{1''}$) дискретно меняются с равномерным шагом $\Delta f = f_i^{0''(1'')} - f_{i-1}^{0''(1'')} = f_{i+1}^{0''(1'')} - f_i^{0''(1'')}$ с постоянным дискретно (ступенчато) повышающим или понижающим градиентом модуляции изменения частоты бинарной посылки на заданных интервалах времени $T_{\text{би}}^{0''}$ или $T_{\text{би}}^{1''}$, оставляя их постоянными внутри чипа t_i ($f_i^{0''} = \text{const}$, $f_i^{1''} = \text{const}$). Причем для передачи логического «0» из веера n частотных чипов с постоянными дискретно изменяющимися частотами $f_1 \div f_n$ формируется сигнал с линейно возрастающим законом дискретного изменения частот передачи чипов от $f_{\text{min}} = f_1 = f_1^{0''}$ до $f_{\text{max}} = f_n = f_n^{0''}$ (рис. 7 д) в логической бинарной посылке ($f_i^{0''} > f_{i-1}^{0''}$), а для передачи логической «1» из веера n частотных чипов с постоянными дискретно изменяющимися частотами $f_1 \div f_n$ формируется сигнал с линейно убывающим законом дискретного изменения частот передачи чипов от $f_{\text{max}} = f_1 = f_1^{1''}$ до $f_{\text{min}} = f_n = f_n^{1''}$ в логической бинарной посылке ($f_i^{1''} < f_{i-1}^{1''}$). Кроме того, передачу бинарных посылок внутри информационного знака можно осуществлять как с защитным интервалом $T_{\text{защ}}$ (рис. 3 г), так и без него (рис. 3 д), что дает дополнительную величину выигрыша $T_{\text{в}}$ в передаче знака.

На этапе 3 (рис. 7) для повышения помехозащищенности при передаче аварийных сигналов с удаленного терминала АСК (при режиме ТС) каждый частотный чип бинарной посылки «0» или «1» передают на частоте псевдослучайного кода, обеспечивая известный режим ППРЧ, например, как показано на спектрограмме рис. 3 д, с последующей обратной сверткой бинарной посылки в интересах получателя информации (данных контроля). При этом достигается более высокая устойчивость при передаче данных в условиях динамических помех. Причем, передача сформированных бинарных посылок осуществляется

в режиме побитовой ППРЧ [29], когда передача каждого i -й частотного чипа внутри логических бинарных посылок «0» или «1» осуществляется на частотах псевдослучайного кода $(f_i^{0("0")})_{\text{ППРЧ}}$. При этом число чипов n равно числу скачков рабочей частоты (рис. 2 д, е) внутри одной бинарной посылки и более.

На этапе 4 (рис. 7) на ДПУ принимают аварийные сигналы с удаленного терминала АСК известным способом [29] путем обработки в соответствии с установленным порядком их трансляции [12, 13] или в соответствии с частотно-временным расписанием и ППРЧ [32], целенаправленно объединяя независимые частотные элементы (чипы) бинарной посылки сигнала, распределяемые в частотно-временной области в режиме побитовой ППРЧ, путем фильтрации, оцифровки и преобразования в другую частотную форму [31, 33] путем перемножения принимаемого сигнала с сформированным гетеродинным сигналом на частотах используемого псевдослучайного кода и имеющим знак градиента частоты, противоположный знаку градиента частоты несущей волны передаваемого сигнала, так, что частота несущей волны преобразованного сигнала является постоянной, либо частотные составляющие соответствующего спектра представляют собой постоянные частоты.

На этапе 5 (рис. 7) бинарные посылки восстанавливают путем преобразования принимаемого сигнала в исходную частотную форму.

На этапе 6 (рис. 7) после приема, обратного преобразования по псевдослучайному закону и восстановлению на ДПУ бинарные посылки отображают в виде группы n чипов с определенным градиентом наклона на спектрограмме в плоскости «время-частота» в составе информационной бинарной последовательности.

