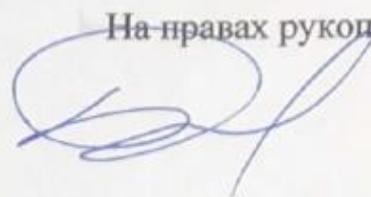


На правах рукописи



**БЕКРЕНЕВ СЕРГЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ**

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДА КОРРЕКЦИИ ПОДСИСТЕМЫ КАДРОВОЙ  
СИНХРОНИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ СЕТИ РАДИОСВЯЗИ МЕТРОВОГО  
ДИАПАЗОНА С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ЗОНЕ  
ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ**

Специальность: 05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникации

Д и с с е р т а ц и я  
на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

**НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:**

доктор технических наук, доцент Смирнов Д.В.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Введение. ....	5
1. Анализ роли и места подсистемы кадровой синхронизации в цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех и выбор направлений исследования. ....	16
1. 1. Анализ архитектуры существующих сетей радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами. ....	16
1. 2. Обоснование архитектуры современной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации при реализации в ней временного разделения каналов и ее подсистемы кадровой синхронизации. ....	27
1. 3. Системный анализ помеховой обстановки при организации направлений радиосвязи метрового диапазона в зоне чрезвычайной ситуации, сформированных приемо-передающим комплексом с временным разделением каналов. ....	43
1. 4. Обоснование выбора показателей эффективности функционирования подсистемы кадровой синхронизации цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации. Постановка задачи исследования и направления ее решения. ....	48
Выводы по первому разделу. ....	53
2. Моделирование процесса установления кадровой синхронизации в типовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех. ....	56

2. 1. Структура и режимы функционирования подсистемы кадровой синхронизации цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех. . . . .	56
2. 2. Математическая модель процесса установления кадровой синхронизации в типовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех. . . . .	66
2. 3. Алгоритмы нахождения порогов обработки синхросигналов в подсистеме кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех. . . . .	82
Выводы по второму разделу . . . . .	91
3. Методика нахождения и расчет периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех. . . . .	93
3. 1. Исследование зависимости коэффициента кадровой эффективности типового сегмента цифровой радиосети метрового диапазона в зоне чрезвычайной ситуации от атрибутивных параметров подсистемы кадровой синхронизации. . . . .	93
3. 2. Методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех. . . . .	103
3. 3. Технические решения по обеспечению качественного функционирования подсистемы кадровой синхронизации и повышения достоверности информационного обмена в типовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона . . . . .	106
Выводы по третьему разделу. . . . .	115

Заключение .....	117
Список сокращений и условных обозначений.....	119
Список использованных источников .....	121
Приложение .....	136

## ВВЕДЕНИЕ

За последние годы и в настоящее время в результате интенсивного развития информационных технологий объем информации, циркулирующей в информационных системах, возрастает в геометрической прогрессии. Современным руководителям силовых структур, промышленных организаций и их обеспечивающих структурных подразделений необходимо оперативно получать максимально возможный объем актуальной информации для принятия ответственных управленческих решений. Известно, что процесс управления различными территориально-распределенными промышленными и государственными системами и объектами, реализуется на основе использования информационных каналов разнопрофильных систем и сетей связи [1, 3, 35, 36, 37, 39, 40, 42, 43, 46, 57 и др.]. Для управления подвижными объектами (ПО) широко используются радиоканалы, на базе которых разворачиваются сети радиосвязи различных диапазонов [3, 5, 30, 37, 41, 42, 56, 63, 71, 86, 91, 106, 109, 110, 118, 122, 136]. Такие сети обладают общими характерными свойствами и принципами построения, однако условия функционирования и спектр решаемых ими задач обуславливают существенные особенности и различия каждого конкретного варианта реализации. В МЧС России создана и функционирует единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС), в рамках которой для обеспечения связи в зонах чрезвычайных ситуаций (ЧС) с ПО разворачиваются сети радиосвязи метрового диапазона [29, 60, 94, 95, 105, 111, 120].

В подавляющем большинстве случаев сети радиосвязи имеют иерархическую структуру. Узлы коммутации (УК) с размещенным на них персоналом операторов представляют собой звенья управления (ЗУ), уровень которых определяется уровнем иерархии [6, 8, 26, 50, 69, 70, 84, 93, 94].

Для обеспечения высокой функциональной готовности сети радиосвязи в современных изменяющихся условиях требуется модернизация как технических средств УК, так и алгоритмов функционирования ее элементов. Необходимо отметить, что на современном этапе развития информационных систем в рамках

РСЧС выделяют и исследуют автоматизированные системы управления (АСУ) и системы поддержки принятия решений (СППР). СППР представляют собой компьютерные автоматизированные системы, целью которых является помощь лицам, принимающим решения в сложных условиях для полного и объективного анализа предметной деятельности. Системы поддержки принятия решений возникли в результате слияния управленческих информационных систем и систем управления базами данных [55, 60, 77, 93, 140]. В данном исследовании СППР будет рассматриваться как элемент АСУ более высокого уровня иерархии, при этом информационный обмен в АСУ и СППР реализуется на каналах сети радиосвязи метрового диапазона.

Для решения задач мониторинга (разведки) и технического обслуживания контролируемых удаленных элементов инфраструктуры предприятий, организаций и корпораций, а также для проведения аварийно-спасательных работ (АСР) и других неотложных работ в зонах с ЧС формируются мобильные группы и подразделения (например, аварийно-спасательные формирования (АСФ)), оснащенные необходимым оборудованием, транспортом, средствами управления и связи [25, 29, 94, 95, 105, 111]. Данные группы и подразделения при непосредственном выполнении ими задач на транспортных средствах в рассредоточенном порядке являются подвижными объектами (ПО). В интересах обеспечения эффективного управления указанными формированиями в любых условиях обстановки существует необходимость оперативной доставки значительных объемов информации внутри иерархической сети как сверху-вниз, так и снизу-вверх. Это, в свою очередь, предъявляет жесткие требования к готовности сети радиосвязи для обеспечения своевременного и достоверного обмена данными большого объема между верхними и исполнительными ЗУ.

Параллельно с процессом совершенствования средств радиосвязи и ростом объемов информации, циркулирующей в сети радиосвязи в зоне ЧС, происходит замена старого парка аналоговых средств управления и связи, а также комплектование транспортных средств ЗУ новыми средствами, базирующимися в основном на достижениях современных цифровых технологий и обладающими

лучшими характеристиками. Например, осуществляется модернизация систем связи путем перехода на аппаратуру коммутации, построенную с применением цифровых технологий автоматизации, что приводит к формированию автоматизированной системы связи (АСС), при этом основой цифровых каналов АСС верхних ЗУ являются оптоволоконные, кабельные линии связи, радиорелейные каналы радиосвязи, а также транкинговые магистральные радиолинии и радиоканалы КВ и СВЧ диапазонов [69, 80, 83, 120 и др.].

Переход на цифровые информационные и телекоммуникационные технологии при формировании информационных подсетей нижних ЗУ является особо актуальной задачей для обеспечения цифровыми каналами передачи данных (КПД) подвижных пространственно-распределенных подразделений и групп ПО, до исполнительных ЗУ включительно.

Основой рассматриваемой сети радиосвязи нижних звеньев управления (НЗУ), учитывая подвижность абонентов, является система радиосвязи метрового диапазона. Подсистемами спутниковой, тропосферной и КВ радиосвязи [43, 56, 66, 73, 79, 82, 83, 95, 104, 107, 115, 118, 141] как более дорогостоящими и сложными в эксплуатации, оснащаются наиболее важные ЗУ для повышения информационной связности и доступности элементов системы (например, узлы связи подвижных пунктов управления (УС ППУ) в районе ЧС). При непосредственном выполнении задач мобильными группами в рассредоточенном порядке на местности, а также при нахождении транспортных средств и сотрудников на маршрутах мониторинга (разведки) наиболее востребованной составляющей общей системы радиосвязи является система радиосвязи метрового диапазона, которая базируется на существующих средствах радиосвязи метрового диапазона типа Р-168-5УН, Р-163-10У, Р-159, Р-107, радиосредства семейства «Такт» и др. [29, 60, 94]. Совокупность передающего и приемного устройства одного радиоканала, размещенных на одном УК, можно рассматривать как приемо-передающий комплекс (ППК). Множество таких ППК формируют в совокупности радиосеть, которая представляет собой комбинированную радиосеть, потому как информация вниз, для подчиненных (младших) ППК, передается в радиосети, а вверх, для вышестоящих (старших)

ППК – в радионаправлениях [14, 15, 95]. Анализ особенностей построения и функционирования существующей радиосети такого типа показал, что она имеет иерархическую структуру на основе наземных радиоканалов метрового диапазона. Для защиты речевой информации и данных от несанкционированного доступа могут применяться различные современные системы формирования закрытых КПД [2, 110].

Развитие АСУ и СППР по оперативному управлению объектами и управлению элементами АСС обусловило появление особого типа трафика в цифровых радиосетях метрового диапазона с ПО – межкомпьютерный обмен (МКО). Как правило, передача данных между узлами сети осуществляется в конфигурациях типа «точка-точка», а при реализации циркулярного доведения информации – в конфигурации «точка-многоточка» [25, 95].

В настоящее время существующие ППК метрового диапазона способны формировать в направлении радиосвязи два канала тональной частоты (ТЧ) методом однополосной модуляции, при этом один канал используется для формирования информационной сети АСС со скоростью 1200 бит/с, другой канал – для сети оперативного речевого управления (ОРУ) также со скоростью 1200 бит/с. Анализ показывает, что пропускная способность информационной сети АСС на основе данных ППК не удовлетворяет требованиям по эффективному управлению существующими и тем более перспективными ПО [29, 60, 94].

В настоящее время ведутся работы по созданию модернизированного цифрового ППК метрового диапазона, обеспечивающего передачу информации в радиолинии со скоростями до 16 и даже 19,2 Кбит/с [98, 99]. Такой ППК должен быть способен формировать единую информационную сеть в интересах таких основных абонентов как АСУ (АСС, СППР) (передача данных), сеть оперативного речевого обмена (речь), в том числе и закрытых телефонных каналов, сеть МКО (передача данных). Кроме того, с помощью данного ППК предполагается решать задачи по организации резервных (дублирующих) радиоканалов для проводных каналов связи в районах функционирования групп мониторинга (разведки) и технического обслуживания, оперативных штабов (ОШ) оперативных групп (ОГ),

поисково-спасательных формирований (ПСФ), спасательных воинских формирований (СВФ), а также других ПО НЗУ и СЗУ.

К особенностям модернизированного ППК относится то, что пропускная способность формируемых им радиоканалов существенно выше пропускной способности существующих радиосредств метрового диапазона, размещаемых на ПО. Такая пропускная способность является ресурсом, который можно разделить с помощью специального оборудования во времени (на передачу) и во времени, а также и в пространстве (при приеме). Формирование сигналов на передающей стороне, а также их прием и обработка на приемной стороне осуществляется методами цифровой обработки сигналов [4, 17, 18, 19, 20, 21, 30, 31, 32, 34, 36, 54, 61, 68, 96, 103, 113, 114, 124, 125, 132].

Анализ современных цифровых систем радиосвязи показал, что для организации в цифровой сети радиосвязи цифрового потока, разделяемого во времени, необходимо реализовать в сети процедуру временного разделения каналов (ВРК). Это, в свою очередь, обуславливает необходимость установления и поддержания между узлами сети кадрового синхронизма. Задача установления и поддержания кадрового синхронизма в сети возлагается на комплекс технических и программных средств, в совокупности образующих подсистему кадровой синхронизации (ПКС) сети. При успешной реализации механизма установления и поддержания кадровой синхронизации для организации процедуры ВРК в сети в каждом направлении радиосвязи появится возможность организовать на базе одного высокоскоростного радиоканала несколько менее скоростных. Управление появившимся канальным ресурсом дает возможность организовывать дополнительные горизонтальные (рокадные) связи между УК одного уровня иерархии сети, что повысит связность информационной сети в целом и даст дополнительные возможности по управлению коммуникационными ресурсами сети.

Особенностями функционирования ПКС в рамках рассматриваемой цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС являются необходимость обмена УК сети сигналами кадровой синхронизации (СКС), невозможность ведения

информационного обмена между корреспондирующими УК до момента установления между ними кадрового синхронизма, необходимость обеспечения устойчивого функционирования ПКС в условиях сложной помеховой обстановки и факторов ЧС, условиях воздействия сигналов радиоэлектронных средств (РЭС) других организаций и возможного ложного формирования СКС от собственных РЭС, зависимость качества функционирования ПКС от выбора ее основных параметров, а также возможность появления преднамеренных помех при наличии противника [7, 27, 32, 52, 58, 64, 68, 70, 76, 81, 87, 89, 90, 92, 94, 101, 108, 117, 119, 121, 124, 127, 131, 132].

В области разработки и создания систем связи с реализацией процедуры ВРК накоплен большой опыт. Организациями, имеющими серьезные разработки по таким системам связи, являются АГЗ МЧС России, АО «Концерн «Созвездие»», АО «НПО Импульс», АО «Ангстрем», АО НИВЦ АС, МОУ «Институт инженерной физики», АО «КНИИ ТМУ» и др. Разработки данных организаций, прежде всего, ориентированы на передачу информации по каналам систем транкинговой, КВ и спутниковой радиосвязи, а также передачи данных без возможности гибкого изменения пропускной способности направлений связи. Наиболее близкими к рассматриваемым радиосетям с ВРК являются радиосети, строящиеся на основе стандартов TETRA и DMR [51, 120]. Эти разработки имеют свои особенности и в чистом виде не могут быть использованы для построения ПКС и определения параметров ее функционирования. Таким образом, возникает необходимость проведения дополнительных исследований в данной области [8, 9, 22].

Одной из важных задач построения цифровой радиосети метрового диапазона с реализацией в ней процедуры ВРК является задача определения основных параметров ПКС каждого УК для обеспечения качества ее функционирования, не ниже требуемого значения в условиях помех. Успешное решение данной задачи обеспечит качественное функционирование всей радиосети в целом.

Условия функционирования рассматриваемой цифровой радиосети метрового диапазона с ПО оказывают большое влияние на основные (системные) параметры ПКС. Исследования этих условий и характера их влияния на параметры

ПКС проводились в научных школах таких отечественных ученых как Шахгильдян В.В., Тузов Г.И., Борисов В.И., Кузичкин А.В., Мартынов Е.М., Шевкопляс Б.В., Рыжков А.В., Шахтарин Б.И., Сухман С.М., Григорьев В.А. и других ученых [5, 30, 31, 32, 56, 92, 121, 123, 124, 131, 132, 134, 135]. За рубежом данным вопросам уделяли внимание такие ученые как Линдсей В., Стиффлер Дж.Дж., Спилкер Дж. и другие ученые [88, 118, 119].

Однако, в перечисленных работах не учитывалась существенная динамика помеховой обстановки в районах функционирования ПО в зоне ЧС, существенная динамика структуры сети в районах ЧС, возможность формирования ложных СКС от своих и чужих РЭС, а также другие особенности функционирования цифровой радиосети метрового диапазона, с учетом решаемых ею задач. Такие ситуации возможны при работе в районе нахождения ПО РЭС метрового диапазона других организаций и ведомств без согласования условий их совместного функционирования, наличия промышленных источников помех, действия противника для зон боевых действий, а также внутрисистемное влияние сигналов на ПКС УК, для которых они не предназначены. В этом случае создаваемые передатчиками помех случайные, преднамеренные и непреднамеренные помехи способны снизить соотношение сигнал/помеха в каналах направлений радиосвязи до критического уровня, что говорит о низкой помехозащищенности системы. При этом сформированные ложные СКС могут привести к сбоям кадрового синхронизма и вынужденным перерывам связи в сети, обуславливающим снижение ее функциональной готовности.

Условия функционирования ПКС сети таковы, что для повышения вероятности нахождения сети в кадровом синхронизме СКС надо передавать как можно чаще, но с другой стороны частая передача СКС ведет к увеличению объема служебной информации, передаваемой в сети, снижению скрытности системы радиосвязи и снижению кадровой эффективности временной последовательности при ВРК.

В связи с вышеизложенным, возникает следующее **противоречие**: с одной стороны, необходимо уменьшать период коррекции ПКС для повышения

вероятности нахождения сети радиосвязи в кадровом синхронизме, с другой необходимо увеличивать период коррекции ПКС для уменьшения общего времени недоступности сети для передачи основной информации.

Разрешение этого противоречия заключается в разработке научно-методического аппарата для нахождения оптимального периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС.

Исходя из изложенного, актуальной является задача разработки программно-математического и методического аппарата для максимизации коэффициента функциональной готовности подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС на основе оптимизации ее периода коррекции в условиях помех, а также разработки соответствующих аналитических зависимостей, алгоритмов, модели и методики.

Поэтому актуальной является тема диссертационной работы «Оптимизация периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех».

**Целью** работы является обеспечение требуемой функциональной готовности подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех.

**Объектом** исследования является подсистема кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона в зоне ЧС.

**Предметом** исследования являются методы повышения функциональной готовности подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона в зоне ЧС.

**Научной задачей** является разработка программно-математического и методического аппарата для обеспечения коэффициента функциональной готовности подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС не ниже заданного значения на основе оптимизации ее периода коррекции в условиях помех.

Для решения научной задачи в диссертации ставятся и решаются следующие подзадачи:

1. Анализ особенностей функционирования разрабатываемой цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС и особенностей функционирования ее подсистемы кадровой синхронизации на этапе вхождения в синхронизм и этапе синхронной работы с учетом временного разделения каналов и в условиях помех.

2. Разработка математической модели функционирования подсистемы кадровой синхронизации типового сегмента цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС.

3. Разработка алгоритмов нахождения порогов приема синхросигнала с увеличенной базой в подсистеме кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех.

4. Разработка методики оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации модернизированной цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС с учетом временного разделения и в условиях помех.

5. Разработка технических предложений по построению подсистемы кадровой синхронизации разрабатываемой цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС.

В ходе решения этих задач были сформированы следующие **результаты, представляемые к защите**:

1. Математическая модель процесса функционирования подсистемы кадровой синхронизации типового сегмента цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех.

2. Методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех.

**Научная новизна** полученных в диссертационной работе результатов заключается в том, что:

Математическая модель ПКС типового сегмента цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех и методика оптимизации ее периода коррекции, в отличие от известных, учитывает структуру синхропоследовательности, величину дискретных порогов обработки ПКС и особенности процесса ложного формирования СКС.

Методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех, в отличие от известных, системно учитывает структурные параметры СКС, структуру и параметры типового сегмента сети, требования к вероятностным характеристикам процесса установления кадрового синхронизма в типовом сегменте сети в зоне ЧС и позволяет определить не только оптимальное, но и рациональные значения коэффициента кадровой эффективности с учетом существующих ограничений.

**Достоверность и обоснованность** разработанного научно-методического аппарата расчета оптимального периода коррекции ПКС подтверждается корректностью и логической обоснованностью рассмотренных вопросов, принятых допущений и ограничений, математического моделирования на основе пакета прикладных программ и, кроме того, подтверждается результатами проверки полученного результата расчета с помощью имитационного моделирования при заданных ограничениях и допущениях.

**Практическая значимость** результатов диссертационных исследований обусловлена тем, что они доведены до уровня методики, алгоритмов и машинных продуктов и позволяют на стадии проектирования ПКС рассчитывать необходимую структуру синхропоследовательностей, применяемых для установления кадровой синхронизации в сетях радиосвязи с ВРК в зоне ЧС, определять величины порогов срабатывания ПКС и находить оптимальное значение периода коррекции ПКС в заданных условиях. В частности, показано, что применение методики оптимизации периода коррекции ПКС позволяет обеспечить

требуемое значение коэффициента функциональной готовности ПКС сети, равное 0,995 при определенных условиях функционирования.

Основные результаты работы докладывались, обсуждались и были одобрены на: 10 НТК различного уровня, в том числе Международного уровня – 4; Всероссийского уровня – 6; 5 научно-технических семинарах.

опубликованы в 29 работах, из них: 20 статей в научно-технических сборниках (4 статьи опубликованы в журналах из перечня ВАК [6, 7, 8, 25]); тезисах 10 докладов; 1 патенте на изобретение, 1 патенте на полезную модель и 3 свидетельствах о регистрации программных продуктов; 3 отчетах о НИР, 1 отчете об ОКР.

Результаты работы реализованы:

1. В АО «КНИИ ТМУ» при обосновании параметров подсистемы кадровой синхронизации типового сегмента цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в рамках СЧ ОКР «Орлан-Борт-Интелтех-КНИИТМУ» (акт о реализации от 02.06.2020 г.).

2. В МОУ Институт инженерной физики при обосновании значений дискретных порогов обработки сигналов кадровой синхронизации подсистемы кадровой синхронизации сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами и оценке эффективности их обработки в условиях помех при выполнении ОКР «Тесла-ИИФ» (акт о реализации МОУ ИИФ (г. Серпухов) от 9.06.2020 г.).

3. В филиале ВА РВСН (г. Серпухов) при обосновании требований к структуре сигналов кадровой синхронизации и порогов их обработки в сети радиосвязи специального назначения в рамках итогового отчета о НИР «Интеграция», а также при проведении занятий по дисциплинам «Сети и телекоммуникации» и «Основы теории помехозащищенности радиосистем передачи информации» на кафедре «Автоматизированные системы боевого управления», а также в ходе курсового и дипломного проектирования (акт о реализации ФВА РВСН от 12.06.2020 г.).

Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения, приложения и списка используемых источников.

# **1. АНАЛИЗ РОЛИ И МЕСТА ПОДСИСТЕМЫ КАДРОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В ЦИФРОВОЙ СЕТИ РАДИОСВЯЗИ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ И ВЫБОР НАПРАВЛЕНИЙ ИССЛЕДОВАНИЯ**

## **1.1 Анализ архитектуры существующих сетей радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами**

Радиосвязь является важнейшей, а зачастую и единственной связью, способной обеспечить управление территориальными органами и учреждениями МЧС России в самой сложной обстановке. Радиосвязь обладает существенными достоинствами по сравнению с другими родами связи. К ним относится возможность установления связи с подвижными объектами, объектами с неопределенными координатами, объектами с затрудненным доступом (пожар, заражение, наводнение и т.д.), а также возможность организации радиосетей оповещения большого числа объектов. Наиболее востребованной радиосвязь, для решения задач МЧС России, оказывается в зонах ЧС. Это обусловлено отсутствием или разрушением инфраструктуры других родов связи, особенностями и непредсказуемостью основных поражающих факторов ЧС, жесткими требованиями к оперативности обеспечения связью органов управления в зоне ЧС, высокими требованиями к готовности и надежности каналов связи в условиях преднамеренных и непреднамеренных помех. Важным достоинством радиосвязи, при достаточном уровне «интеллекта» радиосредств, является возможность организации в зоне ЧС радиосетей, которые обладают более высоким потенциалом при решении вопросов реализации информационного обмена между основными абонентами сети в зоне ЧС. Проблемам анализа и синтеза структур, алгоритмов и процедур функционирования сетей радиосвязи различного уровня и их подсистем посвящено множество работ [1, 5, 27, 30, 34, 36, 37, 40, 43, 45 и др.].

В настоящее время цифровые технологии это одна из наиболее динамично

развивающихся областей телекоммуникационных технологий во всех сферах жизнедеятельности человека. Цифровая радиосвязь приходит на смену аналоговым системам радиосвязи и позволяет обеспечить следующие информационные услуги: передачу телефонных сообщений, передачу данных, подключение к глобальным информационным сетям, получение и передачу видеоизображений, телевидения и т.д. Такие радиосети как WiFi, WiMAX и др. успешно функционируют в интересах различных организаций и гражданского населения. Однако существующие достижения в области цифровой радиосвязи не всегда возможно применить в чистом виде для построения сетей радиосвязи силовых министерств и ведомств РФ ввиду их особых условий функционирования при решении возложенных на них важных (боевых) задач. Это в полной мере относится и к сетям радиосвязи, разворачиваемым в зонах ЧС.

Существует множество различных сетей связи, которые можно классифицировать по разным признакам, например, по используемым каналам связи: проводные, радиорелейные, космические, тропосферные, транкинговые и т.д, по уровням управления (масштаб), по важности обрабатываемой информации, по степени автоматизации процессов управления, по реализованным стандартам радиосвязи и др. Для организации связи в МЧС России применяются средства электросвязи: радио-, радиорелейной, спутниковой и проводной связи, а также подвижные и сигнальные средства связи, образующие рода связи. Вместе с тем, проведенный анализ показал [2, 51, 54, 62, 80, 81, 70, 107, 120, 132], что за счет современных достижений в сфере инфокоммуникационных (телекоммуникационных) технологий произошла миниатюризация элементной базы средств радиосвязи, что в совокупности с возросшей производительностью средств вычислительной техники, позволило радиосетям различной архитектуры охватывать большее число абонентов. И оказалось, что большая часть новых абонентов является подвижными объектами (ПО) (смартфоны и «гаджеты» граждан, системы, установленные на автомобилях, судах, летательных аппаратах, в том числе и беспилотных). Причем очевидно, что данная тенденция характерна для большего числа существующих радиосетей. Тогда, на множестве

существующих радиосетей, можно выделить особый класс радиосетей – радиосеть с подвижными объектами. Особенностью данного класса радиосетей является то, что при неподвижности объектов в зоне радиосвязи, для них справедливы законы и закономерности, применимые для радиосетей с неподвижными объектами. Общее назначение подразумевает типовой состав ПО для радиосетей такого типа. Радиосредства применяются для организации радионаправлений между пунктами управления, с ПО в движении или стационарными объектами в труднодоступном районе, в зоне пожара, заражения, затопления в качестве резервного или основного средства передачи (приема) всех видов данных, а также линий радиодоступа к сетям связи общего пользования и являются основой радиосетей управления при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных и других неотложных работ (АСДНР) в зонах ЧС. В отсутствии других средств связи радиосредства могут быть единственными средствами связи с органами и объектами управления в зоне ЧС. Развитие интеллекта технических систем для облегчения анализа больших объемов информации лицами, принимающими управленческие решения в том числе в экстремальной обстановке, стало возможно в результате повышения производительности вычислительной техники и ее миниатюризации с учетом совершенствования алгоритмов программного обеспечения. Это привело к появлению различных СППР, сопряженных с АСУ и технически использующие каналы систем связи и систем передачи информации, к ним относятся: система анализа и управления рисками, система оперативного управления и автоматизированная информационно-управляющая система РСЧС, информационные системы «Гранит», "Каскад", "Космоплан", ПК СОД ВСМК, ЕСИМО, автоматизированная система расчёта времени достижения фронтом пожара населённых пунктов, единая государственная автоматизированная система мониторинга радиационной обстановки на территории России и др. [60, 94, 95].

Любая современная АСУ (СППР), для реализации функций передачи информации, использует возможности системы передачи информации, физической основой которой является сеть передачи информации. Топология такой информационной сети представлена на рисунке 1.1. В частности, показано, что в

структуре информационной сети можно выделить два типа сетей: транспортную сеть для передачи информации между узлами коммутации (УК) и сети доступа, создаваемые УК для доступа абонентов ПО к ресурсам информационной сети, предоставления данных о своем состоянии и другой необходимой информации.

Объем информации, передаваемой от различных источников по каналам связи информационных сетей, уже превышает в развитых странах объемы традиционного телефонного трафика. Современные каналы и сети связи создаются для передачи, так называемой мультимедийной информации, которая включает как передачу компьютерной информации, такой как тексты (электронная почта), графика, файлы, изображения, видео, Internet-данные, так и передачу телефонных и телевизионных сигналов, а также трафик АСУ (СППР). В зависимости от вида передаваемой информации для передачи мультимедиа требуются каналы связи с пропускной способностью от 64 кбит/с до 2,048 Мбит/с и выше, что существенно превышает скорости передачи информации, необходимые для передачи телефонного сигнала [41, 42, 48, 49, 52, 54, 57, 78].

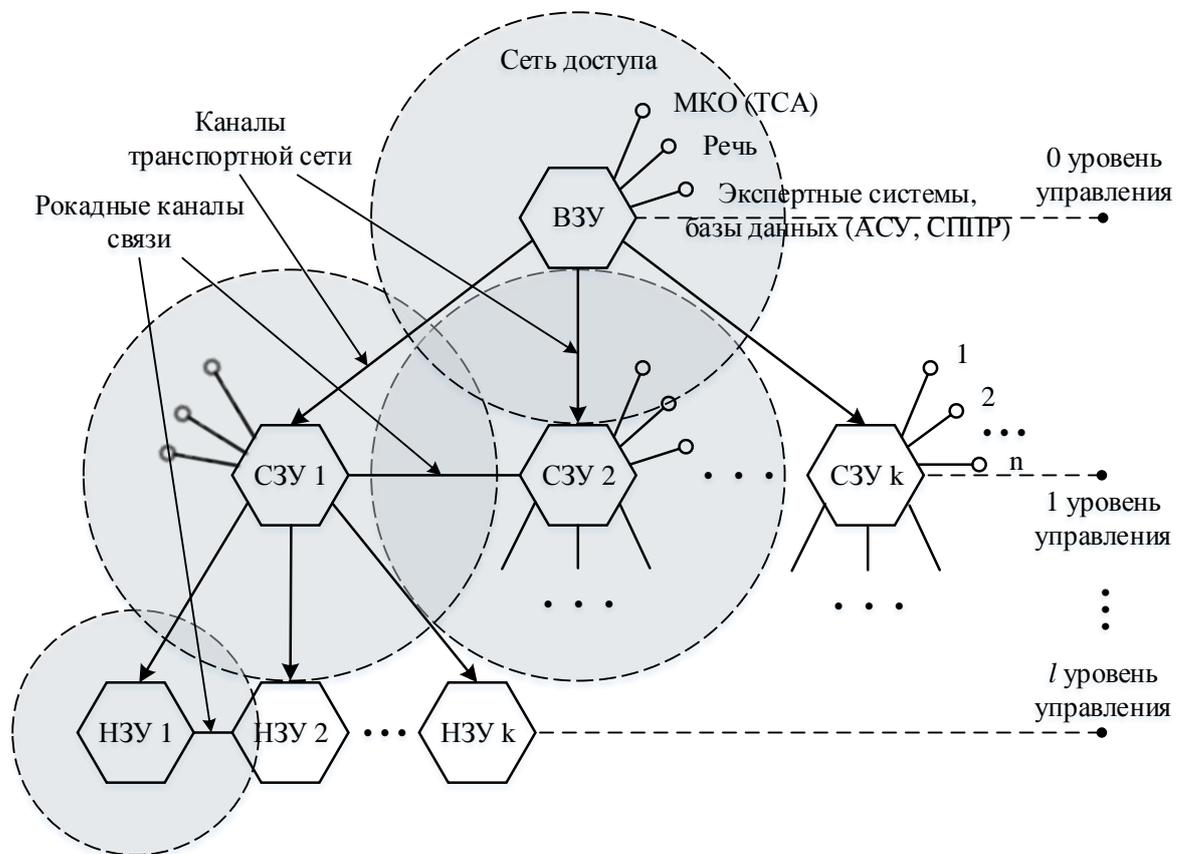


Рисунок 1.1 – Топология информационной сети

В подавляющем большинстве случаев радиосети имеют иерархическую структуру. УК с размещенным на них персоналом операторов представляют собой звенья управления (ЗУ), уровень которых определяется уровнем иерархии. Основой рассматриваемой информационной сети НЗУ с ПО является система радиосвязи метрового диапазона, которая базируется на существующих аналоговых и цифровых ППК типа «Такт» [91, 95, 116, 122, 141]. Множество таких ППК нижних ЗУ образуют в совокупности радиосеть, которая называется комбинированной радиосетью, потому как информация вниз, для подчиненных (младших) ППК, передается в радиосети, а вверх, для вышестоящих (старших) ППК, в радионаправлениях [9, 10]. Анализ особенностей построения и функционирования существующей информационной радиосети такого типа показал, что она имеет иерархическую структуру на основе наземных радиоканалов метрового диапазона, организованных в комбинированные радиосети [13].

Готовность сетей радиосвязи с ПО определяется как готовностью УК различного базирования, так и готовностью ее системы управления. Система управления территориально распределенным объектом включает в себя совокупность функционально взаимосвязанных между собой органов управления, пунктов управления, и средств управления (система связи, комплекс автоматизированных средств управления, а также специальные системы).

Система связи и комплекс АСУ (СППР) являются основным средством и материально-технической основой управления и обеспечивают обмен всеми видами информации в радиосетях, разворачиваемых в зонах ЧС. При этом комплексы средств радиосвязи метрового диапазона должны обеспечивать:

- каналы связи для организации связи между ЗУ радиосети;
- каналы связи для информационных систем (АСС, СППР);
- сети связи для управления обеспечением действий ПО и их абонентов.

Дальности средств радиосвязи метрового диапазона должны позволять устойчиво управлять силами и средствами АСФ с учетом их возможных перемещений и местоположений на местности. Комплексы средств радиосвязи

метрового диапазона ПО должны предусматривать возможность обеспечения связи не менее, чем через одну – две инстанции в случае потери связи со штатными пунктами управления (ретрансляция).

ППК радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС должны обеспечивать:

- автоматическое установление, ведение и восстановление радиосвязи в различных условиях помеховой обстановки с учетом условий ЧС;
- автоматический перевод радиосредств из выключенного состояния в рабочий режим по сигналам оконечной аппаратуры;
- алгоритмическую и техническую совместимость с оконечной аппаратурой взаимодействующих систем управления и комплексов управления связью (АСС) по цепям (сигналам) технологического управления;
- дистанционное управление приемными, передающими и другими устройствами при их размещении в необслуживаемых отсеках машин, агрегатов, сооружений (помещений) и подвижных объектах.

Средства радиосвязи метрового диапазона ПО должны обеспечивать автоматическую непрерывную работу при передаче информации (речь и/или данные) с заданным качеством (своевременностью, достоверностью и безопасностью обмена информацией).

Наиболее близкими по принципам построения цифровых каналов радиосвязи для радиосети в зоне ЧС, являются каналы, построенные на базе стандартов TETRA и DMR, функциональные возможности которых представлены в таблице 1.1 [51, 120]. Указанные функциональные возможности в полной мере актуальны для радиосети разворачиваемой в зоне ЧС учитывая, что основным способом организации радиосвязи в СВФ (СЦ) является радиосеть которая позволяет вести циркулярную работу с большим количеством корреспондентов и требует небольшого расхода радиосредств и рабочих частот.

Одной из главных подзадач, решаемых в зоне ЧС радиосредствами ПО метрового диапазона, является задача формирования информационной сети. Рассмотрим детально данную информационную сеть, построенную на основе существующих радиосредств метрового диапазона.

Таблица 1.1 – Функциональные возможности систем радиосвязи, построенных на основе стандартов TETRA и DMR

№	Функциональные возможности	TETRA	DMR
1.	Поддержка основных видов вызова (индивидуальный, групповой, общий)	есть	есть
2.	Выход на ТФОП	есть	есть
3.	Полнодуплексные абонентские терминалы	есть	нет
4.	Передача данных	есть	есть
5.	Режим прямой связи	есть	есть
6.	Автоматическая регистрация мобильных абонентов	есть	есть
7.	Персональный вызов	есть	есть
9.	Передача статусных сообщений	есть	есть
10.	Передача коротких сообщений	есть	есть
11.	Поддержка режима передачи данных о местоположении от системы GPS/ГЛОНАСС	Только GPS	есть
12.	Возможность установки открытого канала	есть	есть
13.	Множественный доступ с использованием списка абонентов	есть	есть
14.	Наличие стандартного режима ретрансляции сигналов	есть	-
15.	Приоритет доступа/вызова	есть	есть
16.	Динамическая перегруппировка	есть	есть
17.	Избирательное прослушивание	есть	есть
18.	Дистанционное прослушивание	есть	есть
19.	Идентификация вызывающей стороны	есть	есть
20.	Вызов, санкционированный диспетчером	есть	есть
21.	Дистанционное отключение абонента	есть	есть
22.	Аутентификация абонентов	есть	есть

Исследования, проведённые в ряде работ [51, 54, 62, 80, 81, 90, 107, 120, 132], показали, что на построение и функционирование сети радиосвязи, наряду с другими факторами существенное влияние оказывают условия размещения на местности абонентов и УК сети, для связи с которыми используется радиосеть. При этом наибольшую сложность имеют вопросы передачи информации в сетях радиосвязи с ПО при решении ими задач по обеспечению управления группировками и силами РСЧС при проведении АСДНР в зоне ЧС.

В настоящее время для организации радиосетей в зоне ЧС применяются два основных способа: радиосеть и радионаправление. По своему предназначению они

могут быть постоянно действующими, оперативного управления, сеансовыми, резервными, скрытыми и учебными. В каждой радиосети (радионаправлении) одна из радиостанций является главной. При формировании в зоне ЧС системы радиосвязи применяется принцип «от простого к сложному», суть которого заключается в первоочередном обеспечении связью наиболее важных абонентов (направлений) группировки СВФ, АСФ, ПСФ и в дальнейшем наращивании, при необходимости и возможности, сил и средств связи в зоне ЧС с учетом развития обстановки в интересах полного обеспечения связью всех абонентов группировки. В зависимости от назначения, а также от наличия сил, средств и частот базовые радиосети могут иметь структуры, представленные на рисунке 1.2.

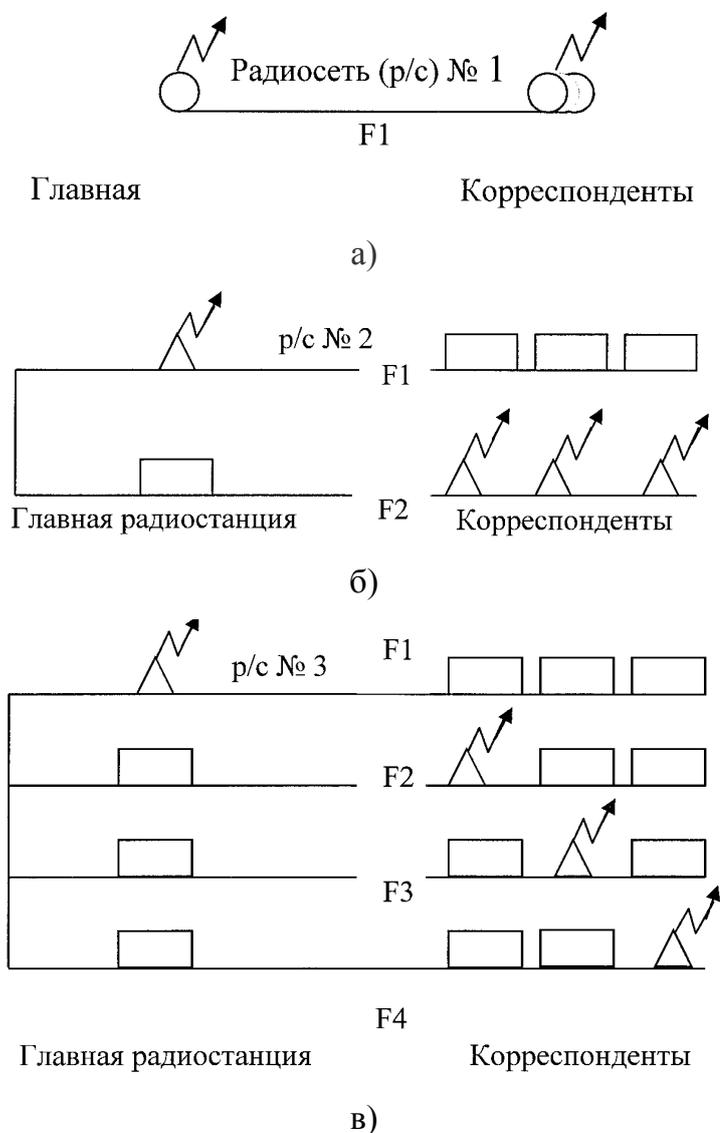


Рисунок 1.2 – Структуры базовых радиосетей: на одной частоте (а), на двух частотах (б), на частотах передатчиков (в)

Информационные сети существующих радиосетей с ПО разворачиваемые в зонах ЧС обладают рядом особенностей:

1. Большинство ЗУ рассматриваемой радиосети являются подвижными, что в свою очередь, требует широкого использования радиоканалов. В случае подвижности абонентов информационной сети первичная сеть должна быть радиосетью.

2. Радиосеть с ПО повторяет структуру системы управления и является иерархической, обеспечивая в основном связи по вертикали. При этом информационная сеть каждого уровня иерархии является радиальной, а в совокупности вся сеть является радиально-узловой [44, 47, 126]. Типовая структура такой радиосети с ПО представлена на рисунке 1.3.

3. Необходимость обеспечения высокой оперативности доставки сообщений в сети требует построения её по принципу закреплённых и готовых к использованию радиоканалов. В сочетании с принципом радиальной сети на каждом уровне иерархии используется так называемая комбинированная радиосеть, когда доведение информации с верхнего звена до нижних осуществляется в одной радиосети, а доведение с нижних звеньев на верхние – в радионаправлениях.

4. Ограничения на массогабаритные и мощностные характеристики радиосредств, расположенных на ПО УК радиосети, требует реализации их в виде радиосредств метрового диапазона, для которых характерна невысокая дальность связи, ограниченная взаимной видимостью корреспондирующих антенн. Именно поэтому при высотах штыревых антенн на подвижных объектах до 5 м и излучаемых мощностях до 100 Вт гарантированная дальность связи составляет 20 – 25 км, а при мощностях до 500 Вт и при антеннах на мачтовых устройствах дальность связи потенциально может достигать 50 км.

Существенным фактором, влияющим на качество функционирования информационной сети, являются реализованные в ней методы синхронизации оборудования УК сети. В современных радиоканалах применяются следующие виды синхронизации [12, 51, 59, 72, 85, 108, 120, 131, 132, 133, 141]:

- тактовая;

- цикловая (кадровая);
- сверх (супер) цикловая (кадровая).

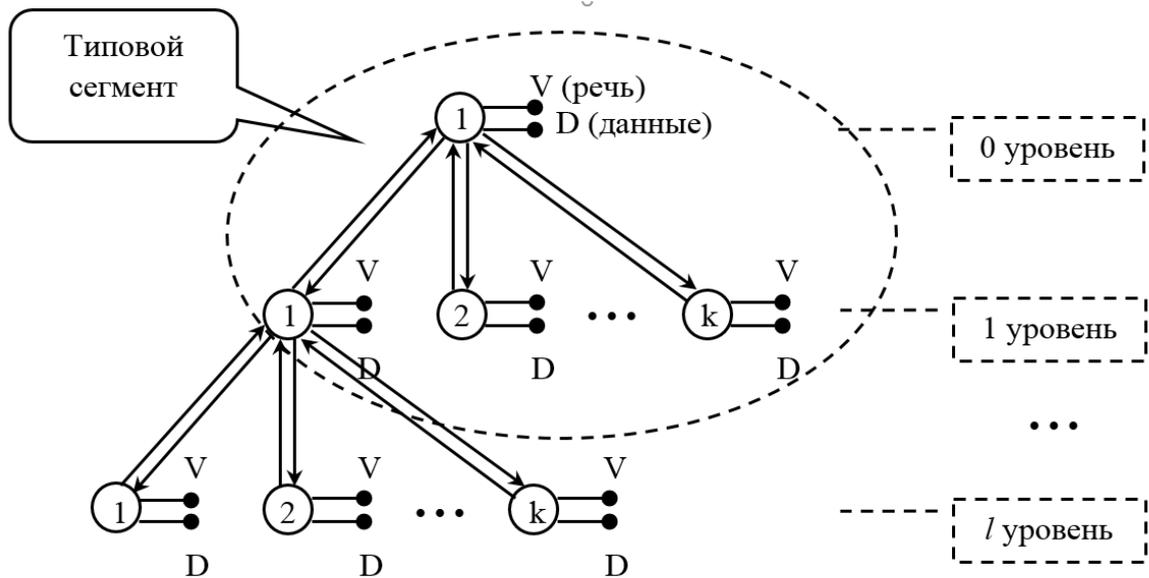


Рисунок 1.3 – Типовая структура информационной сети связи с ПО

Достоинством радиосети с ПО в зоне ЧС, организованной на аналоговых и цифровых ППК, является ее высокая оперативность доставки сообщений ввиду использования выделенных каналов связи первичной сети. Задача установления тактовой синхронизации между корреспондирующими УК решается при передаче каждого информационного кадра независимо, путем передачи в преамбуле передаваемого кадра сигналов тактовой синхронизации [59, 131, 132]. Однако данной сети, вследствие ее структуры и средств ее реализации, присущи следующие недостатки:

1. Большое число используемых каналов связи, выражаемое полосой частот, выделенной для обеспечения информационного обмена между УК [4, 52, 71].
2. Низкая эффективность использования каналов данной сети, не превышающая 2,5 %, что обусловлено, во-первых, закрепленностью каналов связи между УК, и, во-вторых, низкой средней информационной нагрузкой на каждый канал.
3. Невозможностью оперативного использования каналов данной сети новыми абонентами, не предусмотренными в структуре сети на этапе ее организации.

4. Создание первичной сети на основе УКВ радиосредств (метрового) диапазона с дальностью связи до 20-25 км входит в противоречие с необходимостью выполнения задач ПО с рассредоточением последних на больших пространствах и площадях.

5. Радиально-узловой метод построения сети и отсутствие в ней рокадных связей. Выход из строя любого канала приводит к потере всего информационного направления.

6. Низкая пропускная способность существующих УКВ (VHF (ОВЧ)) каналов связи (1200-2400 бит/с), что не позволяет использовать современные коммуникационные технологии.

7. Малая канальная емкость радионаправлений, что не позволяет реализовывать управление канальным ресурсом сети для повышения ее живучести и внедрять дополнительные информационные сервисы в интересах абонентов.

8. Существенная зависимость качества первичных каналов связи по вероятности ошибки  $p_0$  от дальности связи, при этом  $p_0$  может меняться в пределах от  $10^{-2}$  до  $10^{-4}$  в гарантированной зоне связи.

Система оперативного управления (ОУ) и функционирующие в ее рамках системы взаимодействия и обеспечения функционирования ПО организованы в силу мобильности абонентов в основном, на каналах радиотелефонной связи метрового диапазона и обеспечивают документальный и речевой обмен (Voice) между должностными лицами, выполняющими задачи (работы) на данном участке территории в рассредоточенном порядке.

Сеть связи ОУ охватывает все штатные УК сети, разворачиваемые подсети и объекты управления и обеспечивает доведение управляющей информации до всех объектов сети. Терминальные устройства АСУ (СППР, МКО) и другие цифровые устройства сети генерируют цифровые потоки, формирующие трафик данных (Data), содержащий информацию о состоянии ПО (абонентов), результатах выполненных задач (работ) и другой информации (фото- и видеоотчеты и т.п.).

Все виды информации передаются по сети методом коммутации цифровых каналов. Для преобразования речевой информации в цифровую используются

вокодеры или липредеры на минимальной скорости 1200 бит/с (по возможности – 2400 бит/с), которые включаются в коммутационное оборудование. В ряде работ [25, 42, 60, 128, 129, 130] представлены варианты построения цифровой первичной сети радиосвязи для информационной сети ОУ в зоне ЧС, которая бы во многом преодолела недостатки существующей сети с закрепленными каналами, а именно обладала бы большей дальностью связи и требовала бы для своей реализации меньшего числа каналов при большей эффективности их использования. При этом такая сеть должна обеспечить вероятностно-временные характеристики (ВВХ) процесса доведения всех видов сообщений не хуже, чем у существующей сети с учетом готовности ее элементов и подсистем.

## **1.2 Обоснование архитектуры современной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации при реализации в ней временного разделения каналов и ее подсистемы кадровой синхронизации**

Построение современной цифровой информационной сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС требует, как наличия цифровых ППК нового поколения, так и перехода на новые принципы работы всей сети в целом. В частности, это обусловлено следующим [27, 52, 60, 90, 94, 95]:

Во-первых, появляется новый тип пользователей сети – различные СППР, МКО. Например, это относится к функционированию автоматизированной системы управления связью (АСУС) предназначенной для повышения эффективности управления системой и подразделениями связи за счет использования возможностей современных специализированных аппаратно-программных комплексов по обеспечению высокой оперативности и устойчивости сбора, обработки, безопасного хранения и выдачи (отображения) данных о составе системы связи, текущем состоянии связи, контроля времени прохождения оперативной информации и сигналов боевого управления в реальном масштабе времени, а также для проведения расчетов и моделирования предстоящего

развертывания системы связи и оповещения. АСУС органа управления МЧС России в режимах повседневной деятельности, повышенной готовности и ЧС обеспечивает контроль за состоянием действующей системы и подразделений связи. Использование такой системы требует ведение информационного обмена своих звеньев управления между собой. Наличие абонентов такого типа никак не вписывается в концепцию функционирования, существующей информационной сети, обеспечивающей в направлении связи только два канала тональной частоты (ТЧ).

Во-вторых, сложная электромагнитная обстановка (ЭМО) в районах нахождения и функционирования ПО, формируемая все возрастающим числом радиосетей метрового диапазона различного профиля (сотовая связь, транкинговые системы связи, сети связи различных агентств и ведомств). Необходимо также учитывать наличие возможных зон радиоразведки, создания радиопомех и других форм воздействия на систему связи (при нахождении в зоне военного конфликта, контртеррористической операции). Данные обстоятельства требуют применения в рассматриваемой радиосети метрового диапазона высокоэффективных мер помехозащиты. В частности, это возможно либо использованием широкополосных фазоманипулированных сигналов (ШПС-ФМ), либо сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты (ППРЧ).

В-третьих, необходимость выполнения требования непрерывности управления ПО в зоне ЧС обуславливает необходимость обеспечения высокой связности сети в условиях помех. Данное требование обосновывает необходимость организации в рассматриваемой радиосети метрового диапазона рокадных связей между УК одного уровня иерархии.

В-четвертых, анализ современного состояния и тенденций развития современных телекоммуникационных систем и средств радиосвязи, в том числе метрового диапазона, показывает, что магистральным путем их развития является переход к цифровой обработке сигналов там, где традиционно использовались системы аналоговой обработки сигналов.

В качестве современного цифрового ППК можно рассматривать ППК типа «Такт», а также другие существующие цифровые носимые и возимые радиосредства метрового ОВЧ (VHF) диапазона. Современный цифровой ППК радиосвязи метрового диапазона предназначен для повышения устойчивости, мобильности, скрытности и повышения пропускной способности сети радиосвязи с ПО в зоне ЧС в интересах обеспечения информационного обмена основных абонентов в пункте постоянной дислокации (ППД) и при нахождении ПО на маршрутах, в движении между машинами и мобильными группами в условиях помех [29, 111].