Для более эффективного декодирования и идентификации оператором (диспетчером) ДПУ принятых бинарных посылок и знаков, величину градиента отображаемых на экране монитора бинарных посылок необходимо поддерживать около $\pm 45^\circ$ от вертикали, как показано на рис. 2 д, е. Это доказано изотерической практикой с использованием «карт Зенера» [28]. Вид отображения бинарных посылок на спектрограмме в плоскости «время – частота» на экране монитора оператора ДПУ приведен на рис. 5 а-в. Для отделения/очистки от помеховых составляющих принятого сигнала может использоваться фильтрация, как описано выше, на этапе 5 предыдущего алгоритма.

На этапе 7 (рис. 7) отображенную на экране монитора бинарную посылку декодируют, ставя ей в соответствие заданный образ из двоичного алфавита «0» или «1», как описано выше на этапе 6 предшествующего способа. Для повышения эффективности (автоматического или визуального) декодирования бинарных посылок следует реализовать на экране монитора в зоне отображения принимаемых импульсов «маску», осуществляющую отображение принятых сигналов с правым и левым градиентом наклона бинарных посылок. Данный подход необходим для уменьшения площади отображения сигналов, повышения скорости и вероятности правильного анализа принимаемого графического элемента сообщения (опознавательного сигнала). Причём наличие двух пространственных фильтров (ПФ) ПФ-0 для графического «0» и ПФ-1 для графического «1».

ческой «1» повысит вероятность приёма за счёт автоматически решаемой задачи сравнительной оценки правдоподобия объектов (ЭВМ или оператором (нейронной сетью мозга)).

В настоящее время все способы передачи/приема и декодирования информации, основанные на использовании режима ППРЧ требуют автоматического приема с наличием системы синхронизации. Однако в заявленном способе повышения помехоустойчивости средств дистанционного контроля при передаче/приеме и декодировании информации в режиме ППРЧ без наличия дорогостоящей системы единого времени (СЕВ) обеспечить четкую синхронизацию в радиолинии на больших расстояниях не представляется возможным, тем более при длительности передачи чипа бинарной посылки в 10-20 мс (менее времени реакции системы РЭБ $t_i < \tau_{РЭБ}^{реакц.}$) [31]. В связи с чем, в предлагаемом способе синхронизацию необходимо осуществить без установки на удаленном терминале СЕВ, а только за счет ввода в текст сообщения межзнаковых интервалов, после трансляции каждой группы частотных чипов, составляющих бинарную информационную посылку (знак, букву, цифру). Если в коде Морзе длина интервала между группами «точек» и «тире» составляет 210 мс, то при передаче сигналов заявленным способом в режиме ППРЧ данный межзнаковый интервал может быть соизмерим с временем трансляции бита (бинарной посылки) – 40-80 мс.

Отсутствие дорогостоящей СЕВ в заявленном способе является существенным преимуществом, и наряду с использованием ППФ, значительно снижающих площадь анализа частотно-временного пространства на спектрограмме автоматически или при визуальном декодировании бинарных посылок. Это позволяет вести уверенный прием аварийных сигналов и измерительной информации (ТИ-ТлС) с удаленных терминалов АСК в режиме ППРЧ не только в автоматическом, но и в неавтоматическом режимах, что особо важно при визуальном приеме и визуальном декодировании информации оператором ДПУ в сложной помеховой обстановке.

На этапе 8 (рис. 7) по группе принятых и декодированных бинарных посылок идентифицируют знак (букву) принимаемого сообщения с априори известным кодом (МТК-2, КОИ-8 и др.) по базе данных автоматически или оператором (диспетчером) ДПУ в режиме реального времени. Данный этап описан выше при рассмотрении предыдущего алгоритма (рис. 1).