Особенности функционирования такого современного ППК и всей сети следующие:

- сеть цифровая, интегрального обслуживания;
- абоненты: речевые, передача данных (АСУ, СППР, МКО и др.);
- современный ППК формирует передающий и приемный цифровые потоки с временным и частотным разделением (в разных направлениях связи). В ППК реализуется помехозащита: предусмотрено использование сигналов с увеличенной базой в интересах СКС;
- скорости передачи в направлении связи цифрового ППК 1.2, 2.4, 4.8, 9.6, 16, 19 Кбит/с;
- направления (каналы) связи сети поражаются (помехи) и восстанавливаются (за счет наличия механизмов отстройки от мешающих воздействий);
- возможность оперативной реконфигурации сети путем перераспределения цифровых потоков ППК по направлениям сети;
- обеспечение автоматической ретрансляции через транзитные УК сети.

Исходя из изложенного, ясно, что современные цифровые ППК и коммутационное оборудование УК обладают потенциальными возможностями по реализации в сети процедуры ВРК для повышения эффективности функционирования сети в целом в интересах основных абонентов (V+D). Суть этой процедуры состоит в том, что все время работы ППК делится на отрезки времени,

являющиеся элементарными каналами (рисунок 1.4), при этом информация от основных абонентов сети будет представлена в дискретной форме. На выходе ППК она будет представлять собой единый цифровой поток данных, информация абонентов в которых будет «упакована» во временные окна (тайм-слоты), структурированные во временном кадре. Длина кадра и временного окна во всей системе постоянна. Данный поток будет доступен для приема территориально распределенным абонентам, причем передача и прием в ППК будет осуществляться на различных частотах. Таким образом, данный поток можно рассматривать как поток, разделяемый во времени и по частоте [86, 115].

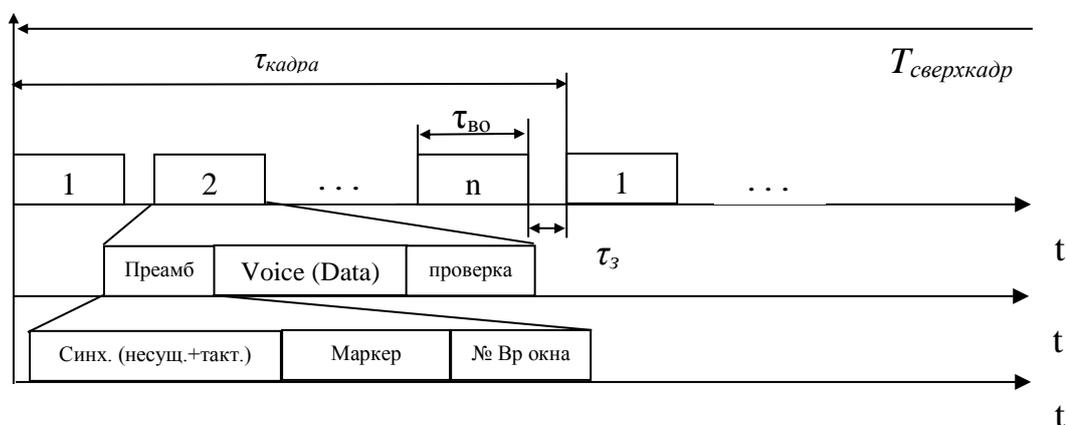


Рисунок 1.4 – Структура временной последовательности с ВРК

Временная форма представления информации абонентов в виде окон допускает относительно простую реализацию коммутационного оборудования в УК сети. Адресом того или иного канала являются номера временных окон в кадре, его формирующих. Отметим, что минимальная скорость передачи в такой радиосети (исходя из требований абонентов) должна быть 1200 бит/с.

Реализация процедуры ВРК в цифровой сети требует обеспечения не только тактовой синхронизации, но и кадровой (цикловой). Вопросы обеспечения тактовой синхронизации при приеме сигналов подробно рассмотрены в [59, 119, 121, 131, 132, 134, 135] и в рамках данной работы считаются успешно решенными на канальном уровне. Для вхождения УК в кадровый синхронизм, его поддержания и восстановления при сбоях в сети применяются специальные устройства и алгоритмы в совокупности, представляющие собой ПКС, которые обеспечивают

подстройку генератора временных меток (начало кадров). Кадровая синхронизация осуществляется путем периодической передачи в структуре временной последовательности специальной кодовой последовательности – СКС, таким образом, во временной последовательности появляется структура, называемая суперкадром.

Существует большое число разнообразных ПКС [86, 115, 119, 131, 132, 134, 135]. Классификацию таких подсистем можно произвести с разных позиций. Однако удобнее всего в ее основу положить назначение аппаратуры передачи данных. С этой точки зрения ПКС можно разбить на два больших класса.

I. Подсистемы с непрерывной кадровой синхронизацией. Такие подсистемы применяются во всех случаях, когда необходимо иметь непрерывный контроль за фазовыми соотношениями дешифрируемых кодовых слов. Они в свою очередь включают:

- подсистемы с явно выраженной синхронизирующей информацией, пересекающейся с информацией кодовых слов. Под пересечением информации понимается то, что при нарушении кадрового синхронизма синхронизирующие сигналы могут выделяться из кодовых слов передаваемой информации;

- подсистемы с явно выраженной синхронизирующей информацией, не пересекающейся с информацией кодовых слов. Такие системы принято называть кодовыми системами с синхронизирующим префиксом. Комбинация префикса в них выбирается такой, которая не встречается в кодовых комбинациях, несущих информацию. Введение помехозащитного кодирования позволяет обнаруживать ошибки и в синхронизирующем префиксе;

- подсистемы с неявно выраженной синхронизирующей информацией, в которых применяются так называемые «коды без запятой»;

- подсистемы, использующие ортогональные самосинхронизирующиеся коды, в которых для синхронизации использованы автокорреляционные свойства избыточных кодов. Следовательно, синхронизация по циклам осуществляется корреляционным методом;

- подсистемы, в которых синхронизирующая информация передается по требованию. Такой принцип синхронизации допустим в двусторонних системах, где для восстановления синхронизма можно посылать многократно одну и ту же заранее установленную кодовую комбинацию, входящую или даже не входящую в алфавит передаваемого сообщения. Важной особенностью таких систем является то, что во время нормальной передачи сообщения используется полностью информационная емкость канала связи и только при нарушениях кадрового синхронизма вводится синхронизирующая информация;

- подсистемы, в которых синхронизирующая информация возникает автоматически в самом передаваемом сообщении только при нарушении кадрового синхронизма, для чего из кодового словаря резервируется одна из кодовых комбинаций;

- подсистемы, основанные на использовании избыточной информации, вводимой для повышения достоверности сообщения. В этих системах при потере кадровой синхронизации значительно возрастает вероятность появления обнаруживаемой ошибки. Эту разницу между вероятностями появления ошибок при несинфазной и синфазной работе можно использовать для осуществления кадровой синхронизации. Системы синхронизации, реализующие указанный принцип, в отношении использования информационной емкости канала являются самыми экономичными и в то же время самыми простыми.

II. Подсистемы кадровой синхронизации с одноразовым запуском. Такие системы находят применение на симплексных и на однонаправленных каналах связи и, главным образом, для передачи коротких сообщений по каналам радиосвязи. Они в свою очередь делятся на:

- подсистемы кадровой синхронизации с пусковыми комбинациями. Пусковая комбинация, в зависимости от качества используемого канала связи, передается такое количество раз, при котором она будет принята с заданной вероятностью;

- подсистемы кадровой синхронизации с фазовым пуском, в которых исключение лишних знаков, принимаемых в начале передачи и не относящихся к передаваемому сообщению, осуществляется введением в систему связи фазового

пуска. Фазовый пуск можно осуществить путем передачи пронумерованных комбинаций, прием которых позволит автоматически определить начало принимаемого сообщения. В качестве комбинации фазового пуска можно также использовать двоичные последовательности Баркера. Но поскольку количество таких последовательностей ограничено, то при работе, например, по радиоканалам могут происходить ложные пуски от соседних радиостанций, что недопустимо;

- подсистемы фазирования с адресно-пусковыми комбинациями. В тех случаях, когда один и тот же канал используется для связи с несколькими абонентами, как это часто имеет место на радиоканалах, сигналы пуска или фазового пуска дополняются сигналами адреса. Эти сигналы обычно подаются после сигналов пуска. К ним предъявляются точно такие же требования, как и к сигналам пуска.

Для анализа принципов построения ПКС наибольший интерес представляют ПКС современных систем сотовой связи, транкинговых систем радиосвязи и систем спутниковой связи [66, 107, 118, 120].

В цифровых транкинговых системах радиосвязи для решения задач кадровой синхронизации в структуре радиоинтерфейса зарезервированы позиции, состоящие из последовательностей бит различной длины и структуры. Например, в транкинговых сетях стандарта APCO 25 цифровой речевой сигнал передается кадрами длительностью 180 мс. Два речевых кадра образуют суперкадр длительностью 360 мс. Любая передача цифровой речи предваряется преамбулой, имеющей длительность 82,5 мс, а заканчивается маркером конца сообщения (сигналом отбоя).

В транкинговых сетях стандарта TETRA V+D реализован метод TDMA [120]. На одной несущей частоте организуется четыре разговорных канала. Каждый кадр имеет длительность 56,67 мс и содержит четыре временных интервала. Последовательность из 18 кадров образует мультикадр длительностью 1,02 с. Один TDMA кадр в мультикадре является контрольным; 60 мультикадров образуют гиперкадр. Каждый временной интервал в составе кадра содержит 510 бит, 432 из которых являются информационными (два блока по 216 бит). В начале временного

интервала передается пакет РА (управление излучаемой мощностью, 36 бит), за ним следует первый информационный блок (216 бит), далее – синхропоследовательность SYNC (36 бит) и второй информационный блок. Соседние временные интервалы разделяются защитными интервалами (GP) длительностью 0,167 мс, что соответствует 6 битам.

В системах сотовой связи широко используются методы множественного доступа с временным разделением (TDMA) и с кодовым разделением (CDMA) [115, 121]. В методе TDMA каждый частотный канал разделяется во времени между несколькими пользователями, т.е. по очереди представляется нескольким пользователям на определенные промежутки времени.

Однако метод TDMA не реализует всех возможностей по эффективности использования спектра, дополнительные резервы открываются при использовании иерархических структур и адаптивного распределения каналов. Преимущество в этом отношении имеет метод CDMA.

Метод CDMA требует точной синхронизации базовой станции системы. Это может быть реализовано, например, при помощи спутниковой геодезической системы GPS, но в результате система сотовой связи оказывается не автономной, что для рассматриваемых систем связи с ПО является критичным.

В методе CDMA нет защитных интервалов (бланков), как в методе TDMA, а большое число знаков в используемых кодовых последовательностях облегчает сохранение конфиденциальности передаваемой информации. Высокая помехоустойчивость CDMA и распределение энергии по широкой полосе частот допускают совместную с CDMA работу некоторого числа узкополосных каналов связи в пределах той же широкой полосы при относительно небольшом уровне взаимных помех. Для реализации метода CDMA требуются высокоскоростные каналы, по сравнению с рассматриваемыми в работе, что не позволяет в полном объеме реализовать преимущества CDMA и порождает технические трудности при реализации в радиостанциях метрового диапазона.

Перечисленные методы, используемые при построении ПКС предназначены для систем связи работающих на частотах свыше 150 МГц, многоуровневые

иерархические системы с использованием спутниковой геодезической системы GPS обладают низкой автономностью и привязаны к инфраструктуре стационарных систем, каналы кадровой синхронизации не предусматривают работу с радиоканалами низкого качества в условиях воздействия помех и, следовательно, непригодны для использования в чистом виде для построения ПКС радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в силу специфики их функционирования.

Анализа систем спутниковой связи (ССС) показывает [42, 107, 115, 118], что многие СССР используют принцип временного разделения каналов с применением широкополосных сигналов. Например, VSAT-сеть на базе станций NEXSTAR которая состоит из двух взаимно независимых по способу доступа сетей: NEXSTAR AA/TDMA и NEXSTAR BOD, построенных на разных принципах разделения ресурса спутникового ретранслятора. В состав земной станции NEXSTAR входят два внутренних блока: BOD IDU и AA/TDMA IDU. Причем блок AA/TDMA IDU расположен рядом с оконечной аппаратурой обработки данных DTE (data terminal equipment); он поддерживает протокол X.25 и имеет три синхронных интерфейса RS-232 (скорость 1,2-19,2 кбит/с).

Земные станции сети "Ямал" обеспечивают передачу информации со скоростью до 2048 Мбит/с (магистральные каналы) и до 192 кбит/с (VSAT-терминалы) и предназначены для организации радиотелефонной связи с различными типами сигнализации, факсимильной связи со скоростью 2,4- 9,6 кбит/с, передачи данных со скоростью не выше 115 кбит/с (синхронные), а также видеоконференцсвязи. В качестве источников сигнала, используются в том числе спутники-ретрансляторы серий "Горизонт" и "Экспресс". Многостанционный доступ к спутниковому ретранслятору обеспечивается методами временного и частотного разделения сигналов. Необходимо отметить, что коэффициент готовности земных станций данной сети должен составлять не менее 0,9999.

В системе Globalstar высокое качество телефонной связи достигается благодаря применению шумоподобных сигналов с кодовым разделением каналов. Это позволяет использовать один и тот же диапазон частот в каждом из 16 лучей,

которые формируются с помощью многолучевых бортовых антенн. Для формирования ШПС используются коды Уолша.

В системе Comsat можно применять метод временного разделения каналов, используя 7 временных кадров.

Однако особенности функционирования ССС (диапазон частот, дальность радиосвязи, топология построения сетей спутниковой связи, сложность обеспечения связи с ПО) накладывают отпечаток на параметры подсистемы кадровой синхронизации ССС. Поэтому использование принципов построения ПКС ССС для разработки ПКС цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС целесообразно и возможно с учетом всех особенностей радиоканалов рассматриваемой радиосети.

В современных системах и средствах радиосвязи вопросы кадровой синхронизации поднимаются при организации на их основе сетей радиосвязи. Например, синхронизацию абонентов сети КВ ППРЧ предлагается вести в одном из двух режимов: активном или пассивном. В пассивном режиме ведущее (синхронизирующее) звено сети с определенной периодичностью по команде от оконечного оборудования данных (ООД) выдает в вызывной канал кадры синхронизации. Абоненты, потерявшие синхронизацию, пытаются принять информацию на своей частотно-временной матрице, не синхронизованной с ведущим звеном. С вероятностью  $1/32$  частоты двух звеньев совпадут, и при условии прохождения информации на данной частоте потерявший частоту абонент примет кадр синхронизации. Кадр синхронизации содержит в себе служебную информацию, необходимую для синхронизации 128-разрядного счетчика абонента. В активном режиме абонент, потерявший синхронизацию, по команде ООД на своей не синхронизованной с ведущим звеном частотно-временной матрице выдает кадр запроса синхронизации (SOS) с адресом ведущего звена. Если ведущее звено системы находится в режиме ожидания вызова, то, в силу выбора законов переключения частот, в какой-то момент времени его частота также совпадет с передаваемой частотой, и состоится прием кадра SOS. Факт приема кадра SOS сообщается ООД, которое принимает решение о выдаче кадра синхронизации на

частотно-временной матрице абонента, запрашивающего синхронизацию. Информация о частотно-временной матрице вызывающего абонента содержится в кадре SOS. Получив кадр синхронизации, абонент синхронизирует свой 128-разрядный счетчик. В активном режиме, в отличие от пассивного, имеется возможность скомпенсировать время распространения по каналу связи.

Исходя из результатов анализа существующей информационной сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС для районов рассредоточения и оценки возможностей модернизированного цифрового ППК, а также возможностей цифрового коммутационного оборудования УК, модернизированная цифровая радиосеть метрового диапазона в зоне ЧС будет иметь структуру, представленную на рисунке 1.5.

Как видно из рисунка представленная модернизированная радиосеть связи сохранила иерархичность построения, появились рокадные связи, обозначенные соответствующими линиями. Внедрение принципов цифровой обработки информации привело к тому, что информация, поступающая от основных абонентов сети, представляется в цифровой форме со скоростью манипуляции 1200 – 2400 бит/с и с помощью мультиплексора – демультиплексора преобразуется в единый поток данных со скоростями от 1.2 до 19 Кбит/с. Далее этот поток поступает на коммутатор каналов, а за тем на временной коммутатор (ВК), в функции которого входит решение задачи распределения каналов по направлениям в установленные отрезки времени. Все время работы ППК при реализации процедуры временного разделения каналов делится на временные окна (каналы) от 1 до  $n$ , кадры от 1 до  $M$  и суперкадры.

Структура суперкадра при ВРК представлена на рисунке 1.6. Необходимость введения защитных интервалов  $\tau_z$  между соседними окнами обусловлена двумя факторами:

- неопределенностью расстояний между УК сети  $\Delta R$  и их динамикой;
- смещением границ кадров из-за нестабильности опорных генераторов  $\gamma$ .

Наличие защитных интервалов между временными окнами в структуре ВРК рассматриваемой радиосети позволит обеспечить кадровый синхронизм между УК

одного уровня иерархии, что в свою очередь обеспечит функциональную готовность рокадных направлений радиосети (ППК Р) к ведению информационного обмена.

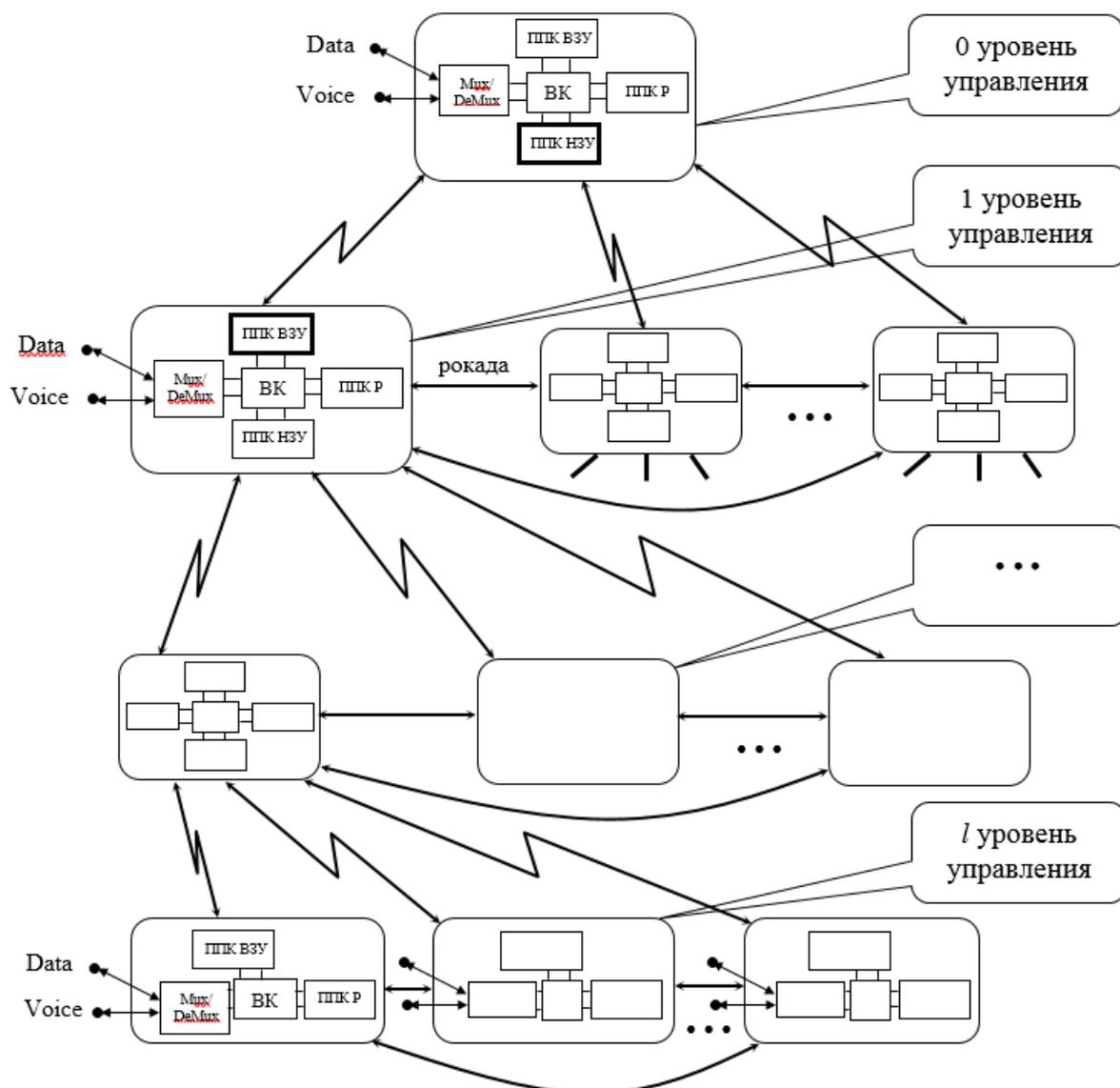


Рисунок 1.5 – Структура модернизированной сети радиосвязи в зоне ЧС

Таким образом, величина защитного интервала может быть определена по формуле (1.1).

$$\tau_3 = \tau_3^c + \tau_3^p, \quad (1.1)$$

где  $\tau_3^c$  – часть защитного интервала для компенсации относительной нестабильности опорных генераторов;

$\tau_3^p$  – часть защитного интервала для компенсации неопределенности знания расстояния между УК сети.

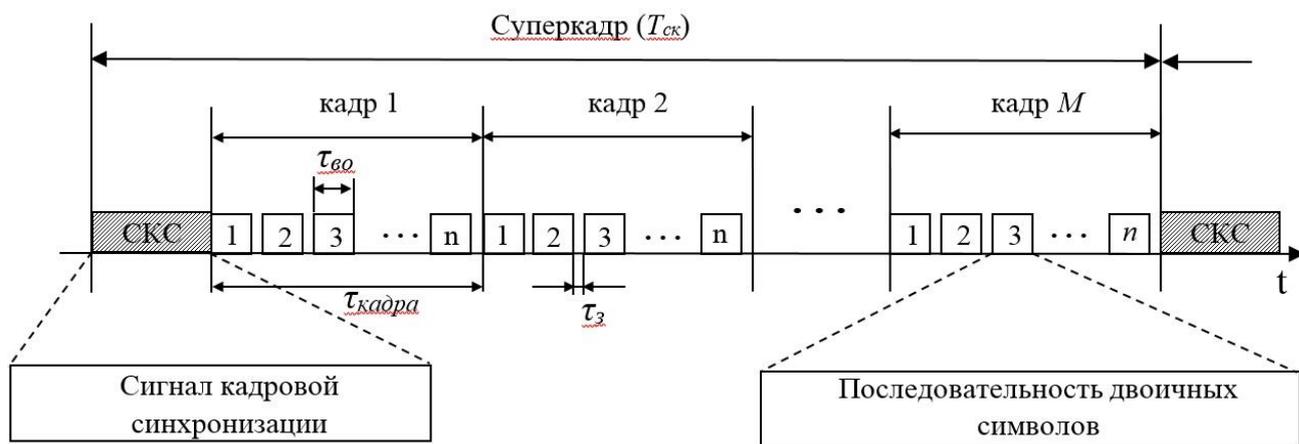


Рисунок 1.6 – Структура временной последовательности с ВРК

В худшем случае смещение временных меток опорных генераторов с одинаковой относительной нестабильностью размещенных на двух УК, находящихся в кадровом синхронизме, происходит с одинаковой скоростью в противоположных направлениях, поэтому часть защитного интервала для компенсации относительной нестабильности опорных генераторов можно рассчитать по формуле (1.2).

$$\tau_3^2 = \frac{T_{СК}}{2 \cdot \gamma}, \quad (1.2)$$

где  $T_{СК}$  – период передачи СКС – период суперкадра;

$\gamma$  – относительная нестабильность опорного генератора.

При определении части защитного интервала для компенсации неопределенности знания расстояния между УК сети наихудшим случаем является тот, при котором неопределенность знания расстояния равна максимальному удалению двух корреспондирующих УК друг от друга, но при применении методов определения фактического расстояния величина неопределенности знания расстояния между УК сети может быть уменьшена. Таким образом, часть защитного интервала для компенсации неопределенности знания расстояния между УК сети может быть рассчитана по формуле (1.3).

$$\tau_3^p = \frac{\Delta R}{c}, \quad (1.3)$$

где  $\Delta R = 0 \dots \Delta R_{max}$  – неопределенность знания расстояния между УК сети;

$c$  – скорость распространения радиоволн.

Максимально возможное число временных окон в кадре  $n$  можно рассчитать по формуле (1.4).

$$n = \left\lfloor \frac{V_{p/l}}{V_{кан}} \right\rfloor, \quad (1.4)$$

где  $V_{p/l}$  – скорость передачи данных в радиолинии;

$V_{кан}$  – скорость в одном временном канале.

Принимая  $V_{p/l} = 19200$  бит/с, а  $V_{кан} = 1200$  бит/с получаем  $n \approx 16$  временных окон (каналов). Передача сигналов кадровой синхронизации осуществляется до начала кадра 1, при этом СКС будет являться частью суперкадра, а структура всех кадров одинакова.

Структура типового сегмента сети радиосвязи для радиальных направлений связи будет иметь вид, представленный на рисунке 1.7.

Передача информации «сверху – вниз» осуществляется в радиосети на частоте  $f_1$ , а «снизу – вверх» в радионаправлениях на частоте  $f_2$ . В состав ППК входят один передатчик (ПРД) и один приемник (ПРМ) метрового диапазона.

Полагаем, что в типовом сегменте сети радиосвязи (рисунок 1.7) установлен кадровый синхронизм, если каждый младший ППК находится в кадровом синхронизме со старшим ППК. В зависимости от числа младших ППК типовые конфигурации ПКС могут иметь вид (рисунок 1.8).