На этапе 9 (рис. 7) в случае сложной помеховой обстановки, а также при высокой скорости передачи и малой длительности бинарных посылок, по сохраняемой в цифровой форме спектрограмме осуществляют восстановление принятых бинарных посылок в информационной последовательности по фрагментарным данным автоматически или путем повторного визуального анализа в режиме замедленного воспроизведения или в статике. Как отмечалось на завершающем этапе предшествующего алгоритма заявленный способ фактически пригоден для передачи любой двоичной информации с любой скоростью, поскольку все современные средства имеют возможность сохранения в карте памяти, а также за счет использования пополняемой базы данных АРМ ДПУ для

документирования, а также дополнительного просмотра и восстановления информации.

Техническим результатом, достигаемым с помощью предлагаемого способа повышения помехозащищенности в АСК ТС комплексов связи с использованием режима «быстрой» ППРЧ, дополнительно к перечисленному является:

- повышение скрытности работы АСК, из-за передачи каждого частотного чипа опознавательного или информационного бита на своей частоте с длительностью менее времени, необходимого на реакцию системы РЭП;
- повышение оперативности в передаче ТМИ в КС (мультисервисные КС) при работе телекоммуникационного уровня АСК и при отсутствии защитного интервала (паузы) между знаками в буквах и словах кода Морзе (почти в 2 раза), а также за счет параллельной передачи и параллельного приема бит в режиме ППРЧ;
- повышение оперативности процедуры приема ИИ при работе АСК за счет того, что в режиме АТ обычно прием ведется последовательно (побитно), однако радиотелеграфист воспринимает информацию познкова (буквами, цифрами). При ведении параллельной передачи и приема информации в канале радиосвязи и визуальном отображении бит на мониторе оператор воспринимает сообщение позначно (сигналы ТлС). В случае автоматического приема на мониторе идентифицируется текст сообщения (сигналы ТИ), принимаемый на скоростях, независимых от обученности оператора ДПУ к приему азбуки Морзе;
- отказ от наличия дорогостоящей СЕВ при приеме аварийных сигналов в ДПУ АСК в режиме побитовой ППРЧ.

Таблица 2 – Вероятность безошибочного приема аварийного сигнала (сообщение, 40 знаков), в условиях помех

Вид помехи	Штатный код Морзе			СКК, оптимизированная для визуального приема		Режим ППРЧ	
	Слуховой прием	Слуховой + визуальный прием	Автоматический прием	Визуальный прием	Автоматический прием	Визуальный прием	Автоматический прием
Сосредоточенная	0,67	0,73	0,57	1,0	0,99	1,0	1,0
Широкополосная	0,83	0,92	0,71	0,98	0,68		

Эффективность этого способа повышения помехоустойчивости в автоматизированных системах дистанционного контроля ТС территориально-распределенных комплексов связи СН, функционирующих в условиях воздействия ДФ, может быть представлена в виде вероятности безошибочного приема аварийных сигналов (таблица 2).

Заключение

Проведенные исследования показали возможность обеспечения эффективного функционирования территориально-распределенной АСС СН за счет способов повышения помехоустойчивости в системах дистанционного кон-

троля. Новизной данных способов является возможность приема (передачи) аварийных сигналов новой СКК с различными градиентами наклона, несовпадающими с градиентом прямых, отображающих сосредоточенные помехи на спектрограмме в плоскости «время-частота», регистрации передаваемой ИИ, даже в том случае, когда в автоматическом или в слуховом режиме приём невозможен из-за слишком низкого соотношения сигнал/помеха. Причем, аварийные сигналы, в виде бинарных посылок представляют отрезками линейно-частотно-модулированных сигналов с линейно возрастающим или линейно убывающим законами изменения частоты в зависимости от значения бинарной посылки «0» или «1», а на приемной стороне их автоматически распознают с помощью банка фильтров (базы данных), что является новизной представленного способа.

В отличие от известных способов [13, 18, 29, 30], предлагаемые способы повышения помехоустойчивости в системах дистанционного контроля позволяют осуществлять прием аварийных сигналов в автоматическом режиме. При резкоменяющейся динамике воздействий ДФ имеется возможность комбинированного приема (для оператора ДПУ): автомат-слух-видео как в мирное время (работает автоматический прием аварийных сигналов), так и в особый период при преднамеренном воздействии ДФ на АСС СН (добавляется возможность слухового или визуального приема в ДПУ).

Так, в условиях превышения уровня сосредоточенной помехи над уровнем полезного сигнала на 40 дБ (помеховая обстановка, приведена на рис. 5 (широкополосная помеха), при передаче аварийного сигнала с использованием предлагаемого способа повышения помехоустойчивости на основе ЛЧМ-сигналов вероятность правильного приема элемента сообщения (бита информации) в автоматическом режиме составила $P_{\text{пр}}^{\text{Авт.}} = 0,68$, в то время как при визуальном приеме сообщения этим способом в той же помеховой обстановке обеспечено значение вероятности правильного приема $P_{\text{пр}}^{\text{Виз.}} = 0,98$. При передаче сообщения (аварийного сигнала) той же длительностью с использованием предлагаемого способа повышения помехозащищенности в режиме ППРЧ в условиях помеховой обстановки (широкополосная помеха), где уровень преднамеренных помех превышает уровень полезного сигнала на 40 дБ, автоматически можно обеспечить вероятность правильного приема элемента сообщения $P_{\text{пр}}^{\text{Авт.}} = 1,0$. При визуальном приеме сообщения заявленным способом обеспечено значение вероятности правильного приема $P_{\text{пр}}^{\text{Виз.}} = 1,0$. Что, в целом, говорит о повышении помехоустойчивости в системах удаленного контроля предлагаемыми способами.

При этом необходимо отметить, что помехоустойчивость предлагаемых способов зависит также от выбранного частотного диапазона, состояния радиоканала, длительности бинарной посылки ($T_{\text{бит}}$), количества частотных чипов n , используемых для формирования бинарных посылок и их длительности t_i , а также возможностей системы РЭБ.

Литература

1. 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.
2. Яшин А. И., Будко П. А., Винограденко А. М., Педан А. В. Имитационное моделирование автоматизированной системы контроля технического состояния элементов распределенных радиоцентров // Морская радиоэлектроника. 2018. № 1 (63). С. 32-37.
3. Zelensky E. G., Kononov Yu. G., Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Samoilenko V. V. Development of a distributed multi-agent system monitoring and control networks of 0.4–35 kV // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, (CTS 2017). 2017. Vol. 2. P. 271-274. doi: 10.1109/CTSYS.2017.8109543.
4. Яшин А. И., Будко П. А., Винограденко А. М. Интеллектуальный контроль технического состояния морского робототехнического комплекса // Морская радиоэлектроника. 2020. № 1 (71). С. 48-53.
5. Михайлов Р. Л., Макаренко С. И. Оценка устойчивости сети связи в условиях воздействия на нее дестабилизирующих факторов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2013. № 4. С. 69-79.
6. Исаков Е. Е. Устойчивость военной связи в условиях информационного противоборства. – СПб.: Политехнический университет, 2009. – 400 с.
7. История отечественных средств связи. / Под ред. А. С. Якунина. – М.: Издательский дом «Столичная энциклопедия», 2013. – 576 с.
8. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 18 января 2005 г. № 1 «Об утверждении Федеральных авиационных правил «Летные проверки наземных средств радиотехнического обеспечения полетов, авиационной электросвязи и систем светосигнального оборудования аэродромов гражданской авиации» // Российская газета. 2005. № 3733..
9. ГОСТ 26904-86. ИПК. Радиомаяки радиотехнической системы ближней навигации. Методы летных испытаний. – М.: Издательство стандартов, 1997. – 14 с.
10. Войтович Н. И., Жданов Б. В. Способ летных проверок наземных средств радиотехнического обеспечения полетов и устройства для его применения // Патент на изобретение RU 2501031 С2, опубл. 10.12.2013, бюл. № 34.
11. Методические указания по летной проверке наземных радиомаяков инструментальной системы посадки аппаратурой летного контроля АЛК-70. – М.: ГосНИИ ГА, 1976. – 9 с.
12. Гоноровский И. С. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: РиС, 1986. – 513 с.
13. 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.