Как уже было сказано выше, реализация процедуры ВРК в сети передачи данных требует решения задачи обеспечения кадровой синхронизации. Эта задача решается с помощью ПКС. В состав ПКС УК входит генераторное оборудование, устройства приема и обработки СКС, а также процедуры, протоколы и алгоритмы работы ПКС в различных режимах.

## Старший ППК

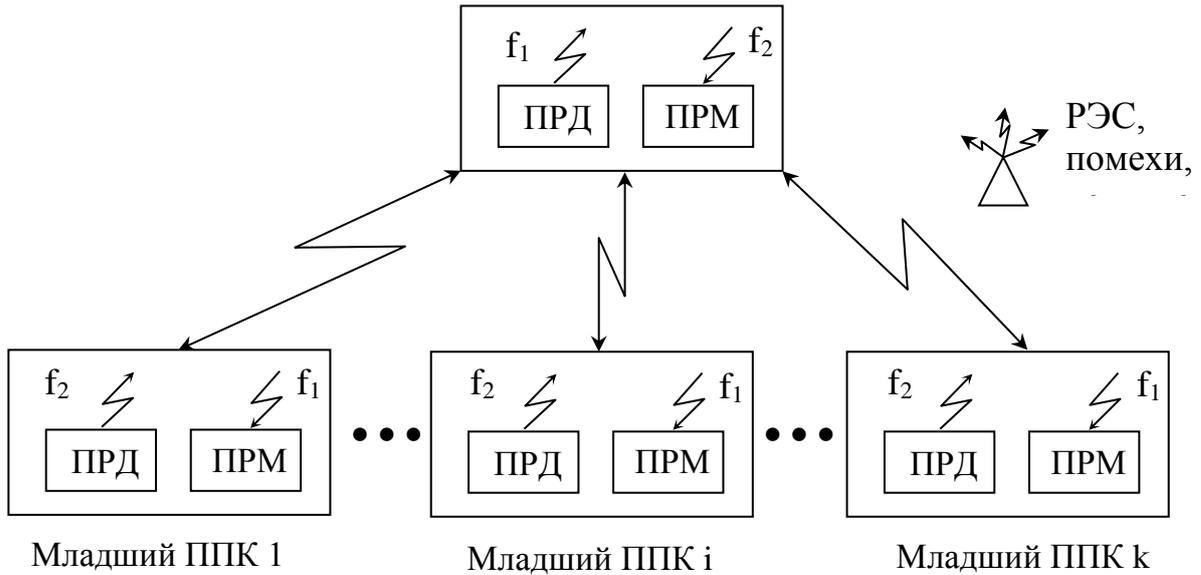


Рисунок 1.7 – Структура ПКС типового сегмента сети радиосвязи в зоне ЧС

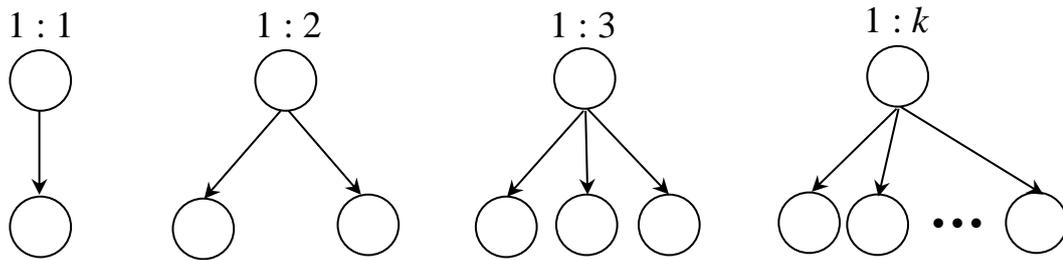


Рисунок 1.8 – Типовые конфигурации ПКС ТС сети

Генераторное оборудование ПКС УК 0 уровня (рисунок 1.3) может выполняться на основе высокостабильного генератора уровня Stratum 1 с гарантированной точностью не ниже  $\pm 1 \times 10^{-11}$ , но не выше  $10^{-14}$  или с привязкой к сигналам спутниковой глобальной системы позиционирования GPS [103]. Генераторное оборудование ПКС УК 1, 2 и 3 уровней ввиду особых условий эксплуатации (подвижность абонентов, факторы ЧС) может быть выполнено на основе генераторов уровня Stratum 2 с точностью не ниже  $\pm 1.6 \times 10^{-8}$  или на основе генераторов уровня Stratum 3 с точностью не ниже  $\pm 4.6 \times 10^{-6}$ . Построение устройств генерации СКС зависит от вида и структуры СКС и достаточно подробно описано в литературе [17, 21, 30, 31, 32, 121, 131, 132, 134, 135]. Алгоритмы и

протоколы работы ПКС для каждой системы передачи данных имеют свои особенности и в чистом виде не могут быть использованы для рассматриваемой модернизированной радиосети передачи данных с ПО для зоны ЧС.

Структурно элементы ПКС могут входить в состав ППК или выполняться в виде отдельных блоков и систем УК. Метки времени, синтезируемые ПКС для оборудования своего УК, доводятся до потребителей (мультиплексер – демультимплексер, коммутатор каналов, ВК) по внутренним линиям связи. В состав ПКС сети в целом входят ПКС всех УК сети, а также алгоритмы и протоколы их функционирования. ПКС модернизированной радиосети должна обеспечивать следующие режимы:

1. Режим принудительной кадровой синхронизации узлов сети при первоначальном развертывании ее элементов.

2. Режим периодической принудительной кадровой синхронизации узлов сети путем передачи СКС ПКС старшего УК в каждом типовом сегменте сети с периодом  $T_{ск}$ .

3. Режим кадровой синхронизации УК по запросу. При этом УК, потерявший кадровый синхронизм генерирует сигнал «Запрос СКС» для ПКС старшего УК своего типового сегмента, после чего процедура установления кадровой синхронизации производится от ПКС старшего УК данного типового сегмента.

Исходя из изложенного, ПКС модернизированной цифровой радиосети метрового диапазона с точки зрения источника СКС является централизованной, развязанной с точки зрения независимости процессов установления кадровой синхронизации каждого типового сегмента, с явно выраженной синхронизирующей информацией, с реализацией режима принудительной синхронизации и режима синхронизации по запросу. На рисунке 1.9 стрелками показаны направления распространения СКС в модернизированной цифровой радиосети с ПО в зоне ЧС. Серым цветом обозначен центральный УК, который инициирует процедуру установления кадрового синхронизма в сети при ее первоначальном развертывании. Пунктирными линиями обозначены

дополнительные (рокадные связи). Наличие рокадных связей повышает связность сети, что позволит эффективнее организовать маршруты информационного обмена между ее абонентами в случаях пропадания основных каналов.

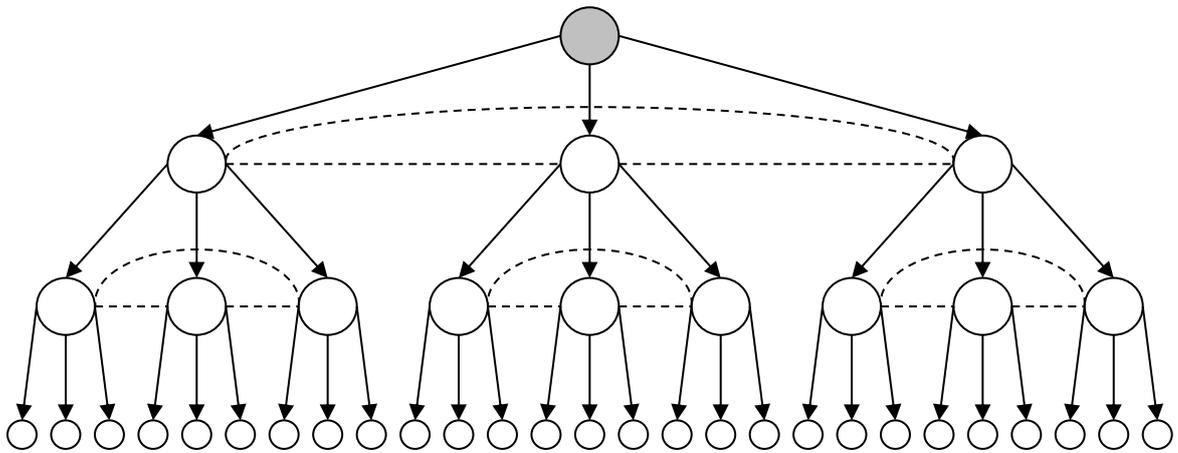


Рисунок 1.9 – Схема распространения СКС в радиосети

Необходимо отметить, что подробные описания параметров работы ПКС различных существующих систем и сетей радиосвязи, являются, как правило, закрытой информацией, что существенно затрудняет процесс анализа. Таким образом, возникает необходимость построения ПКС для модернизированной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона на базе нового ППК со сходными принципами построения, со структурой суперкадра (рисунок 1.6) и СКС, а также определения основных параметров ПКС и ориентированной на применение в подразделениях МЧС при выполнении ими задач по ликвидации ЧС в рассредоточенном порядке, а также при совершении ими маневренных действий в зоне ЧС.

### **1.3 Системный анализ помеховой обстановки при организации направлений радиосвязи метрового диапазона в зоне чрезвычайной ситуации, сформированных приемо-передающим комплексом с временным разделением каналов**

Из изложенного выше понятно, что значимость качественной работы ПКС для работы информационной сети, а, следовательно, и для обеспечения ОУ объектами сети будет чрезвычайно высока. Именно поэтому обеспечение

надежного функционирования данной подсистемы в ходе выполнения ПО задач (боевых задач) в рассредоточенном порядке в зоне ЧС будет рассматриваться как одна из первоочередных задач.

Известно, что защита радиосвязи от радиопомех – это комплекс организационных и технических мероприятий по обеспечению своевременного прохождения информации по радиоканалам. Помехи могут быть преднамеренные и непреднамеренные. Преднамеренными называются помехи, которые специально создаются в целях затруднения или срыва работы средств радиосвязи. Преднамеренные помехи бывают прицельными и заградительными. Непреднамеренные помехи: взаимные – от радиоизлучений своих радиостанций и других РЭС, атмосферные (природные) – от различных природных явлений, местные (промышленные) – от индустриальных источников помех. По интенсивности воздействия на РЭС помехи подразделяются на слабые, сильные и подавляющие.

В процессе установления и поддержания кадрового синхронизма в типовых сегментах радиосети (рисунок 1.9) в радиоканалах будут передаваться СКС, которые на входе приемника ППК, представляют собой смесь полезного сигнала и помех, действующих в радиоканале (1.5).

$$Z(t) = \mu(t)S(t) + n(t), \quad (1.5)$$

где  $Z(t)$  – совокупность переданного сигнала СКС и сигналов помех;

$S(t)$  – переданный СКС;

$\mu(t)$  – мультипликативная помеха;

$n(t)$  – аддитивная помеха.

Учитывая, что помехи, действующие в канале радиосвязи, являются случайными процессами, можно утверждать, что отдельные их характеристики носят вероятностный характер. Тогда при оценке параметров помеховой обстановки удобно использовать значения величин, усредненных по времени или их математические ожидания на временных интервалах наблюдения в точке

приема полезного радиосигнала. С учетом вышеизложенного мощность сигнала на входе приемника ППК можно определить по известной формуле (1.6) [68, 69].

$$P_c = P_{npd} \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot G_1 \cdot G_2 \left( \frac{\lambda \cdot F}{4 \cdot \pi \cdot r} \right)^2, \quad (1.6)$$

где  $P_{npd}$  – мощность передатчика;

$\eta_1$  и  $\eta_2$  – коэффициенты полезного действия фидеров передающей и приемной антенны соответственно;

$G_1$  и  $G_2$  – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн соответственно;

$F$  – множитель ослабления для реальных условий распространения радиоволн;

$\lambda$  – длина волны;

$r$  – расстояние от передатчика до приемника.

Мощность теплового шума в приемнике можно определить по формуле (1.7).

$$\sigma_{ш}^2 = K \cdot T \cdot \Delta F, \quad (1.6)$$

где  $K = 1,38 \cdot 10^{-23}$  [Вт/Гц] – постоянная Больцмана;

$T$  – температура окружающей среды, [К];

$\Delta F$  – полоса частот приемника.

Тогда с учетом многообразия помех в зоне ЧС отношение сигнал/шум ( $h_0^2$ ) возможно рассчитать по формуле (1.7).

$$h_0^2 = \frac{P_c}{\sigma_{ш}^2 + P_n^\Sigma}. \quad (1.7)$$

где  $P_n^\Sigma$  – суммарная мощность преднамеренных и непреднамеренных помех, действующих в полосе частот приемника.

Исследование типов помех и характера их воздействия на ПКС, а также влияние других факторов на отношение сигнал/шум на входе приемника СКС в ПКС УК не лежит в плоскости настоящей работы, поэтому учитывая наличие зависимости (1.8) удобно от отношения сигнал/шум перейти к вероятности искажения одного двоичного символа ( $p_o$ ). Тогда изменения помеховой обстановки

будут приводить к изменению отношения сигнал/шум, а это в свою очередь будет изменять значение  $p_o$ . Таким образом, задавая диапазоны изменения значений  $p_o$  можно моделировать различные условия приема СКС в том числе и помеховые воздействия различного характера, что, конечно, является допущением.

$$p_o = f(h_o^2, \alpha, \beta), \quad (1.8)$$

где  $\alpha$  – вид манипуляции СКС;

$\beta$  – способ обработки СКС в ПКС приемника.

Для защиты от помех в цифровых ППК принимаются меры для защиты от помех и предусмотрены различные режимы их работы. Так в одном из режимов функционирования модернизированной системы радиосвязи будут использоваться узкополосные сигналы и реализоваться принцип адаптивной смены заранее подготовленных частот, что проще, но не всегда эффективно при реализации на практике. В современных ППК применяются ШПС с расширением спектра по времени и/или по частоте, что существенно повышает помехоустойчивость радиоканалов, однако усложняет аппаратуру радиосредств и систем коммутации, и приводит к снижению их надежности. [50, 53, 64, 30, 31, 32, 131, 132].

Так как помеховая обстановка в районе выполнения задач ПО ТС рассматриваемой радиосети при моделировании задается значением вероятности искажения одного двоичного символа ( $p_o$ ), то необходимо отметить, что на значение данного параметра влияет не только уровень преднамеренных и непреднамеренных помех, но и уровень мощности полезного радиосигнала на входе приемника, существенно зависящий от расстояния до передатчика и условий распространения радиосигнала. На рисунке 1.10 показаны идеализированные (по форме) зоны радиовидимости и соответствующие им значения вероятности искажения одного двоичного символа. На границе зоны с радиусом  $R_1$  значение вероятности ошибки  $p_o = 10^{-3}$ , а на границе зоны с радиусом  $R_2$   $p_o = 10^{-2}$ . Таким образом  $p_o$  внутри заштрихованной области принимает значения от  $10^{-3}$  до  $10^{-2}$ . Данные значения соответствуют соответственно умеренным и сильным помехам, это означает, что в заштрихованной зоне не обеспечиваются условия для ведения радиообмена ППК старшего УК с ППК младших УК.

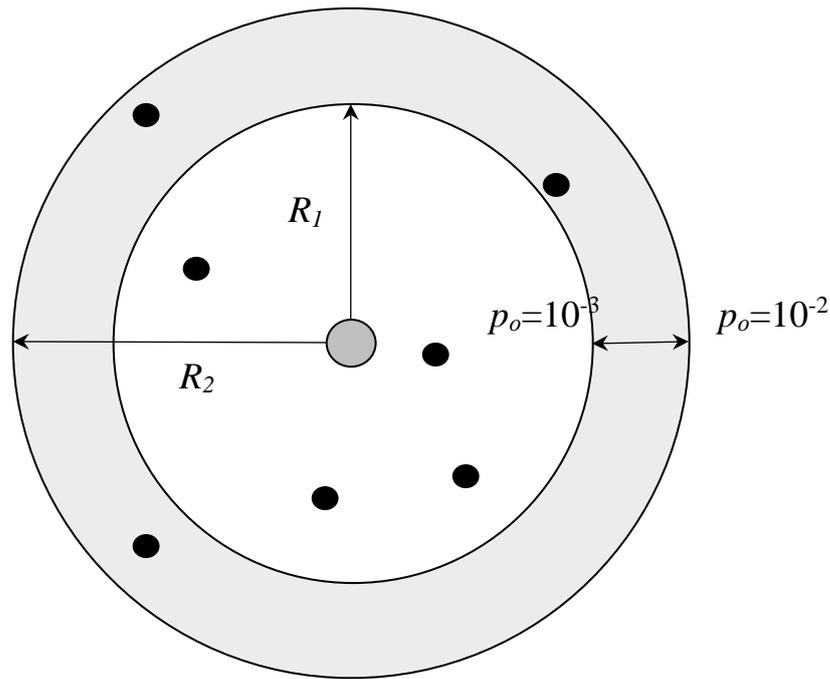


Рисунок 1.10 – Зоны радиовидимости ТС сети в различных режимах функционирования ППК

Для определения геометрического потенциала расширения зоны покрытия с радиусом  $R_1$  до радиуса  $R_2$  воспользуемся формулой (1.9).

$$S = \pi R^2, \quad (1.9)$$

где  $S$  – площадь круга;

$R$  – радиус круга.

Подставляя примерные значения для  $R_1 = 40 \cdot 10^3$  м и  $R_2 = 50 \cdot 10^3$  м в формулу (1.9), получим значения  $S_1 = 5024 \cdot 10^3$  м<sup>2</sup> и  $S_2 = 7850 \cdot 10^6$  м<sup>2</sup>. Тогда площадь заштрихованного участка  $\Delta S = S_2 - S_1 = 7850 \cdot 10^6 - 5024 \cdot 10^6 = 2826 \cdot 10^6$  м<sup>2</sup>. Таким образом, показано, что обеспечив возможность обмена информации при низких значениях  $p_o$  можно существенно расширить зону радиосвязи ТС сети без применения ретрансляции. Данное обстоятельство обуславливает необходимость закладывать в модернизированных ППК возможность их работы в двух режимах:

1. Обычный режим (радиус ТС =  $R_1$ ).
2. Режим работы на предельных дальностях радиовидимости (радиус ТС =  $R_2$ ).

Реализация в модернизированных ППК двух режимов позволит обеспечить информационный обмен младшего ППК ТС сети со старшим ППК ТС сети при его нахождении в заштрихованной зоне неуверенной радиосвязи без применения механизмов ретрансляции.

Таким образом становится ясно, что в районе выполнения задач (зоне ЧС) имеется достаточно возможностей для снижения помехоустойчивости радиоканалов модернизированной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС и ее канала кадровой синхронизации. Возможность наличия имитационных помех и их влияние на ПКС будут рассмотрены далее.

#### **1.4 Обоснование выбора показателей эффективности функционирования подсистемы кадровой синхронизации цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации. Постановка задачи исследования и направления ее решения**

Информационные сети связи основных абонентов сети с ПО в зоне ЧС являются вторичными сетями, и при выполнении ПО задач в рассредоточенном порядке и совершении ими маневренных действий будут создаваться на базе первичной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона. Последняя будет строиться на основе цифровых ППК и цифровом коммутационном оборудовании УК.

Первичная цифровая сеть связи будет создаваться, во-первых, на принципе ВРК и, во-вторых, на принципе коммутации каналов в узлах первичной сети. Такой подход позволит создать радиально-узловую сеть связи с рокадными каналами. Последнее позволит реализовать, во-первых, принцип взятия управления каждым УК на одну ступень выше по уровню иерархии и, во-вторых, существенно повысить связность сети. В-третьих, необходимость обеспечения высокой помехозащищенности канала синхронизации рассматриваемой сети требует использования в цифровых ППК синхросигналов с увеличенной базой счет

временной составляющей. При этом каналы такой сети будут строиться как адаптивные.

В ходе выполнения задач ПО в зоне ЧС в рассредоточенном порядке на их ПКС будут воздействовать помехи и сигналы РЭС соседних УК, а также непреднамеренные помехи от радиосредств различных министерств, агентств и ведомств вследствие недостаточной координированности их работы с соответствующими службами и организациями. Необходимо отметить, что непредсказуемость условий ЧС, проведение контртеррористических операций или ведение боевых действий значительно усугубляют сложность помеховой обстановки в зоне ЧС.

В качестве показателя качества функционирования информационной сети в целом удобно использовать функцию готовности  $K_G(t)$ . Она определяется как вероятность того, что в произвольный момент времени  $t$  сеть оказывается в работоспособном (исправном) состоянии, т.е. готова к передаче данных:

$$K_G(t) = \sum_{i=0}^{k-1} P_i(t), \text{ если } k \leq (N + 1) / 2 \quad (1.10)$$

$$K_G(t) = 1 - \sum_{j=0}^{k-1} P_j(t), \text{ если } k > (N + 1) / 2, \quad (1.11)$$

где  $P_i(t)$  и  $P_j(t)$  – вероятности нахождения сети в момент времени  $t$  соответственно в  $i$ -м исправном (готовность к передаче данных) и  $j$ -м отказовом состояниях (не готовность к передаче данных);

$N + 1$  – общее число состояний сети;

$k$  – число состояний сети в которых она готова к передаче данных.

Предел функции готовности при  $t \rightarrow \infty$  называется **стационарным коэффициентом готовности**  $K_G$  (ГОСТ 27.002 – 2015). Он служит интегральным (комплексным) показателем надежности восстанавливаемого изделия:

$$K_G = \lim_{t \rightarrow \infty} K_G(t) \quad (1.12)$$

На практике считают [53, 104], что

$$K_G = \frac{T_o}{(T_o + T_\epsilon)} = 1 - \frac{T_\epsilon}{(T_o + T_\epsilon)}, \quad (1.13)$$

где  $T_o$  – общее время работы сети;

$T_\epsilon$  – время, потраченное на восстановление работоспособного состояния сети.

Для пользователей коэффициент готовности в наибольшей степени выражает понятие надежности сложных информационных систем.

Для аппаратуры передачи данных (АПД) цифровых радиосредств массового применения достаточно, чтобы коэффициент готовности каналов передачи данных без резервирования находился в пределах 0,9... 0,98. Для АПД радиосредств повышенной надежности  $K_G$  должен быть не менее 0,99, что означает примерно 3,5 суток простоя в год, при этом для некоторых специализированных вычислительных систем – не менее 0,9999 («четыре девятки»). Классификация систем по уровню надежности приведена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Классификация систем по уровню надежности

Коэффициент готовности $K_G$	Название
0,99	Обычная
0,999	Высокой надежности
0,9999	Отказоустойчивая
0,99999	Безотказная

Коэффициент готовности для информационной радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС должен быть не ниже 0,995, следовательно, такая сеть является сетью высокой надежности. В дальнейшем для корректного отображения сущности показателя надежного функционирования ПКС радиосети коэффициент готовности будет называться коэффициентом функциональной готовности.

Другим показателем, отражающим эффективность функционирования систем передачи информации и характеризующим соотношение передаваемой

между двумя абонентами полезной и служебной информации, выступает коэффициент кадровой эффективности (1.14) [53, 104].

$$\eta = \frac{t_{ни}}{t_{ни} + t_{сли}} = 1 - \frac{t_{сли}}{t_{ни} + t_{сли}}, \quad (1.14)$$

где  $t_{ни}$  – время передачи полезной информации;

$t_{сли}$  – время передачи служебной информации.

Проведенный анализ показал, что готовность цифровой сети радиосвязи метрового диапазона к информационному обмену зависит как от вероятности установления кадрового синхронизма в сети, так и от коэффициента кадровой эффективности, значение которого напрямую зависит от атрибутивных параметров ПКС. Таким образом, в качестве обобщенного показателя эффективности функционирования ПКС, который будет отражать готовность цифровой сети радиосвязи метрового диапазона к информационному обмену, целесообразно использовать коэффициент функциональной готовности ПКС, вычисляемый по формуле (1.15), причем  $K_2^{сети} = f(K_2^{ПКС})$ .

$$K_2^{ПКС} = \eta \cdot P_{уст\ кс}^{сети}, \quad (1.15)$$

где  $P_{уст\ кс}^{сети}$  – вероятность установления кадрового синхронизма в сети.

Отсюда следует, что задаваясь требуемым значением показателя  $K_2^{ПКС}$  можно вычислить требуемое значение коэффициента кадровой эффективности и требуемое значение вероятности установления кадрового синхронизма в сети по формуле (1.16).

$$\eta_{треб} = P_{уст\ кс\ треб}^{сети} = \sqrt{K_2^{ПКС\ треб}} \quad (1.16)$$

В результате проведенного анализа [6 – 25, 30, 31, 32, 65, 67, 104, 131, 132] выявлено, что основными атрибутивными параметрами, влияющими на эффективность функционирования ПКС, являются:

- относительная нестабильность опорных генераторов  $\gamma$ ;
- норма управляемости сети  $k$ ;
- неопределенность знания расстояний между УК сети  $\Delta R$ ;

- величина защитного интервала  $\tau_3$ ;
- структура и вид СКС;
- длина синхропоследовательности  $L_{скс}$ ;
- вероятность ошибки на двоичный символ передаваемых данных  $p_0$ ;
- пороги приема (обработки) СКС.