14. Айзенберг Г. З., Грудинская Г. П., Белоцерковский Г. Б. Некоторые рекомендации по работе на длинных волнах // Радиолобитель КВ и УКВ. 1999. № 2. С. 43-54. – URL: [http://qrss.thersgb.net /Receiving-QRSS.html](http://qrss.thersgb.net/Receiving-QRSS.html) (дата обращения: 05.05.2020).

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

16. Нарытник Т. Н. Радиорелейные и тропосферные системы передачи. К.: Концерн «Видавничий Дім «Ін Юре»», 2003. 336 с.

17. Беккиев А. Ю., Борисов В. И. Базовые принципы создания помехозащищенных систем радиосвязи // Теория и техника радиосвязи. 2014. № 1. С. 3-16.

18. Николашин Ю. Л., Кулешов И. А., Будко П. А., Жолдасов Е. С., Жуков Г. А. SDR радиоустройства и когнитивная радиосвязь в декаметровом диапазоне частот // Научные технологии в космических исследованиях Земли. 2015. Т. 7. № 1. С. 20-31.

19. Budko P. A., 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.

20. 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.

21. 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.

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

23. Евин И. А. Синергетика мозга. – М.: Регулярная и хаотическая динамика, 2005. – 108 с.

24. Айзман Р. И., Герасёв А. Д., Дюкарев И. А. Молекулярные основы физиологии человека: Компендиум. – Новосибирск: НГПУ, 2010. – 306 с.

25. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов. – СПб.: Питер, 2002. – 608 с.

26. Семенов А. М., Сикарев А. А. Широкополосная связь. – М.: Воениздат, 1970. – 278 с.

27. Тузов Г. И., Сивов В. А., Прытков В. И., Урядников Ю. Ф., Дергачев Ю. А., Сулиманов А. А. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под ред. Г. И. Тузова. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
28. Кордуэлл М. Психология. А-Я. Словарь-справочник. – М.: Фаир-Пресс, 2000. – 448 с.
29. 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 на изобретение RU 2605045 С1, опубл. 20.12.2016, бюл. № 35.
30. Николашин Ю. Л., Будко П. А., Жолдасов Е. С., Жуков Г. А. Повышение эффективности функционирования декаметровых радиолиний // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2015. № 2. С. 4-10.
31. Куприянов А. И. Радиоэлектронная борьба. – М.: Вузовская книга, 2013. – 360 с.
32. Дьяконов В. П. Современные цифровые анализаторы спектра // Компоненты и технологии. 2010. № 5. С. 185-195.
33. Fedorenko V. V., Kononov Y. G., Vinogradenko A. M., Samoylenko V. V., Samoylenko I. V. The time-probability characteristics of a telemetry signal with the variable number of bits // Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, (CTS 2017). 2017. Vol. 2. P. 146-149. doi: 10.1109/CTS2017.8109511.

References

1. 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).
2. Yashin A. I., Budko P. A., Vinogradenko A. M., Pedan A. V. Imitatsionnoe modelirovanie avtomatizirovannoy sistemy kontrolya tehničeskogo sostoyaniya elementov raspredelennih radiotsentrov [Simulation simulation of automated system for monitoring of technical condition of distributed radio center elements]. *Marine Radio electronics*, 2018, no. 1 (63), pp. 32-37 (in Russian).
3. Zelensky E. G., Kononov Yu. G., Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M., Samoylenko V. V. Razrabotka raspredelennoy mul'tiagentnoy sistemi monitoring i upraleniya rezhimami setey 0.4–35 kV [Development of a distributed multi-agent system monitoring and control networks of 0.4–35 kV]. *II Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya problem upravleniya v tehničeskikh sistemah (PUTS-2017)* [Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, (CTS 2017)]. St. Petersburg, 2017, vol. 2, pp. 271-274. doi: 10.1109/CTS2017.8109543 (in Russian).
4. Yashin A. I., Budko P. A., Vinogradenko A. M. Intellektual'niy kontrol' tehničeskogo sostoyaniya morskogo robototehničeskogo kompleksa [Intelligent monitoring of the technical condition of the marine robotics complex]. *Marine Radio electronics*, 2020, no. 1 (71), pp. 48-53 (in Russian).