Исходя из изложенного, для обеспечения требуемого уровня функциональной готовности ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона в условиях помех необходимо определить оптимальные атрибутивные параметры ПКС, которые дадут максимум коэффициента функциональной готовности ПКС, что, в свою очередь, позволит повысить готовность сети в целом. Для нахождения оптимальных параметров ПКС необходимо разработать программно-математический и методический аппарат для максимизации коэффициента кадровой эффективности подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона на основе оптимизации ее периода коррекции при обеспечении требуемых и допустимых значений вероятностных характеристик процесса установления кадрового синхронизма и в условиях помех (1.17).

$$\eta = f(T_{ск\ onm}(\tau_3^2), \gamma, \Delta R, \tau_{во}, L_{скс}) \rightarrow \max \quad (1.17)$$

$$\tau_3 \in (\tau_3^{\min}, \tau_3^{\max}), \gamma \in (\gamma_{\min}, \gamma_{\max}), L_{скс} = f(P_{уст\ кс}^{TC\ mp}, P_{лс}^{TC\ oon})$$

$$\tau_{во} = const, \Delta R \leq \Delta R_{\max}, \eta \geq \eta_{mpеб}$$

Решение общей задачи требует решения следующих частных подзадач:

1. Анализ особенностей функционирования разрабатываемой цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС и особенностей функционирования ее ПКС на этапе вхождения в синхронизм и этапе синхронной работы с учетом ВРК и в условиях помех.
2. Разработка математической модели функционирования ПКС типового сегмента цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС.
3. Разработка алгоритмов нахождения порогов приема синхросигнала в ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях помех.

4. Разработка методики оптимизации периода коррекции ПКС для обеспечения требуемой функциональной готовности модернизированной цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС с учетом ВРК и в условиях помех.

5. Разработка технических предложений по построению ПКС, модернизированной цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС.

Решению поставленных задач и посвящена настоящая диссертационная работа.

### **Выводы по первому разделу**

Анализ особенностей построения и алгоритмов функционирования модернизированной цифровой сети радиосвязи с ПО в зоне ЧС, а также роли и места ПКС в такой сети позволил сделать следующие выводы.

1. Существующие информационные сети радиосвязи метрового диапазона разворачиваемые в зоне ЧС обладают помимо достоинств рядом недостатков:

- большое число используемых каналов связи, выражаемое полосой частот, выделенной для обеспечения информационного обмена между УК;
- низкая эффективность использования каналов данной сети, не превышающая 2,5 %, что обусловлено, во-первых, закрепленностью каналов связи между УК, и, во-вторых, низкой средней информационной нагрузкой на каждый канал;
- невозможностью оперативного использования каналов данной сети новыми абонентами, не предусмотренными в структуре сети на этапе ее организации;
- создание первичной сети на основе УКВ радиосредств (метрового) диапазона с дальностью связи до 20-25 км входит в противоречие с необходимостью выполнения задач ПО с рассредоточением последних на больших пространствах и площадях;

- радиально-узловой метод построения сети и отсутствие в ней рокадных связей. Выход из строя любого канала приводит к потере всего информационного направления;

- низкая пропускная способность существующих УКВ (VHF (ОВЧ)) каналов связи (1200-2400 бит/с), что не позволяет использовать современные коммуникационные технологии;

- малая канальная емкость радионаправлений, что не позволяет реализовывать управление канальным ресурсом сети для повышения ее живучести и внедрять дополнительные информационные сервисы в интересах абонентов;

- существенная зависимость качества первичных каналов связи по вероятности ошибки  $p_0$  от дальности связи, при этом  $p_0$  может меняться в пределах от  $10^{-2}$  до  $10^{-4}$  в гарантированной зоне связи.

2. Построение модернизированной цифровой информационной сети радиосвязи метрового диапазона требует, как наличия цифровых ППК нового поколения, так и перехода на новые принципы работы всей сети в целом. Это обусловлено появлением нового типа пользователей сети – передача данных (АСУ, СППР, МКО и др.), сложной ЭМО в районах выполнения задач ПО, необходимостью выполнения требования по непрерывности ОУ ПО и существующими принципами построения цифровой каналоформирующей и коммутационной аппаратуры.

3. Реализация процедуры ВРК в модернизированной цифровой информационной сети радиосвязи метрового диапазона позволит повысить качество обслуживания абонентов сети и устранить ряд недостатков существующей информационной сети. Однако это требует разработки архитектуры ПКС, а также создания научно – методического аппарата нахождения ее оптимальных атрибутивных параметров с учетом функционирования всей сети радиосвязи в условиях помех.

4. Источники помех в зоне ЧС имеют достаточно возможностей по снижению помехоустойчивости направлений модернизированной цифровой

радиосети метрового диапазона и ее канала кадровой синхронизации с помощью различных непреднамеренных и имитационных помех от соседних РЭС.

5. Обеспечение требуемой функциональной готовности цифровой сети радиосвязи метрового диапазона к информационному обмену в условиях помех заключается в нахождении оптимальных параметров ПКС, которые доставят максимум коэффициенту кадровой эффективности ПКС, который повысит коэффициент функциональной готовности ПКС, что в свою очередь обеспечит повышение функциональной готовности сети в целом.

## **2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСТАНОВЛЕНИЯ КАДРОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ В ТИПОВОМ СЕГМЕНТЕ ЦИФРОВОЙ РАДИОСЕТИ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ**

### **2.1 Структура и режимы функционирования подсистемы кадровой синхронизации цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех**

Анализ показал [6 – 25, 30, 31, 32, 65, 67, 104, 131, 132], что в процессе функционирования цифровой радиосети метрового диапазона с рокадными связями (рисунок 1.5) возможны следующие режимы работы ее ПКС как в обычных условиях функционирования, так и в условиях помех:

- передача СКС при первоначальном установлении кадрового синхронизма в сети;
- принудительная периодическая передача СКС;
- передача СКС по запросу.

Режим первоначального установления кадрового синхронизма в сети путем передачи СКС заключается в следующем. Центральный УК сети (рисунок 1.9) передает нижестоящим по уровню иерархии УК сигнал кадровой синхронизации. На рисунке 2.1 представлен типовой состав оборудования УК, в частности обозначено, что младший ППК типового УК обеспечивает связь с вышестоящим по уровню иерархии УК, старший ППК обеспечивает связь с нижестоящим по уровню иерархии УК, а ППК рокадной связи обеспечивает связь по рокадной связи.

Необходимо отметить, что в состав УК самого нижнего уровня иерархии рассматриваемой сети входит младший ППК и ППК рокадной связи, и для корректного функционирования его оборудования также требуется СКС. Центральный УК формирует СКС на основе сигналов от генераторов вышестоящих

по иерархии УК, либо от местного опорного генератора сигналов высокой стабильности.

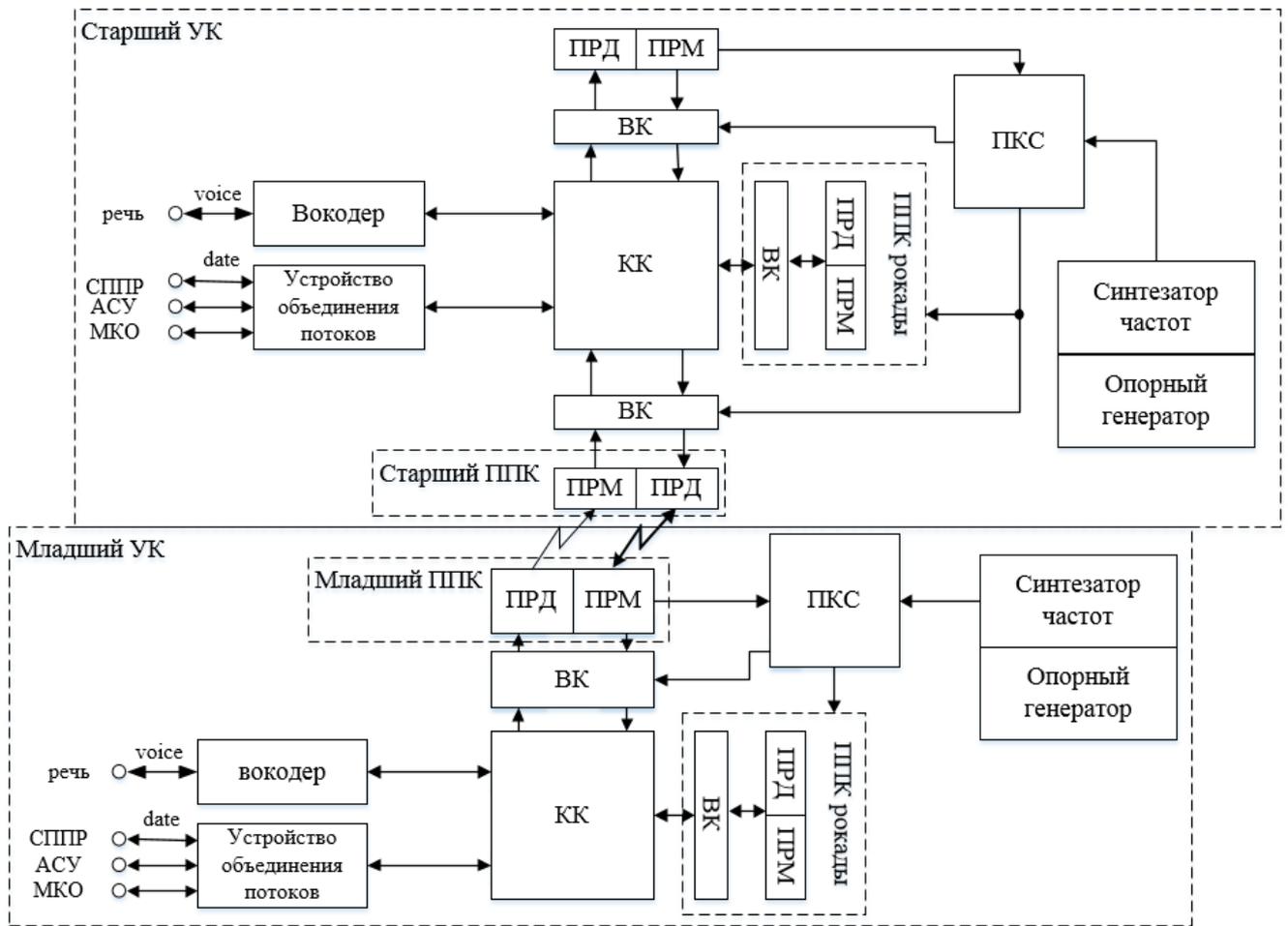


Рисунок 2.1 – Примерный состав оборудования УК различных уровней иерархии сети

Схема взаимодействия ПКС с оборудованием типового УК сети, при формировании СКС, его приеме и выдаче временных меток во временной коммутатор каналов (ВКК), представлена на рисунке 2.2. На основании принятого от вышестоящего УК СКС, ПКС нижестоящего УК настраивает метки времени для ВКК своего УК и при необходимости по команде ВКК формирует СКС для выдачи его на УК нижестоящего уровня иерархии.

Введем допущение о том, что время обработки СКС на каждом УК сети равно нулю. Тогда временные диаграммы распространения СКС по сети при начальном установлении кадрового синхронизма в сети будут иметь вид, представленный на рисунке 2.3.



$$T_{\Sigma_{ск}}^{сети} = \sum_{i=0}^l t_{pЭМВ i,(i+1)} + (l-1) \cdot t_{пер скс}, \quad (2.1)$$

где  $l$  – число уровней иерархии сети ( $l \geq 1$ );

$t_{pЭМВ i,(i+1)}$  – время распространения электромагнитной волны между УК, принадлежащему  $i$ -му уровню иерархии и УК, принадлежащему  $(i+1)$ -му уровню иерархии сети;

$t_{пер скс}$  – время передачи СКС между максимально удаленными УК смежных уровней иерархии сети.

Зная максимально возможное удаление УК подчиненного уровня иерархии от УК вышестоящего уровня иерархии, а также длину синхропоследовательности (СКС) и скорость передачи в радиолинии, можно рассчитать максимальное время распространения электромагнитной волны и максимальное время передачи СКС между УК смежных уровней иерархии по формулам (2.2) и (2.3) соответственно.

$$t_{pЭМВ i,(i+1)}^{\max} = \frac{\Delta R_{i,(i+1)}^{\max}}{c}, \quad (2.2)$$

где  $\Delta R_{i,(i+1)}^{\max}$  – максимально возможное удаление УК, принадлежащего  $(i+1)$ -му уровню иерархии от УК, принадлежащего  $i$ -му уровню иерархии;  
 $c$  – скорость распространения электромагнитных волн в вакууме.

$$t_{пер скс}^{\max} = \frac{L_{скс}}{V_{p/l}} + t_{pЭМВ i,(i+1)}^{\max}, \quad (2.3)$$

где  $V_{p/l}$  – скорость передачи в радиолинии (бит/сек);

$L_{скс}$  – длина синхропоследовательности (СКС) (бит).

Рассмотренный режим работы ПКС исследуемой сети носит больше теоретический характер и на практике реализуется редко ввиду того, что для его реализации необходимо либо одновременное включение всех пространственно-распределенных УК сети и установленных на них элементов ПКС, либо включение всех подчиненных УК в режим ожидания СКС и за тем включение самого старшего УК с последующей генерацией СКС для всех подчиненных.

Режим установления кадрового синхронизма в сети путем принудительной периодической передачи СКС заключается в следующем. В каждом ТС радиосети в случайные относительно других сегментов моменты времени или моменты времени, установленные с помощью определенного правила, передаются СКС. Схемы взаимодействия ПКС с оборудованием УК ТС с точки зрения генерации и приема СКС аналогичны схеме, представленной на рисунке 2.2. Временная диаграмма, поясняющая особенности передачи СКС в данном режиме для ТС структуры сети (рисунок 2.3 (а)), представлена на рисунке 2.4. Показанные задержки  $t_{зад 1,2,3}$  моментов передачи СКС в ТС УК 1, УК 2 и УК 3 сети относительно друг друга, предназначены для выравнивания ЭМО в районе выполнения задач ПО.

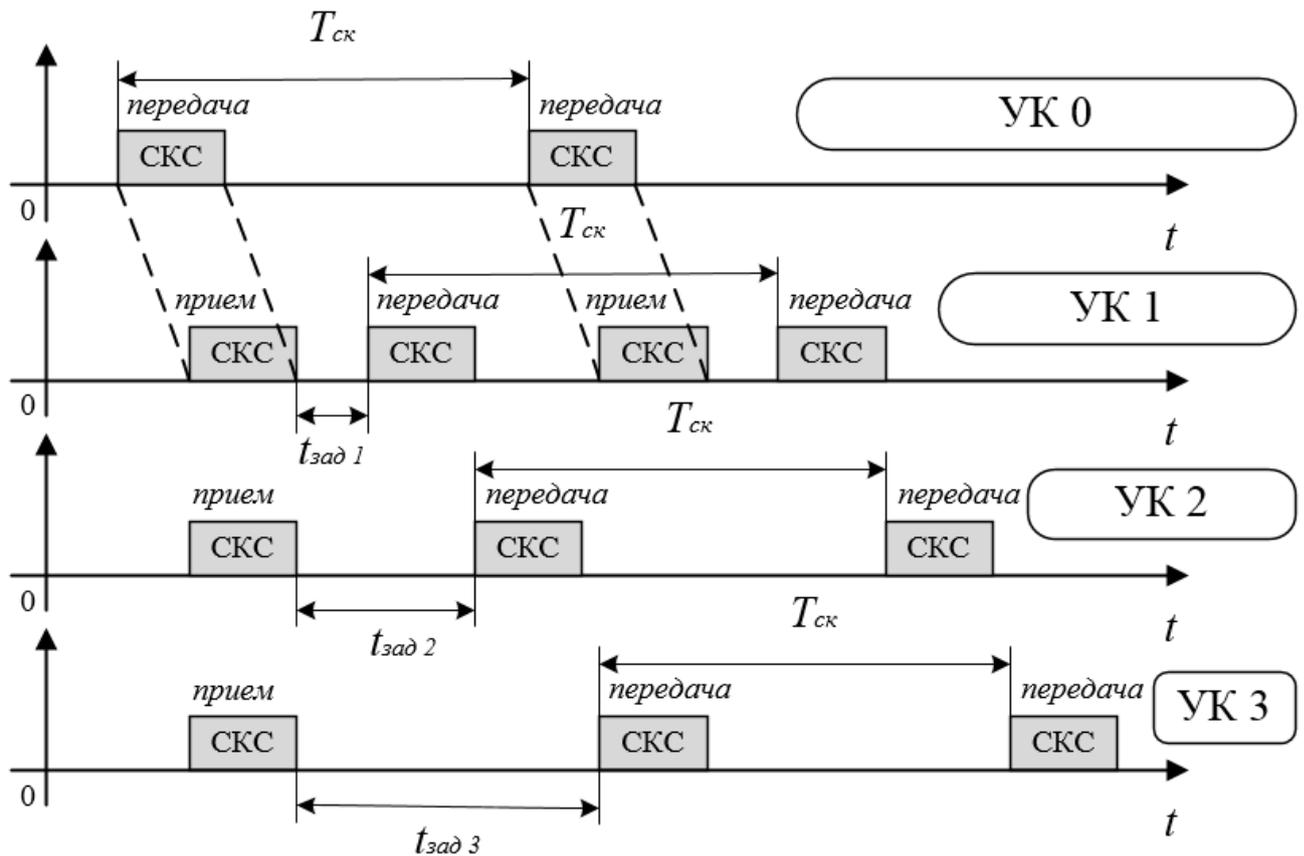


Рисунок 2.4 – Временные диаграммы приема и передачи СКС УК ТС 1

Из-за задержки в распространении сигналов на каждом УК временные метки на прием и на передачу старшего ППК разнесены во времени относительно старшего ППК в одном УК. Сущность такого разнесения представлена на рисунке 2.5.

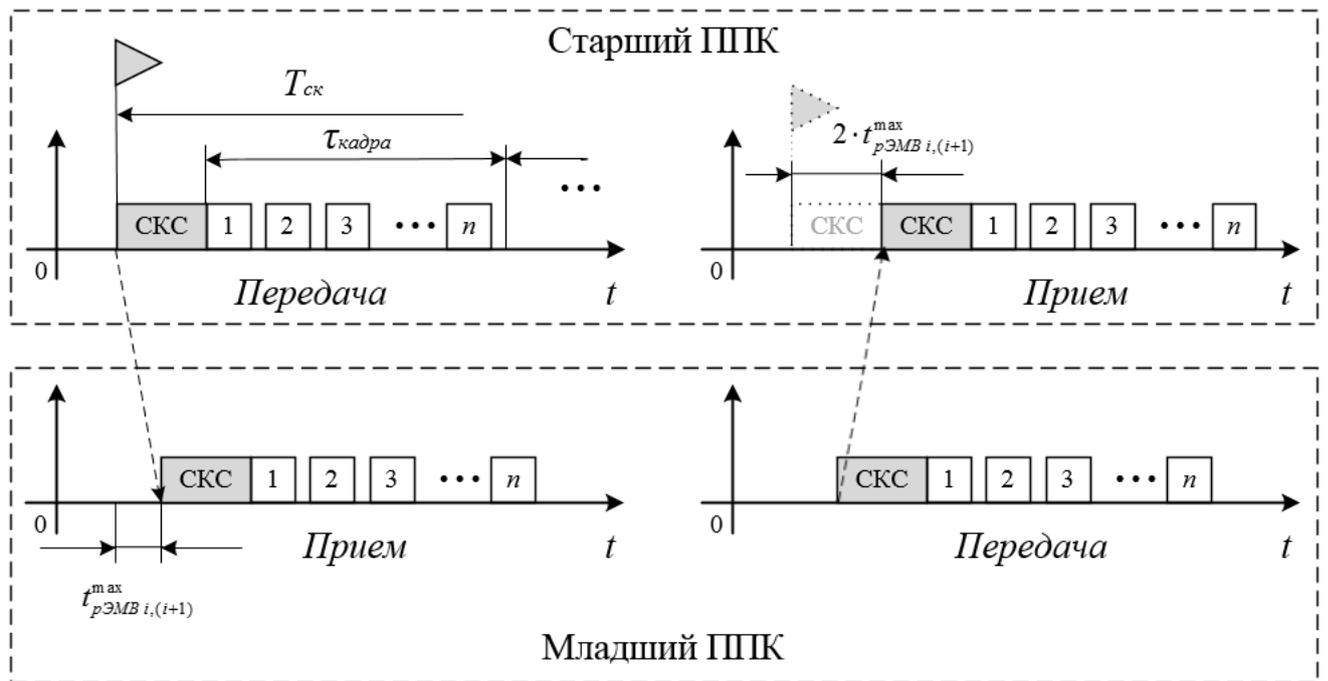


Рисунок 2.5 – Временная диаграмма размещения временных меток приема и передачи младшего ППК УК нижестоящего уровня относительно старшего ППК УК вышестоящего уровня

Работа ПКС в режиме передачи СКС по запросу реализуется по инициативе подчиненного УК в случаях:

- первоначального вхождения в кадровый синхронизм УК после развертывания соответствующего узла связи или пункта управления (включения радиосредства);
- вхождение в кадровый синхронизм после перерыва связи на интервал времени больший, чем период суперкадра;
- потеря кадрового синхронизма по причинам технического характера в результате человеческого фактора или в случае временного выхода подчиненного УК из зоны радиосвязи;
- других случаях, когда необходимо восстановить кадровый синхронизм.

Потеря любым УК кадрового синхронизма не приводит к тому, что кадровый синхронизм теряют все УК, ему подчиненные по иерархии, ввиду разомкнутости по отношению друг к другу элементов ПКС ТС сети. УК, потерявший кадровый синхронизм, некоторое время «слушает» эфир с целью временного восстановления

кадрового синхронизма с вышестоящим УК по уровню иерархии своего ТС с помощью информации, передаваемой в эфире данного ТС на рабочей частоте в формате временного кадра. Так как временные окна в кадре пронумерованы (для отдельных форматов кадров не предусмотрено), то элементам ПКС УК, потерявшего синхронизм, достаточно принять информацию, передаваемую в любом временном окне и определить его номер. По этому номеру ПКС сможет временно восстановить метки времени для правильного информационного обмена с вышестоящим УК, а при возможности и по рокадной связи, после чего необходима обязательная проверка правильности восстановленной кадровой синхронизации. Если же в течение некоторого времени в эфире нет информационного обмена в формате ВРК и процедура принудительного периодического восстановления кадровой синхронизации в ТС не инициирована, то ПКС УК, потерявшего синхронизм, формирует сигнал «ЗАПРОС СКС» и передает его через младший ППК на вышестоящий по иерархии УК своего ТС. Получив сигнал «ЗАПРОС СКС», вышестоящий по иерархии УК передает сигнал кадровой синхронизации для нижестоящего по иерархии УК и тем самым инициирует в ТС сети с потерявшим кадровой синхронизм УК процедуру установления кадрового синхронизма. Схемы формирования сигнала «ЗАПРОС СКС» младшим ППК УК, потерявшего кадровой синхронизм, и приема этого сигнала старшим ППК УК вышестоящего уровня иерархии аналогичны схеме, представленной на рисунке 2.2.

При отсутствии имитационных помех и нахождении УК в зоне уверенной радиосвязи, радиосеть метрового диапазона с ПО функционирует в условиях естественных помех и помех техногенного характера, формируемых системами связи, использующими подобные сигналы и работающими в диапазоне работы ППК сети. Эти условия удобно представить в виде вероятности ошибки на бит передаваемой информации, как было указано в 1 разделе (2.4).

$$p_0 = f(\alpha, \beta, h_0^2). \quad (2.4)$$

В ходе данного исследования эта величина задается параметрически. Конкретное значение вероятности ошибки на бит передаваемой информации для

зоны уверенной радиосвязи лежит в диапазоне  $p_0 = 10^{-3} \div 10^{-5}$ . Для зоны неуверенной радиосвязи вероятности ошибки на бит будет увеличиваться из-за ухудшения помеховой обстановки в районе выполнения задач ПО или на предельных дальностях радиовидимости в диапазоне  $p_0 = 10^{-2} \div 10^{-3}$ . Кроме того, соседние РЭС способны формировать непреднамеренные и преднамеренные имитационные помехи, что приводит к подавлению канала кадровой синхронизации по причине возникновения ложного синхронизма. В этом случае эффективность функционирования ПКС подавляемого ТС сети будет стремиться к нулю, а, следовательно, и его функциональная готовность к информационному обмену будет крайне низкой, данный фактор имеет негативный характер, особенно в условиях высокой динамики изменения оперативной обстановки.

Варианты развития событий при установлении кадровой синхронизации для одного радионаправления сети в описанных условиях при установлении кадровой синхронизации по запросу (наиболее общий режим) и при формировании ложных сигналов представлены на рисунках 2.6 и 2.7. Важно отметить, события, связанные с ложными сигналами (рисунок 2.7) по отношению к событиям, представленным на рисунке 2.6, являются совместными и независимыми, поэтому при оценке эффективности процессов установления и поддержания кадрового синхронизма необходимо учитывать влияние ложных сигналов. Обеспечение требуемой функциональной готовности ПКС ТС сети в таких условиях возможно только при использовании в качестве СКС широкополосных сигналов специальной структуры, а также установлении требуемых величин порогов в ПКС при их последетекторной обработке.

Достоинством модернизированной цифровой радиосети метрового диапазона с ПО является возможность организации рокадных связей, которые можно использовать как для получения СКС, так и для борьбы с имитационными помехами, подавляющими основное направление радиосвязи. Недостатками ПКС является необходимость оснащения УК комплектами ППК-Р служащими для организации рокадных радионаправлений и обеспечение наличия достаточно большого ансамбля последовательностей, обладающих хорошими

корреляционными свойствами по отношению друг к другу и подобным сигналам других систем связи, на основе которых формируются СКС. Одним из возможных решений задачи увеличения их числа является формирование СКС путем комбинирования известных последовательностей.

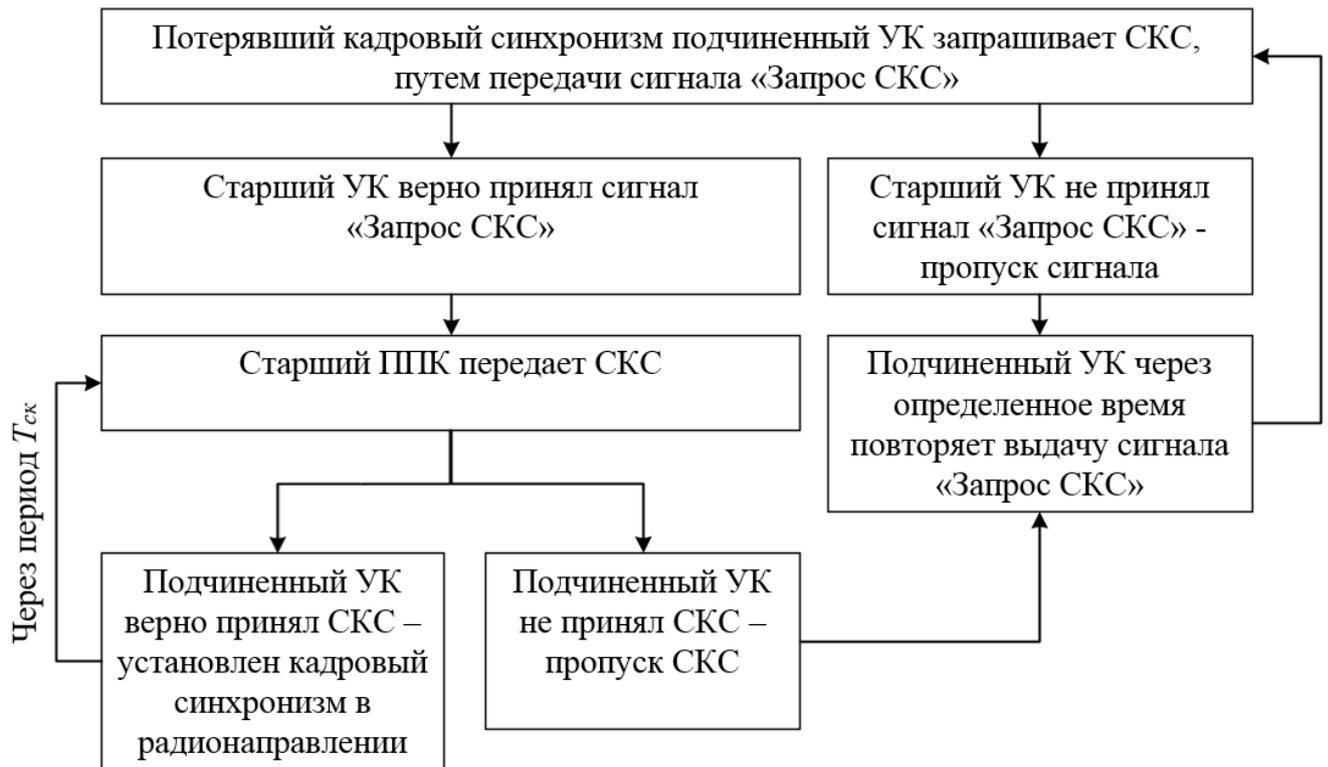


Рисунок 2.6 – Варианты событий при установлении кадрового синхронизма в радионаправлении типа «точка-точка» по запросу

Анализ показал [8, 25], что вся модернизированная цифровая радиосеть метрового диапазона может быть разбита, с точки зрения распространения СКС (рисунок 1.9), на ТС с конфигурациями, представленными на рисунке 1.8, причем вариант ТС  $1 : k$  включает в себя конфигурации  $1 : 1$ ,  $1 : 2$ ,  $1 : 3$  ... и является более общим, поэтому все расчеты и рассуждения будут проводиться, для ТС сети вида  $1 : k$ . Тогда коэффициент функциональной готовности ПКС цифровой радиосети метрового диапазона можно найти по формуле (2.5).

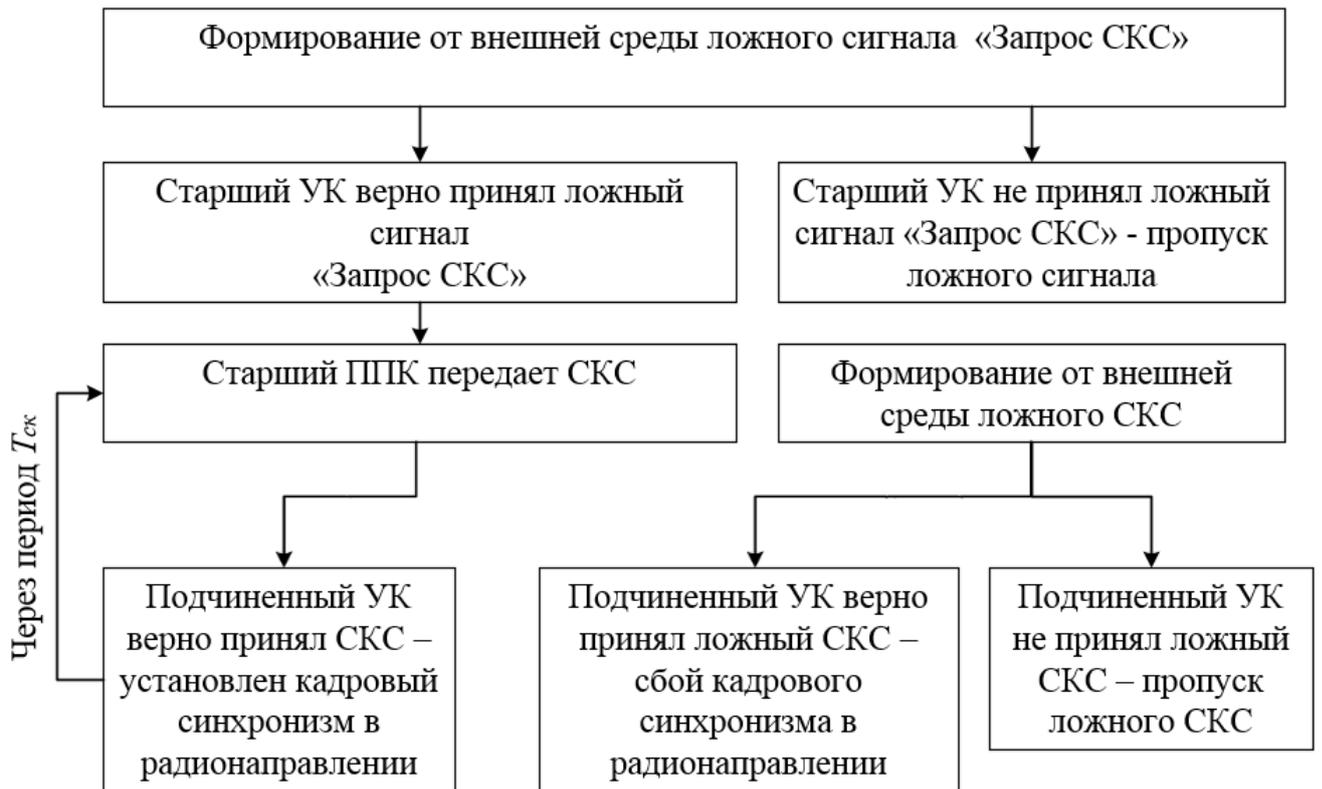


Рисунок 2.7 – Варианты событий при установлении ложного кадрового синхронизма в радионаправлении типа «точка-точка» при формировании ложных сигналов

$$K_2^{ПКС\ сети} = \prod_{i=1}^{l-1} (K_2^{ПКС\ ТС})^{k^i}, \quad (2.5)$$

где  $l$  – число уровней иерархии сети  $l = 2, 3, \dots$ ;

$k$  – норма управляемости;

$K_2^{ПКС\ ТС}$  – коэффициент функциональной готовности ПКС ТС сети.

Значение коэффициента функциональной готовности ПКС ТС сети может быть найдено по формуле (2.6).

$$K_2^{ПКС\ ТС} = \eta \cdot P_{уст\ кс}^{ТС}, \quad (2.6)$$

где  $\eta$  – коэффициент кадровой эффективности;

$P_{уст\ кс}^{ТС}$  – вероятность установления кадрового синхронизма в ТС сети.

Очевидно, что для получения максимального значения коэффициента функциональной готовности ПКС ТС необходимо, чтобы коэффициент кадровой

эффективности и вероятность установления кадрового синхронизма в ТС также принимали максимальные значения в заданных условиях функционирования ПКС.

## 2.2 Математическая модель процесса установления кадровой синхронизации в типовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех

Модернизированная цифровая сеть радиосвязи метрового диапазона с ПО должна иметь ПКС устойчиво функционирующую как в обычных условиях, так и в условиях воздействия помех. Из анализа зависимостей (2.5) и (2.6) следует, что для повышения эффективности функционирования ПКС сети необходимо обеспечить максимальное или не ниже требуемого значение ее коэффициента готовности при заданных параметрах ПКС. Для этого необходимо обеспечить наибольшее или не ниже требуемого значение коэффициента готовности ПКС ТС сети. В свою очередь на величину коэффициента готовности ПКС ТС существенно влияет значение вероятности установления кадрового синхронизма в ТС сети. Следовательно, необходимо определить параметры, от которых зависит значение этой вероятности и условия, при которых она принимает значение не ниже требуемого. Несложно показать, что вероятность установления кадрового синхронизма в ТС сети зависит от следующих параметров (2.7), при этом необходимо сделать допущение о равных условиях установления кадрового синхронизма во всех  $k$  радионаправлениях ТС.

$$P_{уст\ кс}^{ТС} = \left( P_{уст\ кс}^{p/n} \right)^k, \quad (2.7)$$

где  $P_{уст\ кс}^{p/n}$  – вероятность установления кадрового синхронизма в радионаправлении типа 1 : 1 («точка – точка»);  
 $k$  – норма управляемости сети.

Для примера, при требуемом значении  $K_2^{ПКС} \geq 0,999$ , норме управляемости  $k = 3$ , числе уровней иерархии  $l = 3$ , требуемое значение  $P_{уст\ кс}^{ТС} \geq 0,99995$ , и для достижения данного значения вероятности установления кадрового синхронизма в ТС необходимо обеспечить значение  $P_{уст\ кс}^{p/n} \geq 0,99998$ . На практике, учитывая, что сеть в зоне ЧС может состоять только из одного ТС, для формирования требований к значению  $P_{уст\ кс}^{p/n}$  сразу задают требования к вероятности установления кадрового синхронизма в ТС. Например, задано требование, что  $P_{уст\ кс}^{ТС} \geq 0,999$  ( $k = 3, l = 1$ ), тогда для его выполнения необходимо обеспечить значение  $P_{уст\ кс}^{p/n} \geq 0,99967$ .

В самом простом варианте (СКС – последовательность двоичных символов)  $P_{уст\ кс}^{p/n}$  показывает вероятность события, заключающегося в том, что число верно принятых символов СКС превысит заданный порог приема СКС, установленный в ПКС при заданной вероятности ошибки на двоичный символ (2.8). Здесь также необходимо сделать допущение о том, что правильный прием СКС в ПКС УК соответствует установлению кадровой синхронизации в радионаправлении. В качестве порога приема СКС в ПКС выступает минимально необходимое число верно принятых двоичных символов СКС.

$$P_{уст\ кс}^{p/n} = \sum_{i=П_{скс}}^{L_{скс}} C_{L_{скс}}^i p_0^{(L_{скс}-i)} (1-p_0)^i, \quad (2.8)$$

где  $L_{скс}$  – длина СКС (двоичных символов);

$П_{скс}$  – порог принятия решения о верном приеме СКС.

Однако при снижении величины устанавливаемого порога на приеме СКС, не только увеличивается вероятность установления кадровой синхронизации в радионаправлении, но и повышается вероятность ложной кадровой синхронизации от случайно сформировавшегося под воздействием помех и ложных СКС. Вероятность ложной кадровой синхронизации (ложной тревоги) при равновероятном появлении символов 0 и 1 на входе анализатора СКС в ПКС можно найти по формуле (2.9), при этом ( $p_0 = 0,5$ ).

$$P_{лс} = 0,5^{L_{скс}} \cdot \sum_{i=\Pi_{скс}}^{L_{скс}} C_{L_{скс}}^i. \quad (2.9)$$

На практике значение порога приема СКС выбирается таким образом, чтобы обеспечить вероятность доведения СКС (вероятность установления кадрового синхронизма) не ниже требуемого значения при значении вероятности установления ложного кадрового синхронизма не выше допустимого по критерию Неймана-Пирсона [68, 69, 108]. При невозможности выполнить какое-либо из этих условий принимается решение на увеличение длины СКС, изменение способа его обработки, а также применение методов уменьшения вероятности ошибки на бит в радиолинии. Однако указанные меры принимаются, как правило, на стадии проектирования элементов ППК и ПКС, а во время эксплуатации возможно варьировать значениями порога для достижения требуемой эффективности функционирования ПКС.

Выше было сказано о том, что на качество функционирования ПКС существенное влияние оказывают пороги приема. Анализ показывает [6 – 25], что в модернизированной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО будут циркулировать СКС как цифровой (дискретной), так и в аналоговой форме. Преобразование аналогового СКС в цифровой (дискретный) происходит при его обработке в ППК УК. А обработка самого СКС в цифровой (дискретной) форме, с целью определения его принадлежности к ПКС непосредственно в схемах, входящих в структуру ПКС. Таким образом, говоря о порогах приема и обработки СКС, необходимо различать порог приема аналогового сигнала и порог обработки цифрового (дискретного) сигнала. Оптимизация порогов обработки аналоговых радиосигналов метрового и других диапазонов подробно изучена и рассмотрена во многих работах [30, 69, 75, 131, 132, 133]. При проведении оптимизации добивались получения максимума вероятности правильного приема сигнала и минимума вероятности ложной тревоги по критерию Вальда. Аналогичная задача оптимизации порога приема цифрового сигнала по критерию Неймана – Пирсона (в том числе и широкополосного) также успешно решена для ряда схожих условий [69, 131, 132]. В данной работе предлагается с целью повышения устойчивости

ПКС к воздействию преднамеренных и непреднамеренных имитационных помех, правильного распознавания начала и конца синхропоследовательности с точностью до двоичного символа и увеличения ансамбля сигналов кадровой синхронизации применять сигналы, состоящие из нескольких одинаковых или разных по структуре псевдослучайных (ПСП) двоичных последовательностей одинаковой длины. Примерная структура такого сигнала представлена на рисунке 2.8. Для верного приема СКС данного вида необходимо в ПКС устанавливать не только значения порогов ( $P_{ncni}$ , где  $i = 1, 2, \dots, S$ ) для обеспечения верного приема каждой  $i$ -ой ПСП в структуре СКС, но и значение порога ( $P_{скс}$ ) как минимально необходимое число верно принятых ПСП в структуре СКС.

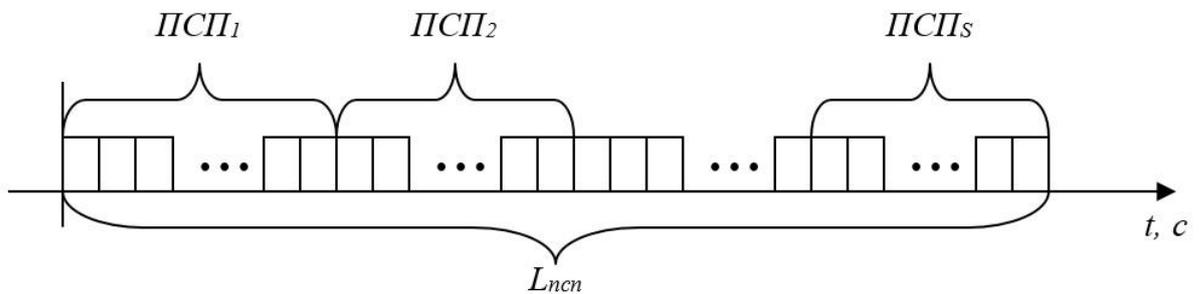


Рисунок 2.8 – Структура СКС, состоящего из нескольких ПСП

В качестве структурообразующих элементов синхропоследовательности удобно и обосновано использовать М-последовательности, хотя помимо них существуют последовательности Баркера, Якоби, Лежандра, Касами, Голда и др., с успехом применяющиеся в различных системах [34, 92, 30, 31, 32]. М-последовательности являются ПСП и обладают близкими к идеальным авто- и взаимно-корреляционными свойствами, имеют широкий ансамбль последовательностей различной длины, а также относительно просто могут быть получены с помощью генераторов М-последовательностей [30, 31, 32, 34, 39, 92]. В таблице 2.1 представлены коэффициенты образующих полиномов (порождающих многочленов) различной степени для построения генераторов М-последовательностей. Длина генерируемой М-последовательности связана со степенью образующего полинома соотношением (2.10).

$$L_{ncn} = 2^m - 1, \quad (2.10)$$

где  $m$  – степень образующего полинома (порождающего многочлена).

Таблица 2.1 – Коэффициенты образующих полиномов для построения генераторов М-последовательностей

Степень $m = 3$	$L_{ncn}$	Степень $m = 7$	$L_{ncn}$	Степень $m = 8$	$L_{ncn}$
1011 1101	7	10000011	127	100011101	255
Степень $m = 4$	$L_{ncn}$	10001001		100101011	
10011 11001	15	10001111		100101101	
Степень $m = 5$	$L_{ncn}$	10010001		101001101	
100101	31	10011101		101011111	
101001		10100111		101100011	
101111		10101011		101100101	
110111		10111001		101101001	
111011		10111111		101110001	
111101		11000001		110000111	
Степень $m = 6$	$L_{ncn}$	11001011		110001101	
1000011	63	11010011		110101001	
1011011		11010101		111000011	
1100001		11100101		111001111	
1100111		11101111	111100111		
1101101		11110001	111110101		
1110011		11110111			

В качестве недостатков М-последовательностей как основы для СКС, можно отметить, во-первых, дискретность варьирования их длин ( $L_{ncn} = 7, 15, 31$  и т.д.), что не всегда удобно на практике. Во-вторых, ограниченное множество существующих М-последовательностей, определяемое выражением (2.11) [32].

$$Q_m = \frac{1}{m} \varphi(L_{ncn}), \quad (2.11)$$

где  $\varphi(L_{ncn})$  – функция Эйлера (2.12).

$$\varphi(L_{ncn}) = \begin{cases} 1, & \text{если } L_{ncn} = 1; \\ \prod_{i=1}^K P_i^{\alpha_i-1} (P_i - 1), & \text{если } L_{ncn} \neq 1; \end{cases} \quad (2.12)$$

где  $P_i$  – простые множители числа  $L_{ncn}$ ;

$\alpha_i$  – кратность сомножителей  $P_i$ ;

$K$  – число простых сомножителей.

Прием и обработку СКС, состоящего из нескольких ПСП, в ПКС можно реализовать методами оптимальной корреляционной обработки, а также методом обработки дискретными согласованными фильтрами, сущность которого поясняется схемой (рисунок 2.9). Методы обработки ПСП согласованными фильтрами имеют более сложную схемную реализацию и при возникновении необходимости изменить структуру ПСП менее гибки, но позволяют проводить анализ поступающей из канала последовательности не поэлементно (посимвольно), а в целом (СКС), поэтому ввиду относительно небольших длин ПСП ( $L_{ncn} \leq 1023$ ), в дальнейшем будет подразумеваться обработка ПСП в ПКС дискретными согласованными фильтрами, реализованными на основе регистров [103, 121, 134, 135].

Поток двоичных  
символов (0 или 1)

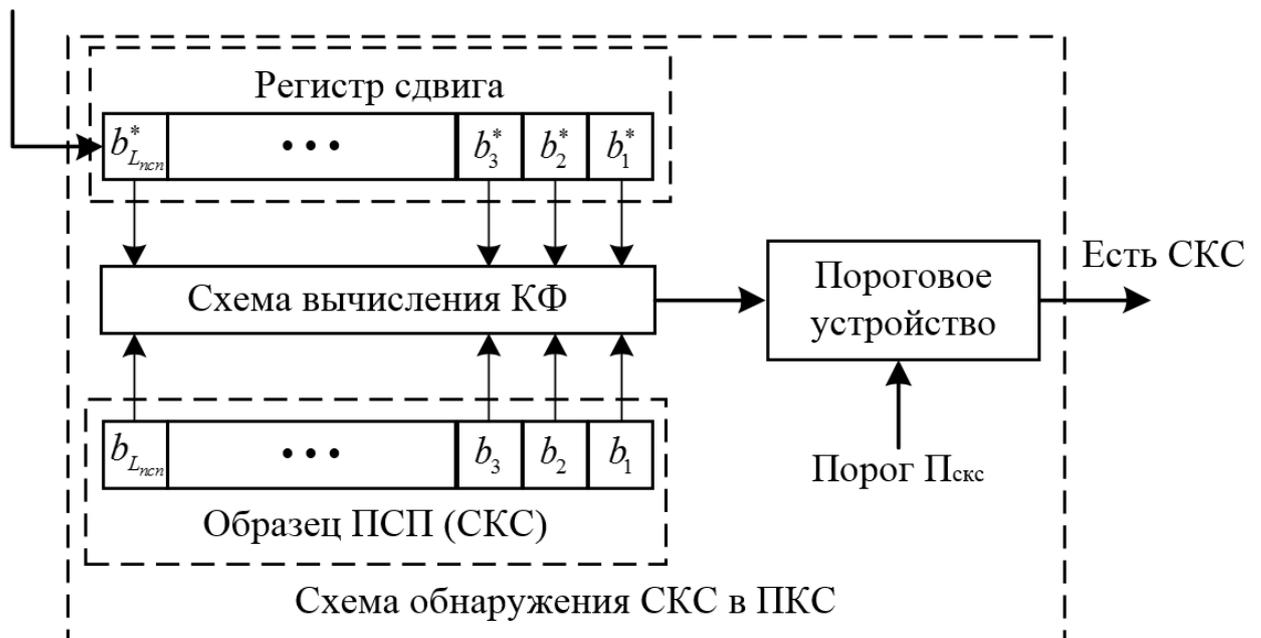


Рисунок 2.9 – Схема обработки СКС, состоящего из одной ПСП

Суть обработки СКС, состоящего из одной ПСП, заключается в том, что на каждом такте работы часть поступающих на вход схемы последовательности двоичных символов длиной  $L_{ncn}$  сравнивается с образцовой ПСП в ПКС и результат сравнения поступает в пороговое устройство в виде дискретного значения ненормированной корреляционной функции (КФ), вычисляемого по формуле (2.13) на каждом такте работы [32].

$$R_p(j) = \sum_{i=1}^{L_{\text{нсп}}} (1 - 2 \cdot (b_i \oplus b_i^*)) = A_j - D_j, \quad (2.13)$$

где  $A_j$  – число совпавших символов на  $j$ -м такте работы;

$D_j$  – число не совпавших символов на  $j$ -м такте работы;

$b_i$  – значение  $i$ -го символа регистра с образцом ПСП (СКС);

$b_i^*$  – значение  $i$ -го символа регистра сдвига на  $j$ -м такте работы.

В пороговом устройстве на каждом такте значение КФ сравнивается с порогом приема ПСП и принимается решение о правильности приема данной ПСП (СКС).

Обработка СКС, состоящего из нескольких ПСП заключается в том, что входной поток двоичных символов поступает через коммутатор каналов в соответствующие схемы обработки ПСП. В каждой схеме реализован порядок обработки ПСП, описанный выше для СКС, состоящего из одной ПСП. Сигналы срабатывания каждой схемы поступают в решающее устройство, где на основе установленного порога  $P_{\text{скс}}$  принимается решение о наличии или отсутствии СКС.

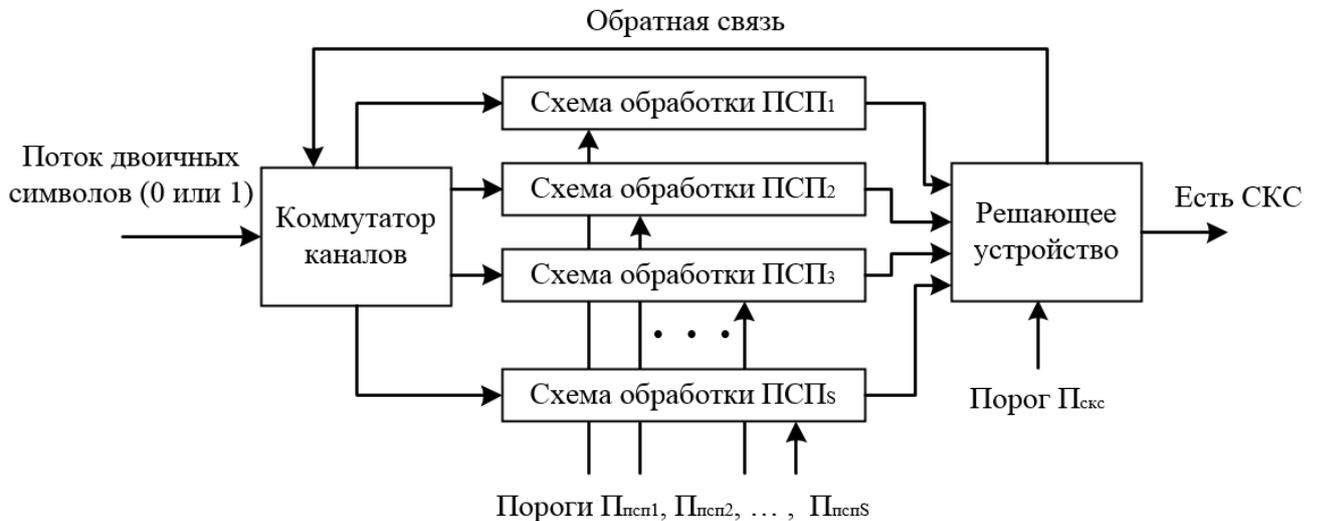


Рисунок 2.10 – Схема обработки в ПКС СКС, состоящего из нескольких ПСП

Основой для принятия решения решающим устройством является число срабатываний схем обработки ПСП. Если число срабатываний при обработке СКС превышает порог обработки, установленный для приема всей синхропоследовательности  $P_{\text{скс}}$ , то СКС считается принятым верно и на выходе

решающей схемы появляется сигнал кадровой синхронизации, по которому настраиваются временные метки ВКК.