5. Mihaylov R. L., Makarenko S. I. Otsenka ustoychivosty sety svyazi v usloviyah vozdeystviya na nee destabiliziruyutshih factorov [Evaluation of the stability of the communication network in the context of destabilizing factors]. *Radio and telecommunication systems*, 2013, no. 4, pp. 69-79 (in Russian).

6. Isakov E. E. *Ustoychivost' voennoy svyazi v usloviyah informatsionnogo protivoborstva* [Stability of military communication in conditions of information confrontation]. St. Petersburg, Polytechnical university Publ., 2009. 400 p. (in Russian).

7. Yakunin A. S. *Istoriya otechestvennih sredstv svyazi* [History of domestic means of communication]. Moscow, Capital encyclopedia Publ., 2013. 576 p. (in Russian).

8. The federal law of the Russian Federation of January 18, 2005 no. 1 «About Approval of the Federal Aviation Regulations «Flight Inspections of Ground Facilities for Radio Support of Flights, Aviation Telecommunication and Light Signal Equipment Systems of Civil Aviation Airfields». *Rossiiskaia hazeta* [Russian Newspaper], 31 March 2005, no. 3733 (in Russian).

9. State Standard 26904-86. Radio beacons of short-range navigation radio engineering system. Methods of flight tests. Moscow, Standards Publishing House. 1997. 14 p. (in Russian).

10. Voytovich N. I., Zhdanov B. V. *Sposob letnih proverok nazemnih sredstv radiotekhnicheskogo obespecheniya poletov i ustroystva dlya ego primeneniya* [Method of flight checks of land means of radio engineering maintenance of flights and the device for its application]. Patent Russia, no. 2501031. 2013.

11. *Methodological instructions for flight check of ground radio beacons of landing tool system by flight test equipment ALK-70*. Moscow, State Civil Aviation Research Institute, 1976. 9 p. (in Russian).

12. Gonorovsky I. S. *Radiotekhnicheskie tsepi i signali* [Radio circuits and signals]. Moscow, RIS, 1986. 513 p. (in Russian).

13. Nikolashin Y. L., Budko P. A., Zholdasov E. S., Zhukov G. A. Perspektivnie metodi povisheniya pomehoustoychivosty dekametrovikh radiolinii [Promising methods of increasing noise immunity of decameter radio links]. *H&ES Research*, 2014, no. 1, pp. 30-37 (in Russian).

14. Ayzenberg G. Z., Grudinskaya G. P., Belotserkovskiy G. B. Some recommendations for working on long waves. *Radio lover of KV and KVV ranges*, 1999, no. 2. Available at: <http://qrss.thersgb.net/Receiving-QRSS.html> (accessed 23 November 2016) (in Russian).

15. Galkin V. A. *Tsifrovaya mobil'naya radiosvyz'* [Digital mobile radio communication]. Moscow, Goryachaya liniya – Telecom Publ., 2007. 432 p. (in Russian).

16. Naritnic T. N. *Radioreleynie i troposferne sistemy* [Radio relay and tropospheric transmission systems]. Kiev, Vidavnichiy dim Publ., 2003. 336 p. (in Russian).

17. Bekkiev A. Yu., Borisov V. I. Bazovie printsipi sozdaniya pomehozashishyonnih system radiosvyazi [Basic Principles of Creation of Noise-

Proof Radio Communication Systems]. *Theory and technique of radio communication*, 2014, no. 1, pp. 3-16 (in Russian).