Наличие помех в дискретном канале связи (ДКС) приводит к искажению двоичных символов ПСП. Такие искажения влияют на значение КФ, а именно приводят к снижению значения основного лепестка КФ. Для оценки влияния таких искажений на значение КФ проводились расчеты значений непериодической и периодической взаимокорреляционной функции (НВКФ и ПВКФ) на периоде  $M$ -последовательности с помощью программы (Maple V Release 4) с учетом ошибок различной кратности по формулам:

$$R_p^{нкф}(j) = \sum_{i=1}^{L_{ncn}-j} (1 - 2 \cdot (b_i \oplus b_{i-j}^*)), \quad (2.14)$$

где  $j$  – число двоичных символов на которое сдвинуты относительно друг друга последовательности при оценке значений КФ.

$$R_p^{нкф}(j) = \sum_{i=1}^{L_{ncn}-j} (1 - 2 \cdot (b_i \oplus b_{i-j}^*)) + \sum_{i=1}^j (1 - 2 \cdot (b_i \oplus b_{L_{ncn}-j+i-1}^*)). \quad (2.15)$$

В частности, показано (рисунок 2.11) и (рисунок 2.12), что каждая ошибка, произошедшая в символах ПСП при передаче по ДКС с ошибками, снижает результирующее значение пика НВКФ при обработке ПСП на два.

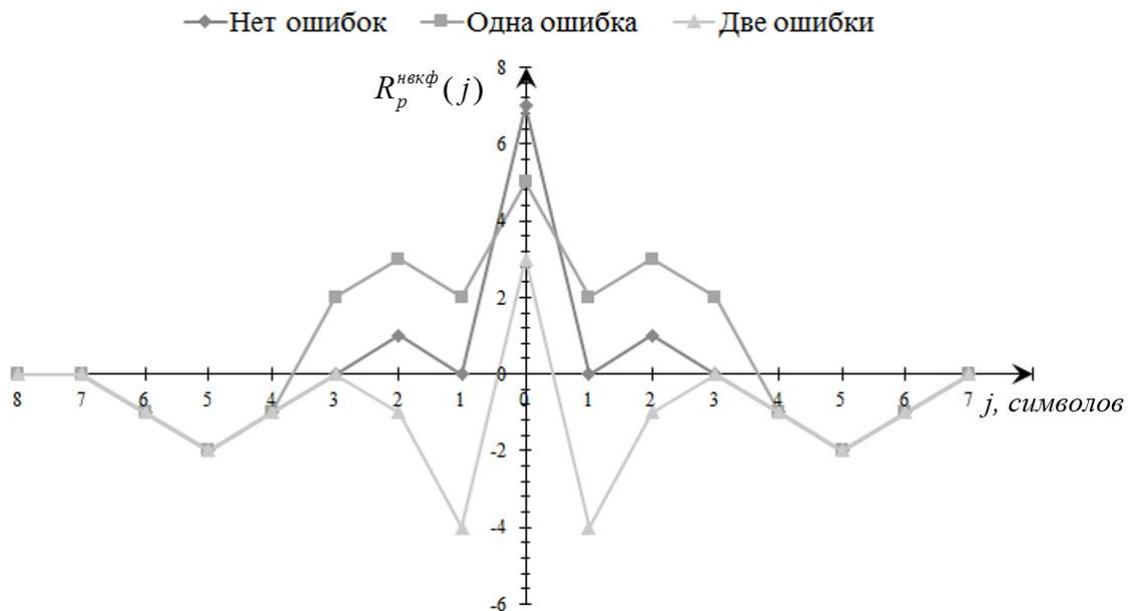


Рисунок 2.11 – Графики зависимостей ненормированной дискретной НАКФ и НВКФ от величины сдвига принимаемой и образцовой ПСП для  $L_{ncn} = 7$

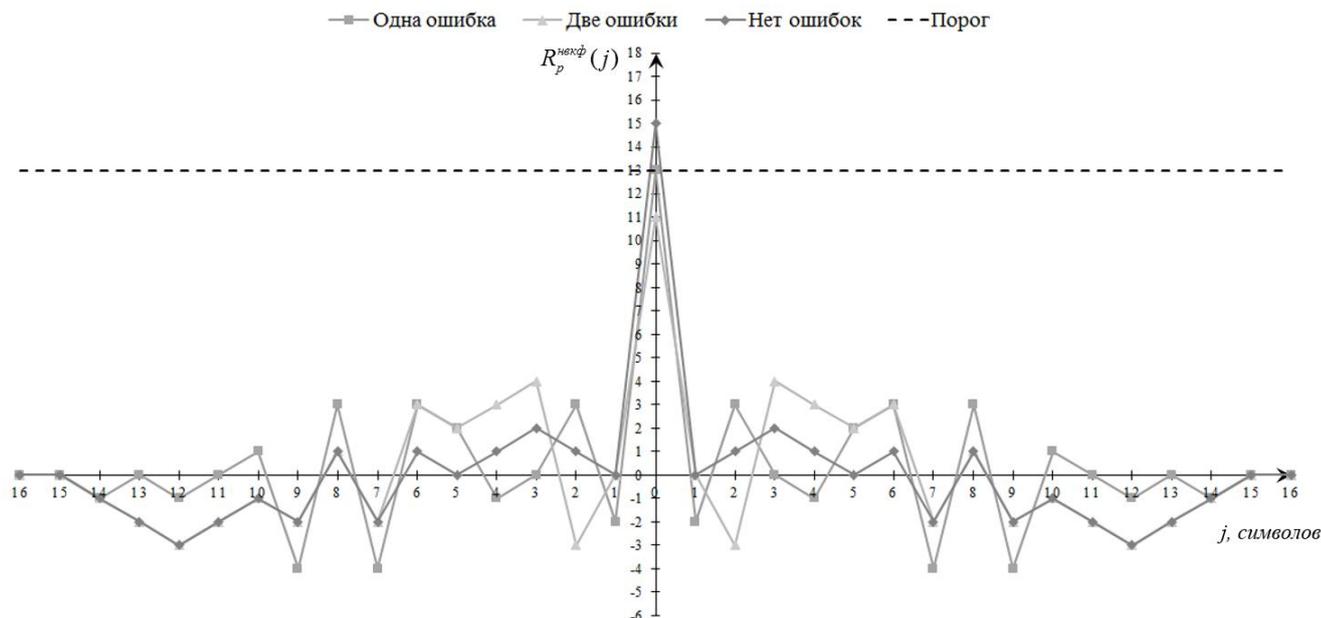


Рисунок 2.12 – Графики зависимостей ненормированной дискретной НАКФ и НВКФ от величины сдвига принимаемой и образцовой ПСП для  $L_{ncn} = 15$

Таким образом очевидно, что для эффективной обработки СКС, состоящего из нескольких ПСП, необходимо правильно установить два вида дискретных порогов:

1. Пороги для обработки каждой ПСП<sub>i</sub> ( $\Pi_{ncn}$ ), связанные с допустимым числом ошибок в ПСП соотношением (2.16).
2. Порог для обработки составного СКС ( $\Pi_{скс}$ ).

$$\Pi_{ncn} = L_{ncn} - 2 \cdot N_{ош}, \quad (2.16)$$

где  $N_{ош}$  – максимально допустимое число искаженных символов ПСП.

От значений указанных порогов зависят следующие показатели эффективности функционирования ПКС ТС:

– вероятность доведения СКС, состоящего из нескольких ПСП одинаковой длины (2.17);

$$P_{уст\ кс}^{p/n} = \sum_{i=\Pi_{скс}}^S C_S^i \cdot P_{дов\ ncn}^i \cdot (1 - P_{дов\ ncn})^{S-i}, \quad (2.17)$$

где  $S$  – число ПСП, из которых состоит СКС;

$\Pi_{скс}$  – минимальное число верно принятых ПСП (порог приема СКС);

$P_{\text{дов } ncn}$  – вероятность доведения одной ПСП (2.18).

$$P_{\text{дов } ncn} = \sum_{j=\Pi_{ncn}}^{L_{ncn}} C_{L_{ncn}}^j \cdot p_o^{L_{ncn}-j} \cdot (1-p_o)^j, \quad (2.18)$$

где  $L_{ncn}$  – число двоичных символов в одной ПСП, из которых состоит СКС;

$\Pi_{ncn}$  – порог приема одной ПСП.

– вероятность ложного формирования составного СКС в радионаправлении (2.19);

$$P_{\text{лф } скс}^{p/n} = \sum_{i=\Pi_{скс}}^S C_S^i \cdot P_{\text{лф } ncn}^i \cdot (1-P_{\text{лф } ncn})^{S-i}, \quad (2.19)$$

где  $P_{\text{лф } ncn}$  – вероятность ложного формирования одной ПСП (2.9).

– вероятность пропуска СКС ( $1 - P_{\text{уст } кс}^{p/n}$ ).

Для нахождения вероятностных характеристик процессов установления верного кадрового синхронизма для ТС сети результаты расчетов по формулам (2.17) и (2.18) необходимо подставить в формулу (2.7). Для оценки вероятности установления ложного кадрового синхронизма в радионаправлении на длительности суперкадра (2.22) необходимо определить вероятность установления ложного кадрового синхронизма в радионаправлении с одной попытки (2.20) и число попыток (2.21), при этом влияние имитационных помех учтено параметрически через вероятность постановки имитационных помех (2.20) [61, 62, 81, 90].

$$P_{\text{лс } скс}^{p/n1} = P_{\text{лф } скс}^{p/n} + P_{\text{тип } скс}^{p/n}, \quad (2.20)$$

где  $P_{\text{тип } скс}^{p/n}$  – вероятность ложного формирования СКС в результате воздействия имитационных помех в радионаправлении.

$$N_{\text{попыток}} = \left\lceil \frac{T_{ск}}{\tau_{\text{дв.с}}} \left[ -\Pi_{ncn} \right], \quad (2.21)$$

где  $\tau_{\text{дв.с}}$  – длительность одного двоичного символа [с];

$T_{ск}$  – период передачи СКС (период суперкадра) [с];

$\lceil \rceil$  – оператор выделения целой части числа.

$$P_{лс\ скс}^{p/n} = \left( P_{лс\ скс}^{p/n1} \right)^{N_{попыток}}. \quad (2.22)$$

Для нахождения вероятности установления ложного кадрового синхронизма для ТС сети воспользуемся формулой

$$P_{лс\ скс}^{ТС} = 1 - \left( 1 - P_{лс\ скс}^{p/n} \right)^k. \quad (2.23)$$

Для исследования процессов установления кадровой синхронизации в цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в условиях воздействия помех необходимо построить математическую модель для определения основных характеристик этих процессов.

С точки зрения распространения СКС вся радиосеть (рисунок 1.3 и 1.7) состоит из ТС, в которых необходимо устанавливать и поддерживать кадровый синхронизм. Структура рассматриваемого ТС сети при  $k = 10$  представлена на рисунке 2.13.

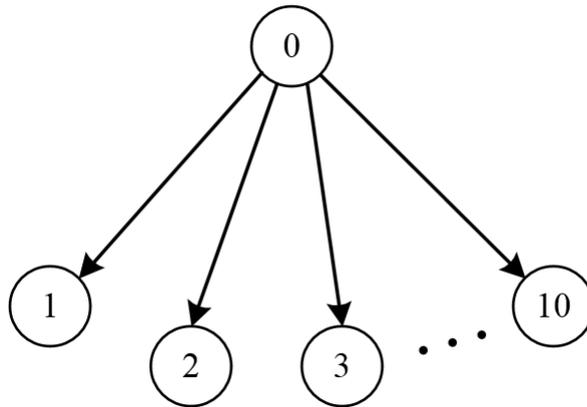


Рисунок 2.13 – Структура типового сегмента сети

Исходя из вышеизложенного, для данного ТС необходимо оценить эффективность процесса установления кадрового синхронизма путем оценки следующих показателей:

- вероятности установления кадрового синхронизма в ТС;
- вероятность установления ложного кадрового синхронизма в ТС.

При моделировании процесса установления кадровой синхронизации в ТС сделаем допущения о том, что все радионаправления ТС цифровой радиосети метрового диапазона с ПО функционируют в одинаковых условиях помеховой обстановки, СКС и сигнал «Запрос СКС» имеют одинаковую длину и структуру.

Кадровый синхронизм в ТС установлен в случае наличия кадрового синхронизма во всех радионаправлениях ТС, что также является допущением при моделировании.

С учетом того, что процесс установления кадрового синхронизма в ТС может быть либо инициирован нулевым УК, либо организован по запросу от 1, 2, ..., 10 УК, математические модели этих процессов будут иметь отличия. Однако модель установления кадрового синхронизма по запросу имеет более общий характер и включает в себя модель для периодической передачи СКС в ТС сети. Рассмотрим математическую модель процесса установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу от любого из подчиненных УК ТС сети.

Для моделирования процедуры установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу используем аппарат конечных марковских моделей с дискретным временем (шаг – длительность СКС), так как процесс установления кадрового синхронизма в ТС сети носит вероятностный характер и удовлетворяет требованиям: ординарность, стационарность и беспоследствие [74, 112, 128, 129, 138, 139].

Граф переходов марковской модели для процесса установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу представлен на рисунке 2.14.

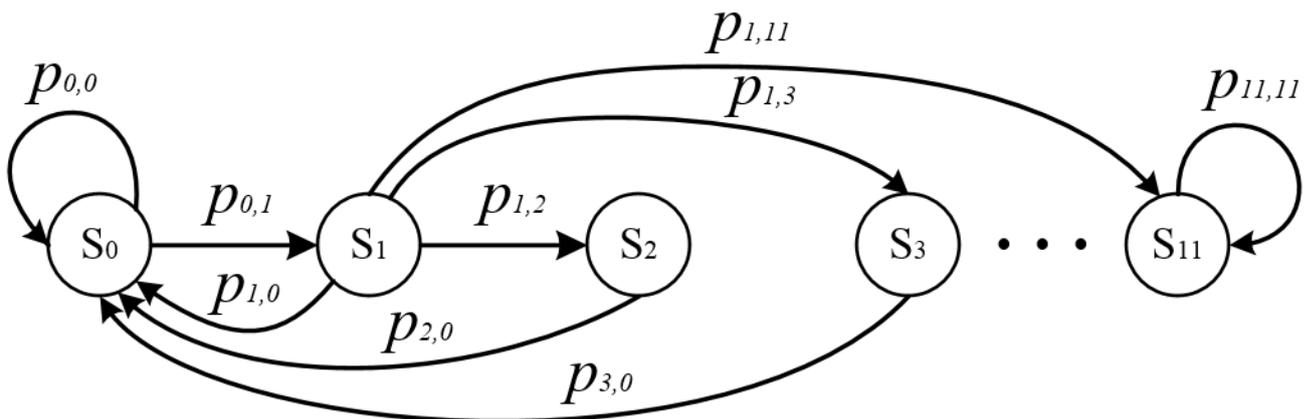


Рисунок 2.14 – Граф переходов марковской модели процесса установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу

Состояния графа переходов (рисунок 2.14) имеют следующий смысл:

$S_0$  – начальное состояние, один из подчиненных УК ТС сети обнаружил потерю кадрового синхронизма и формирует сигнал «Запрос СКС».

$S_1$  – 0 УК успешно принял сигнал «Запрос СКС» и формирует СКС для всех УК ТС сети.

$S_2$ - $S_{10}$  – один, два, ..., девять подчиненных УК ТС соответственно успешно приняли СКС, кадровый синхронизм в ТС не установлен.

$S_{11}$  – все десять подчиненных УК ТС приняли СКС, в ТС установлен кадровый синхронизм.

Переходные вероятности графа переходов, представленного на рисунке 2.14, имеют следующий смысл:

$p_{0,0}$  – вероятность не доведения сигнала «Запрос СКС» до 0 УК.

$p_{0,1}$  – вероятность доведения сигнала «Запрос СКС» до 0 УК.

$p_{1,0}$  – вероятность не доведения СКС до всех десяти подчиненных УК.

$p_{1,2}$ - $p_{1,10}$  – вероятности доведения СКС до одного, двух, ..., девяти из десяти подчиненных УК соответственно.

$p_{1,11}$  – вероятность доведения СКС до всех десяти подчиненных УК.

$p_{2,0}$ - $p_{10,0}$  – вероятности переходов равные единице, соответствующие обнаружению одним из УК с неустановленным кадровым синхронизмом его отсутствия.

$p_{11,11}$  – вероятность того, что установленный в ТС кадровый синхронизм сохранится на следующем такте моделирования.

Динамика переходов из одного состояния марковской модели в другие описывается уравнением Колмогорова-Чепмена (2.24) [128].

$$P_{\langle n \rangle}^{(i)} = P_{\langle n \rangle}^{(i-1)} \cdot P_{[n,n]} = P_{\langle n \rangle}^{(0)} \cdot P_{[n,n]}^i, \quad (2.24)$$

где  $P_{\langle n \rangle}^{(i)} = \langle P_0, P_1, P_2, \dots, P_{n-1} \rangle$  – вектор вероятностей нахождения системы в любом ее состоянии из  $n$  возможных на  $i$ -ом шаге;

$P_{\langle n \rangle}^{(i-1)}$  – вектор вероятностей нахождения системы в любом ее состоянии из  $n$  возможных на  $(i-1)$ -ом шаге;

$P_{[n,n]}$  – матрица переходных вероятностей.

Необходимо отметить, что в начале моделирования система с вероятностью 1 находится в состоянии  $S_0$ , поэтому:  $P_{\langle n \rangle}^{(0)} = \langle 1, 0, 0, \dots, 0 \rangle$ .

Матрица переходных вероятностей для графа переходов, представленного на рисунке 2.14, будет иметь вид (2.25).

$$P_{[12,12]} = \begin{pmatrix} p_{0,0} & p_{0,1} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ p_{1,0} & 0 & p_{1,2} & p_{1,3} & p_{1,4} & p_{1,5} & p_{1,6} & p_{1,7} & p_{1,8} & p_{1,9} & p_{1,10} & p_{1,11} \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (2.25)$$

Анализ описанной выше модели показал, что в ней не учитывается возможность ложного формирования сигнала «Запрос СКС» и СКС, а также присутствуют состояния и связи, которые можно методом агрегирования объединить без существенной потери точности моделирования. С учетом указанных недостатков были внесены изменения в марковскую модель процесса установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу. И граф переходов марковской модели данного процесса с учетом ложной синхронизации и агрегирования ряда состояний и связей будет иметь вид, представленный на рисунке 2.15.

Состояния графа переходов (рисунок 2.15) имеют следующий смысл:

$S_0$  – начальное состояние, один из подчиненных УК ТС сети обнаружил потерю кадрового синхронизма и формирует сигнал «Запрос СКС».

$S_1$  – 0 УК успешно принял сигнал «Запрос СКС» и формирует СКС для всех УК ТС сети.

$S_2$  – все десять подчиненных УК ТС приняли СКС, в ТС установлен кадровый синхронизм.

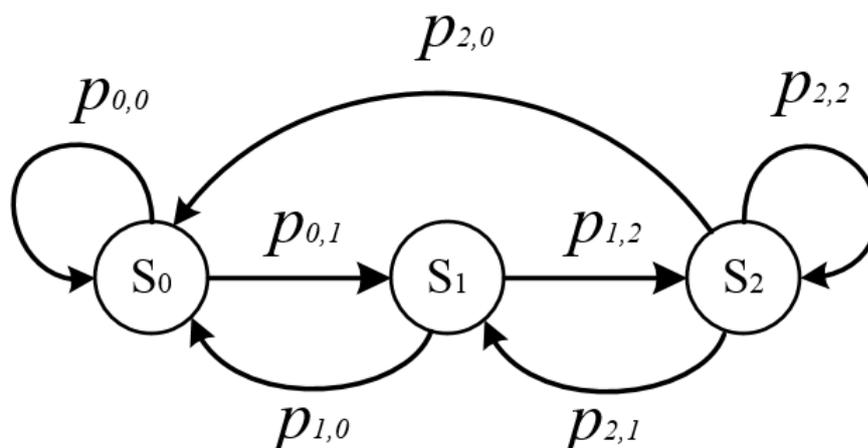


Рисунок 2.15 – Граф переходов марковской модели процесса установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу с учетом ложного синхронизма

В представленной модели  $P_2$  вероятность нахождения системы в состоянии  $S_2$  является вероятностью нахождения ТС сети в кадровом синхронизме, значение которой необходимо получить для оценки в результате моделирования.

Матрица переходных вероятностей для графа переходов на рисунке 2.15 имеет вид (2.26).

$$P_{[3,3]} = \begin{vmatrix} p_{0,0} & p_{0,1} & 0 \\ p_{1,0} & 0 & p_{1,2} \\ p_{2,0} & p_{2,1} & p_{2,2} \end{vmatrix}, \quad (2.26)$$

где  $p_{0,0}$  – вероятность не доведения сигнала «Запрос СКС» до 0 УК (2.27);

$p_{0,1}$  – вероятность доведения сигнала «Запрос СКС» до 0 УК (2.17), (2.18);

$p_{1,0}$  – вероятность не доведения СКС хотя бы до одного из десяти подчиненных УК (2.28);

$p_{1,2}$  – вероятность доведения СКС до всех десяти подчиненных УК (2.29) при  $k = 10$ , где  $P_{уст\ кс}^{p/n}$  находится по (2.17);

$p_{2,0}$  – вероятность сбоя кадрового синхронизма в ТС по причине ложного формирования СКС в том числе и из-за его имитации (2.30) в любом из 10 радионаправлений;

$p_{2,1}$  – вероятность сбоя кадрового синхронизма в ТС по причине ложного приема сигнала «Запрос СКС» старшим УК ТС сети (2.19) с учетом (2.9) при  $k = 10$ ;

$p_{2,2}$  – вероятность сохранения кадрового синхронизма в ТС сети (2.31).

$$p_{0,0} = 1 - p_{01}. \quad (2.27)$$

$$p_{1,0} = 1 - p_{1,2}. \quad (2.28)$$

$$p_{1,2} = \left( P_{уст\ кс}^{p/n} \right)^k. \quad (2.29)$$

$$p_{2,0} = 1 - \left( 1 - P_{лс\ скс}^{p/n} \right)^k, \quad (2.30)$$

где  $P_{лс\ скс}^{p/n}$  рассчитывается по формуле (2.22) с учетом (2.19) – (2.22) при  $k = 10$ .

$$p_{2,2} = 1 - \left( p_{2,0} + p_{2,1} \right). \quad (2.31)$$

Динамика переходов между состояниями процесса описывается уравнением Колмогорова – Чепмена, которое будет иметь вид:

$$P_{\langle 3 \rangle}^{(i)} = P_{\langle 3 \rangle}^{(i-1)} \cdot P_{[3,3]}. \quad (2.32)$$

Исследование процесса установления кадровой синхронизации в ТС цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях воздействия помех для различных режимов функционирования ПКС проводилось с помощью программы (Maple V Release 4).

Анализ (2.17), (2.18) и (2.19) показал, что адекватное использование разработанной математической модели для оценки вероятностных характеристик исследуемого процесса возможно только при известных значениях дискретных порогов обработки СКС и сигнала «Запрос СКС» в ПКС ТС сети. Однако для этого необходимо решить обратную задачу, которая заключается в нахождении порогов обработки составного СКС, при которых обеспечиваются требуемые и допустимые значения вероятностных характеристик процесса. Учитывая дискретность искомых

значений, возникает необходимость в разработке алгоритмов нахождения порогов обработки СКС при заданных исходных данных.

### **2.3 Алгоритмы нахождения порогов обработки синхросигналов в подсистеме кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех**

Определение дискретных значений порогов в ПКС для обеспечения эффективной обработки СКС и сигнала «Запрос СКС» в условиях множества разнообразных помех присутствующих в ДКС, связано с необходимостью нахождения вероятности установления кадровой синхронизма при обеспечении требуемого значения вероятности ложной синхронизации по критерию Неймана-Пирсона. С одной стороны, установление максимально возможного значения порога приведет к снижению вероятности доведения СКС, с другой к минимизации вероятности ложной синхронизации по естественным причинам. Снижение значения порога ведет к повышению вероятности доведения СКС, но одновременно повышается и вероятность ложной синхронизации по естественным причинам. Тогда правомерно полагать, что при заданных значениях  $P_{уст\ кс}^{ТС\ треб}$  и  $P_{лс}^{ТС\ доп}$ , при известных параметрах ПКС, заданном значении  $p_0$ , либо существует значение порога удовлетворяющее этим требованиям, либо не существует и необходимо принять технические меры для корректировки условий функционирования ПКС.