18. Nikolashin Y. L., Kuleshov I. A., Budko P. A., Zholdasov E. S., Zhukov G. A. SDR radioustroystva i kognitivnaya radiosvyaz' v dekametrovom diapazone chastot [SDR radio devices and cognitive radio communication in the decameter frequency range]. *H&ES Research*, 2015, vol. 7, no. 1, pp. 20-31 (in Russian).

19. Budko P. A., Fedorenko V. V., Vinogradenko A. M. Adaptivnaya sistema monitoringa tehničeskogo sostoyaniya tehnologicheskikh ob'ektov na osnove besprovodnih sensornih setey [Adaptive System Monitoring of the Technical Condition Technological Objects Based on Wireless Sensor Networks]. *III Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya «Convergent'2018»* [IIIrd 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 (in Russian).

22. Kizima S. V., Mitchenkov S. G., Emel'yannikov B. B. Kognitivnie radiotehnologii. Aspekti prakticheskoy realizatsii [Cognitive radio technologies. Aspects of implementation]. *Telecommunication*, 2014, no. 9, pp. 43-47 (in Russian).

23. Evin I. A. *Synergetika mozga* [Brain synergetics]. Moscow, Regular and chaotic dynamics, 2005. 108 p. (in Russian).

24. Ayzman R. I., Gerasyov A. D., Dyukarev I. A. *Molekulyarnie osnovi fiziologii cheloveka* [Molecular foundations of human physiology]. Novosibirsk, Novosibirsk state pedagogical University, 2010. 306 p. (in Russian).

25. Sergienko A. B. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. St. Petersburg, Piter Publ., 2002. 608 p. (in Russian).

26. Semyonov A. M., Sikarev A. A. *Shirokopolosnaya svyaz'* [Broadband communication]. Moscow, Voenizdat Publ., 1970. 278 p. (in Russian).

27. Tuzov G. I., Sivov V. A., Pryitkovi V. I., Uryadnikov Y. F., Dergachov Y. A., Sulimanov A. A. *Pomehozashishyonnost' radiosistem so slozhnimi signalami* [Interference immunity of radio systems with complex signals]. Moscow, Radio i svyaz', 1985. 264 p. (in Russian).

28. Korduel M. *Psihologiya. A-Y. Slovar'-spravochnik* [Psychology. A-Z. Dictionary reference]. Moscow, Fair-Press Publ., 2000. 448 p. (in Russian).

29. Budko N. P., Budko P. A., Zholdasov E. S., Zholdasova A. E., Zhukov G. A., Kuleshov I. A., Mal'tsev D. S., Miroshnikov V. I., Nikolashin Y. L., Fatyuhin I. N. *Sposob peredachi i priyoma binarnoy informatsii po kanalam radiosvyazi v neavtomaticheskom rezhime (varianti)* [Method of transmitting and receiving binary information via radio communication channels in non-automatic mode (options)]. Patent Russia, no. 2605045. 2016.

30. Nikolashin Y. L., Budko P. A., Zholdasov E. S., Zhukov G. A. Improved efficiency of decameter radio links. *T-Comm*, 2015, no. 2, pp. 4-10 (in Russian).

31. Kupriyan A. I. *Radioelektronnaya bor'ba* [Radio-electronic fight]. Moscow, Vuzovskaya kniga Publ., 2013. 360 p. (in Russian).

32. D'yakonov V. P. Sovremennie tsifrovie analizatory spectra [Modern digital spectrum analyzers]. *Components and technologies*, 2010, no. 5, pp. 185-195 (in Russian).

33. Fedorenko V. V., Kononov Y. G., Vinogradenko A. M., Samoylenko V. V., Samoylenko I. V. Veroyatnostno-vremennye harakteristiki telemetricheskogo signala s peremennoy razryadnost'yu [The time-probability characteristics of a telemetry signal with the variable number of bits]. *II Mezhdunarodnaya nauchnaya konferentsiya problem upravleniya v tehnikeskikh sistemah (PUTS-2017)* [Proceedings of 2017 IEEE 2nd International Conference on Control in Technical Systems, (CTS 2017)]. St. Petersburg, 2017, vol. 2, pp. 146-149. doi: 10.1109/CTSYS.2017.8109511 (in Russian).

Статья поступила 31 мая 2020 г.

Информация об авторах

Будко Павел Александрович – доктор технических наук, профессор. Профессор. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: синтез информационно-телекоммуникационных систем. E-mail: budko62@mail.ru

Будко Никита Павлович – соискатель ученой степени кандидата технических наук. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: автоматизированные системы обработки информации и управление. E-mail: budko62@mail.ru

Винограденко Алексей Михайлович – кандидат технических наук, доцент. Докторант. Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного. Область научных интересов: интеллектуальный контроль информационно-телекоммуникационных систем. E-mail: vinogradenko.a@inbox.ru

Адрес: 194064, Россия, г. Санкт-Петербург, Тихорецкий пр., д. 3.

Ways to increase noise immunity in automated control systems

P. A. Budko, N. P. Budko, A. M. Vinogradenko

Abstract. *The specifics of the functioning of modern geographically distributed special-purpose communication systems, characterized by changing operating conditions in a complex interference environment, as well as a high critical failure rate, necessitates the use of remote control systems for their technical condition. The use of such control systems is characterized by insufficient noise immunity in the transmission of emergency signals from controlled communication complexes operating under the influence of natural and artificial destabilizing factors, which reduces the effectiveness of the entire special-purpose communication system. The purpose of the work is to develop ways to improve noise immunity in automated systems for remote control of the technical condition of geographically distributed special-purpose communication complexes. Methods used: increasing the noise-resistant transmission of emergency signals is carried out by applying a new signal-code design in the radio channel for transmitting telemetry information, which allows increasing the noise-resistance of remote control and telemetry systems. Novelty: it is proposed and justified to expand the capabilities of remote control systems for the technical condition of a geographically distributed automated special-purpose communication system using radio systems in the decameter wave range. Based on the application of SDR technologies and the use of control data from the control system elements, new methods are*

proposed for constructing noise-resistant ultra-narrowband decimeter radio lines, including those operating in the pseudo-random frequency tuning mode. **Result:** the remote monitoring and telemetry system should be based on software and hardware complexes of communication facilities built on the basis of SDR technologies. A graphical representation of alarm signals from control objects when they are received in the form of a spectrogram is proposed. This makes it possible to implement a new method for transmitting emergency signals from remote terminals of a geographically distributed control system over a decimeter radio channel in the form of linear or discrete-frequency modulated signals with an increasing or decreasing modulation gradient. **Practical significance:** the results of the study can be used in the process of remote control of the technical condition of geographically distributed communication complexes for noise-resistant transmission of measurement information, for operational control of radio lines and for maneuvering the frequency resource in a complex interference environment. The proposed methods allow for interference-free radio communication with automatic and visual reception by increasing the probability of bringing emergency signals to the control bodies, as well as working with inherited radio lines.

Key words: noise immunity, transmission of emergency signals, geographically distributed communication complexes, remote control system, technical condition, telesignalization, tele-measurements.

Information on Autors

Pavel Aleksandrovich Budko – Dr. habil. of Engineering Sciences, Professor. Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S. V. Budyonny. Professor. Field of research: synthesis of information and telecommunication systems. E-mail: budko62@mail.ru

Nikita Pavlovich Budko – Applicant. Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S. V. Budyonny. Engineer. Field of research: synthesis of information and telecommunication systems. E-mail: budko62@mail.ru

Aleksey Mihaylovich Vinogradenko – PhD, Docent. Doctoral Candidate. Military academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S. V. Budyonny. Field of research: intellectual control of information and telecommunication systems. E-mail: vinogradenko.a@inbox.ru

Address: 194064, Russia, St. Petersburg, Tihoretskiy st., 3.