При разработке алгоритмов определения порогов для простого СКС, состоящего из одной ПСП и составного СКС из нескольких ПСП сделан ряд допущений:

- $P_{нсн}$  – это значение КФ, связанное с числом допустимых ошибок соотношением (2.16);
- $P_{скс}$  – это минимальное число ПСП в структуре составного СКС, которое необходимо верно принять для успешного приема всего составного СКС;

– задана максимально допустимая величина вероятности ложной синхронизации в ТС сети ( $P_{лс}^{ТС доп}$ );

– все ПСП имеют равную длину в структуре составного СКС, т.е. получены с помощью образующих полиномов одинаковой степени (2.10);

– задана требуемая вероятность правильного доведения ( $P_{уст кс}^{ТС треб}$ );

– начальное значение порога приема одной ПСП вычисляется с учетом вероятности ошибки на бит  $p_o$  и длины ПСП ( $L_{нсп}$ ) по формуле (2.33);

$$P_{нсп}^{нач} = L_{нсп} - 2 \cdot (L_{нсп} \cdot p_o + 1) \quad (2.33)$$

– задана максимально допустимая вероятность имитационной помехи в ТС сети ( $P_{нсп}^{ТС доп}$ );

– начальное значение порога  $P_{скс}$  для числа правильно принятых ПСП в структуре составного СКС принимается равным общему числу ПСП в СКС ( $S$ ).

С учетом вышеизложенного разработан алгоритм определения порогов срабатывания ПКС при СКС из одной ПСП (рисунок 2.17).

Результаты расчетов значений порогов  $P_{скс}$  с помощью программы для ЭВМ [113] для заданных параметров сети  $p_o$ ,  $L_{скс}$ ,  $k = 10$ ,  $P_{уст кс}^{ТС} \geq 0,999$ ,  $P_{лс}^{ТС} \leq 10^{-7}$ ,  $P_{уст кс}^{ТС} \geq 0,9995$  и  $P_{лс}^{ТС} \leq 10^{-8}$ ,  $P_{уст кс}^{ТС} \geq 0,9999$  и  $P_{лс}^{ТС} \leq 10^{-9}$  приведены в таблицах 2.2 и 2.3 [28, 113]. Показано, что для некоторых сочетаний исходных данных значения порогов не найдены, так как не обеспечиваются заданные требования. Это характерно для относительно коротких СКС в условиях сильных, средних и слабых помех для  $p_o = 0,1$ ;  $p_o = 0,01$ ;  $p_o = 0,001$  соответственно. Результаты расчетов для  $p_o = 0,1$  большого значения для практики не имеют и носят теоретический характер.

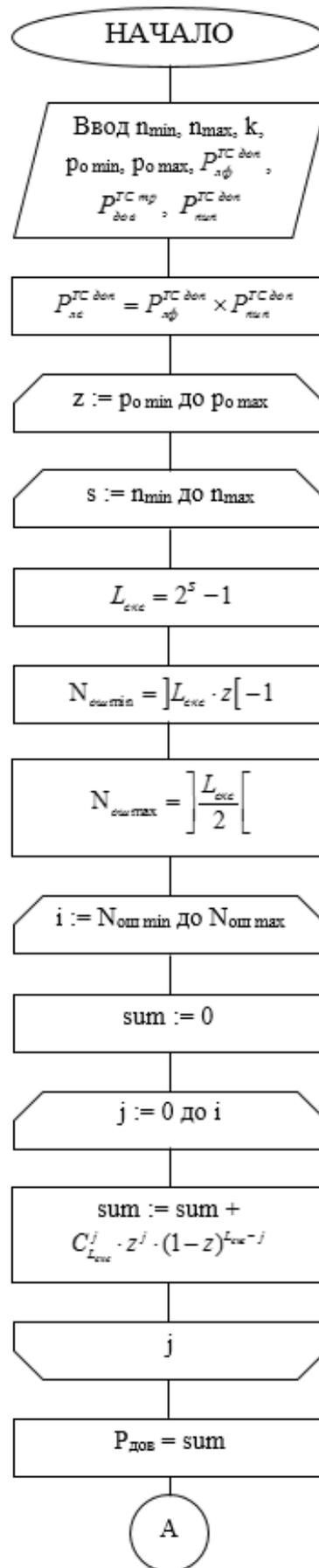


Рисунок 2.17 – Алгоритм определения порога  $P_{nsc}$  для обработки СКС, состоящего из одной ПСП, в условиях помех

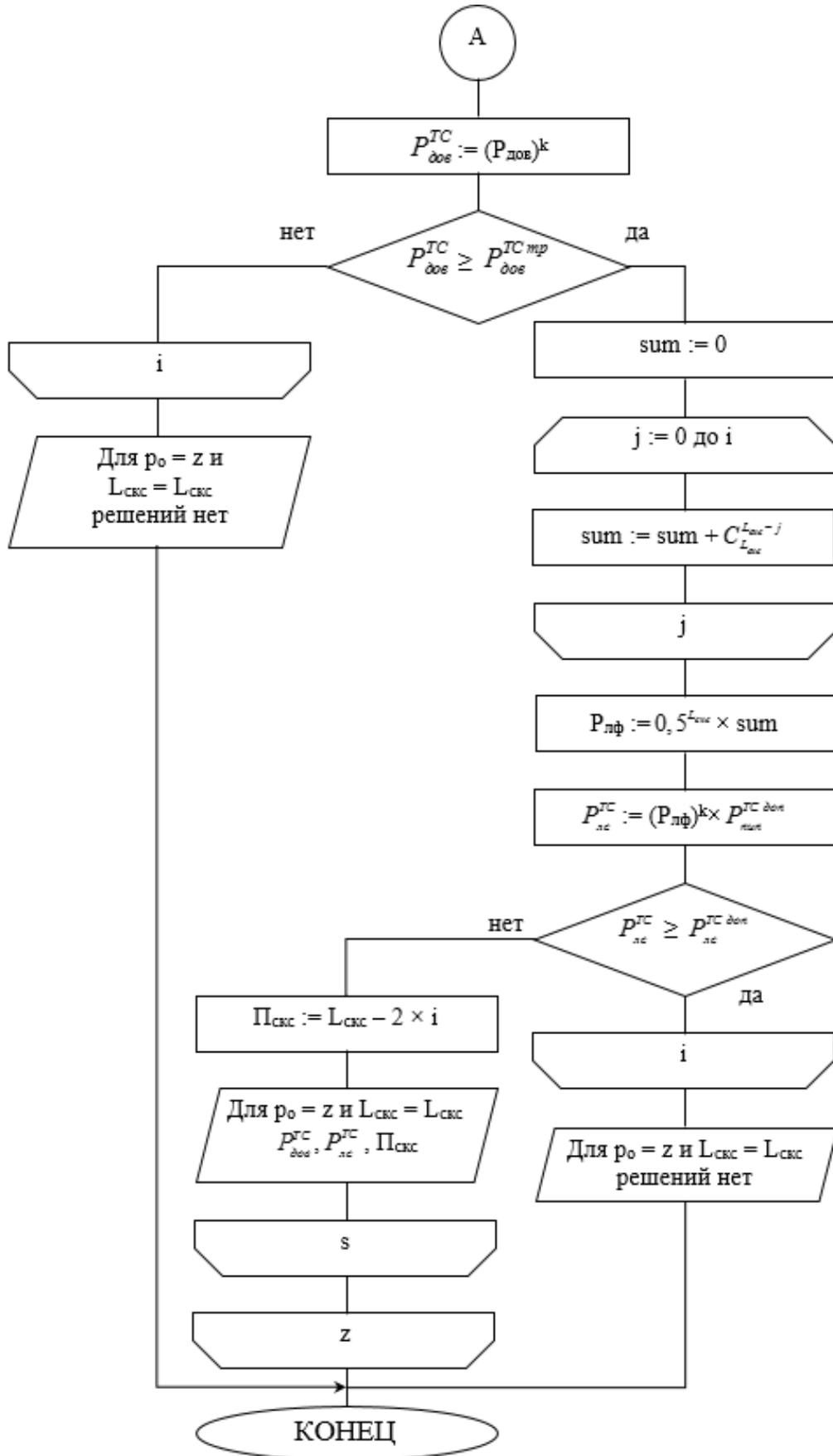


Рисунок 2.17 – Алгоритм определения порога  $P_{nsc}$  для обработки СКС, состоящего из одной ПСП, в условиях помех (продолжение)

Таблица 2.2 – Результаты расчетов значений порогов для СКС, состоящих из одной ПСП, для  $P_{уст\ кс}^{TC} \geq 0,999$  и  $P_{лс}^{TC} \leq 10^{-7}$

$L_{нсп}$	$p_o = 0,1$		$p_o = 0,01$		$p_o = 0,001$	
	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$
7	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-
63	-	-	11	41	8	47
127	34	59	18	91	10	107
255	72	111	24	207	11	233
511	115	281	32	447	14	483
1023	189	645	46	931	18	987

Таблица 2.3 – Результаты расчетов значений порогов для СКС, состоящих из одной ПСП,  $P_{уст\ кс}^{TC} \geq 0,9999$  и  $P_{лс}^{TC} \leq 10^{-9}$

$L_{нсп}$	$p_o = 0,1$		$p_o = 0,01$		$p_o = 0,001$	
	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$
7	-	-	-	-	-	-
15	-	-	-	-	-	-
31	-	-	-	-	-	-
63	-	-	8	47	8	47
127	30	67	18	91	10	107
255	72	111	24	207	11	233
511	115	281	32	447	14	483
1023	189	645	46	931	18	987

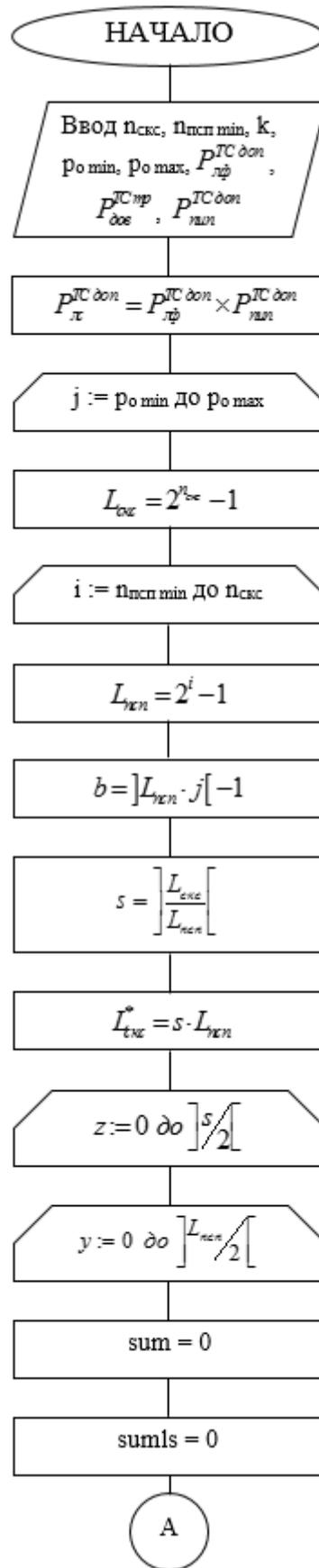


Рисунок 2.18 – Алгоритм определения порогов  $P_{nsp}$  и  $P_{scs}$  для обработки СКС, состоящего из нескольких ПСП одинаковой длины, в условиях помех

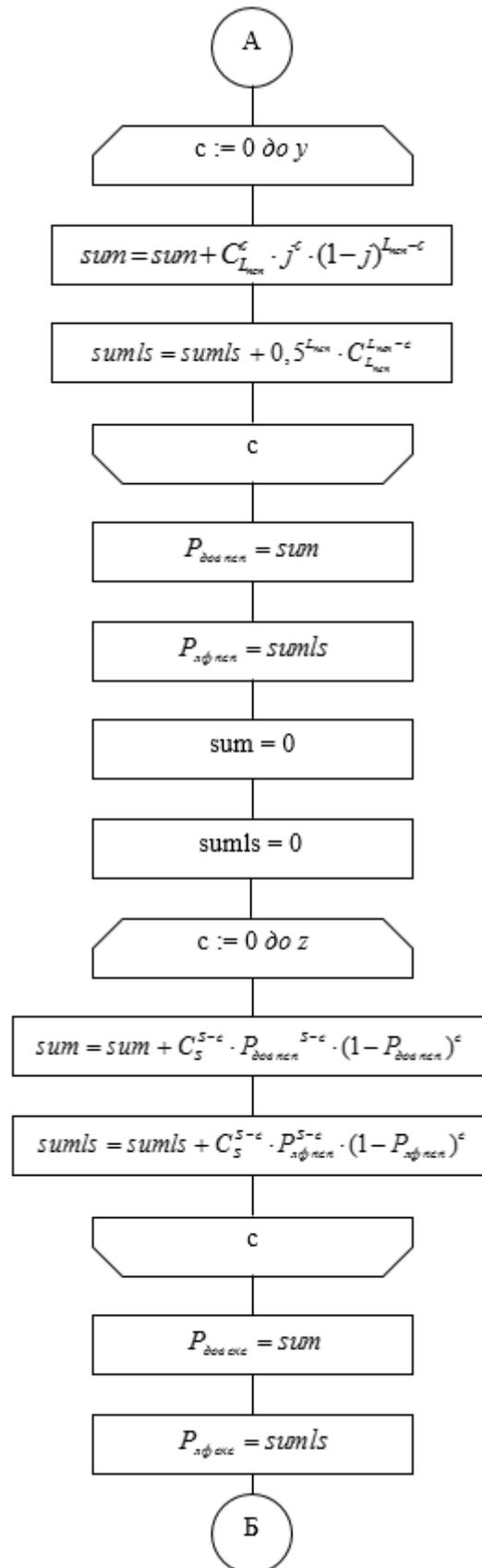


Рисунок 2.18 – Алгоритм определения порогов  $P_{nsc}$  и  $P_{skc}$  для обработки СКС, состоящего из нескольких ПСП одинаковой длины, в условиях помех  
(продолжение)

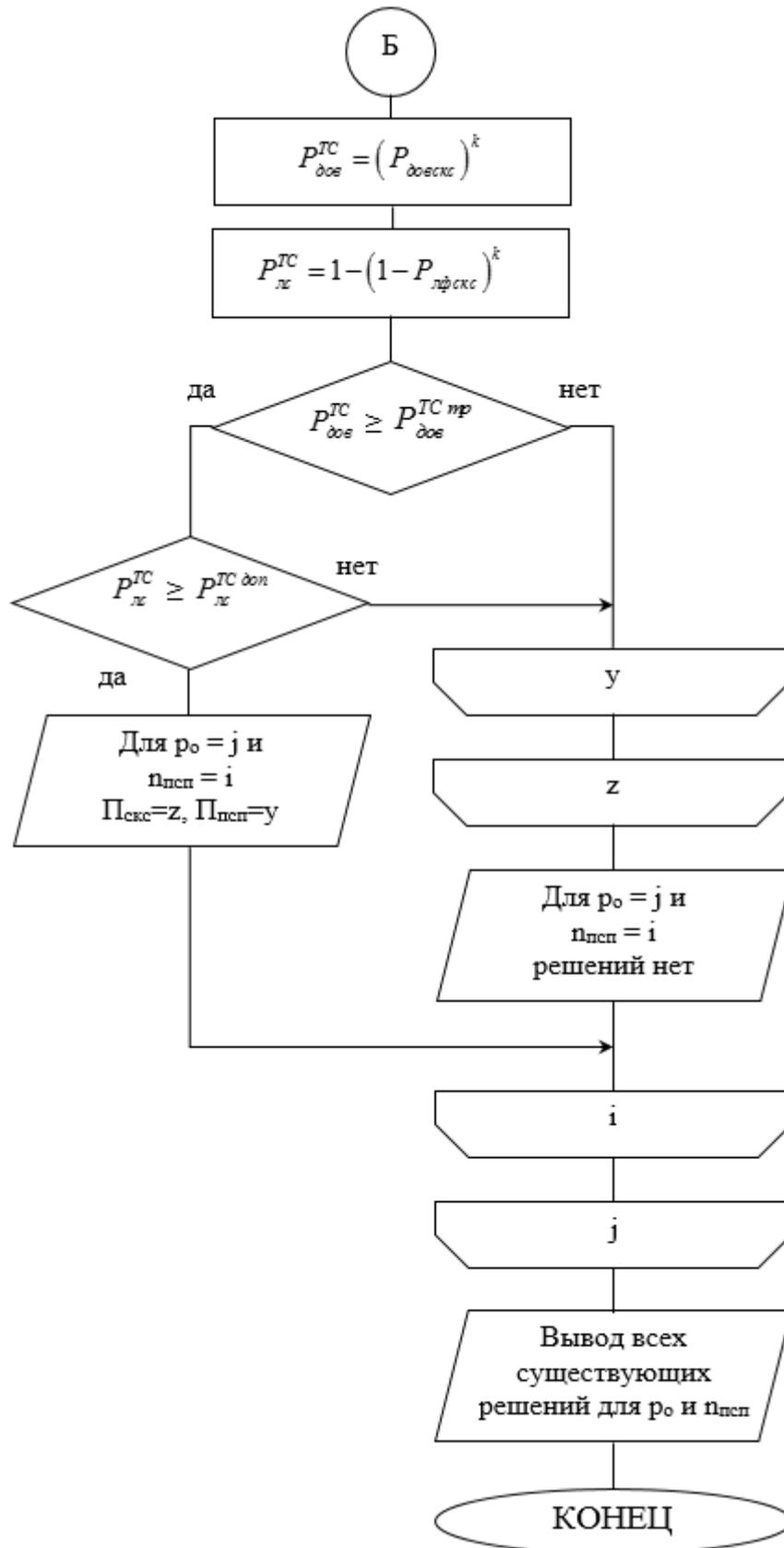


Рисунок 2.18 – Алгоритм определения порогов  $P_{нсп}$  и  $P_{скс}$  для обработки СКС, состоящего из нескольких ПСП одинаковой длины, в условиях помех (продолжение)

Результаты расчетов допустимого числа ошибок  $N_{ош}$  и значений порогов  $\Pi_{нсп}$ ,  $\Pi_{скс}$  с помощью программы для ЭВМ [114] по алгоритму (рисунок 2.18) для заданных параметров сети:  $p_o$ ,  $L_{нсп}$ ,  $L_{скс}$ ,  $k = 10$ ,  $P_{уст\ кс}^{TC} \geq 0,999$ ,  $P_{лс}^{TC} \leq 10^{-7}$ , приведены в таблицах 2.4 - 2.7.

Таблица 2.4 – Результаты расчетов значений порогов для СКС, состоящих из нескольких ПСП, для  $P_{уст\ кс}^{TC} \geq 0,999$ ,  $P_{лс}^{TC} \leq 10^{-7}$ ,  $L_{скс} = 31$  и  $k = 10$

$k = 10$		$p_o = 0,1$			$p_o = 0,01$			$p_o = 0,001$		
$L_{нсп}$	$L_{скс}^*$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$\Pi_{скс}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$\Pi_{скс}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$\Pi_{скс}$
7	28	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	31	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Таблица 2.5 – Результаты расчетов значений порогов для СКС, состоящих из нескольких ПСП, для  $P_{уст\ кс}^{TC} \geq 0,999$ ,  $P_{лс}^{TC} \leq 10^{-7}$ ,  $L_{скс} = 63$  и  $k = 10$

$k = 10$		$p_o = 0,1$			$p_o = 0,01$			$p_o = 0,001$		
$L_{нсп}$	$L_{скс}^*$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$\Pi_{скс}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$\Pi_{скс}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$\Pi_{скс}$
7	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-
15	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-
31	62	-	-	-	-	-	-	-	-	-
63	63	-	-	-	10	43	1	4	55	1

Таблица 2.6 – Результаты расчетов значений порогов для СКС, состоящих из нескольких ПСП, для  $P_{уст\ кс}^{TC} \geq 0,999$ ,  $P_{лс}^{TC} \leq 10^{-7}$ ,  $L_{скс} = 127$  и  $k = 10$

$k = 10$		$p_o = 0,1$			$p_o = 0,01$			$p_o = 0,001$		
$L_{нсп}$	$L_{скс}^*$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$\Pi_{скс}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$\Pi_{скс}$	$N_{ош}$	$\Pi_{нсп}$	$\Pi_{скс}$
7	126	-	-	-	-	-	-	2	3	14
15	120	-	-	-	-	-	-	2	11	4
31	124	-	-	-	10	11	4	6	19	4
63	126	-	-	-	14	35	2	6	51	2
127	127	50	27	1	12	103	1	4	119	1

Таблица 2.7 – Результаты расчетов значений порогов для СКС, состоящих из нескольких ПСП, для  $P_{уст\ кс}^{TC} \geq 0,999$ ,  $P_{лс}^{TC} \leq 10^{-7}$ ,  $L_{скс} = 255$  и  $k = 10$

$k = 10$		$p_o = 0,1$			$p_o = 0,01$			$p_o = 0,001$		
$L_{псп}$	$L_{скс}^*$	$N_{ош}$	$\Pi_{псп}$	$\Pi_{скс}$	$N_{ош}$	$\Pi_{псп}$	$\Pi_{скс}$	$N_{ош}$	$\Pi_{псп}$	$\Pi_{скс}$
7	252	-	-	-	2	3	24	2	3	34
15	255	-	-	-	4	7	11	2	11	13
31	248	-	-	-	6	19	4	2	27	2
63	252	-	-	-	10	43	2	4	55	2
127	254	62	3	2	18	91	2	8	111	2
255	255	86	83	1	18	219	1	6	243	1

Анализ значений показал, что при сочетании отдельных условий функционирования невозможно определить значения порогов для удовлетворения требований заданных условий. Увеличение длины последовательности позволяет улучшить вероятностные характеристики и получить значения дискретных порогов, при которых они будут обеспечены. Расчет значений вероятностных характеристик при заданных исходных данных проводился с помощью программы, написанной в среде программирования Borland Delphi 7.

### Выводы по второму разделу

Моделирование процесса установления кадровой синхронизации в ТС модернизированной цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в условиях помех позволило сделать следующие выводы:

1. Установление кадрового синхронизма во всей цифровой радиосети метрового диапазона с ПО заключается в кадровой синхронизации всех ТС сети. Поэтому общие характеристики процесса установления и поддержания кадровой синхронизации всей сети можно найти через характеристики процессов ПКС ТС сети.

2. ПКС ТС сети может функционировать в следующих режимах: передача

СКС при первоначальном установлении кадрового синхронизма в ТС, принудительная периодическая передача СКС, передача СКС по запросу УК, потерявшего синхронизм. При этом установление кадровой синхронизации однозначно обеспечивается достоверным приемом СКС.

3. Устойчивая кадровая синхронизация ПКС ТС в условиях помех требует реализации СКС в виде синхросигналов с увеличенной базой. При этом синхросигналы должны быть сложной структуры, с одной стороны, для обеспечения требуемой вероятности доведения СКС (установления кадровой синхронизации), а с другой стороны для снижения вероятности воздействия имитационных помех на ПКС.

4. Реализация в ПКС двуединой задачи: достоверный прием СКС – при обеспечении вероятности ложного кадрового синхронизма требует нахождения соответствующих порогов обработки СКС в ПКС.

5. Разработаны алгоритмы определения порога обработки парциальной ПСП в составе СКС сложной структуры и порога обработки ансамбля ПСП в составе СКС с учетом воздействия помех, а также выдачей рекомендаций по изменению параметров ПКС на этапе ее проектирования.

6. Математическая модель процесса установления кадровой синхронизации в ТС цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в условиях воздействия помех выполнена в виде совокупности аналитических выражений, алгоритмов и регулярной конечной марковской цепи и позволяет находить атрибутивные характеристики ПКС для различных условий функционирования ТС.

### **3. МЕТОДИКА НАХОЖДЕНИЯ И РАСЧЕТ ПЕРИОДА КОРРЕКЦИИ ПОДСИСТЕМЫ КАДРОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ ЦИФРОВОЙ РАДИОСЕТИ МЕТРОВОГО ДИАПАЗОНА С ПОДВИЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ В ЗОНЕ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ В УСЛОВИЯХ ПОМЕХ**

#### **3.1 Исследование зависимости коэффициента кадровой эффективности типового сегмента цифровой радиосети метрового диапазона в зоне чрезвычайной ситуации от атрибутивных параметров подсистемы кадровой синхронизации**

Как было показано в предыдущих разделах, на коэффициент функциональной готовности цифровой радиосети метрового диапазона с ПО существенное влияние оказывает коэффициент технического использования, названный коэффициентом кадровой эффективности, так как он отражает эффективность структуры кадра временной последовательности ВРК.

Анализ показал [6, 8, 25], что коэффициент кадровой эффективности сети для случая, когда длительность временного окна  $\tau_{\text{во}}$  в структуре кадра (рисунок 1.6) изначально задана, зависит от следующих параметров, характеризующих условия функционирования ПКС:

- относительная нестабильность задающих генераторов  $\gamma$ ;
- число уровней иерархии сети  $l$ ;
- длина СКС  $L_{\text{скс}}$ ;
- неопределенность расстояний между УК сети  $\Delta R$ ;
- величина защитного интервала для компенсации нестабильности задающих генераторов УК  $\tau_3^2$ ;
- величина защитного интервала для компенсации динамики расстояний между УК  $\tau_3^p$ ;
- длительность временного окна  $\tau_{\text{во}}$ ;
- скорость манипуляции в радиолинии  $V_{p/l}$ .

Так как в каждом ТС сети структура ВРК одинакова, то в рамках ТС  $l = 1$  и зависимость коэффициента кадровой эффективности ТС сети от параметров его ПКС с учетом (1.1), (1.2) и (1.3) примет вид (3.1) [33, 38, 137].

$$\eta = 1 - \frac{(\tau_3^c + \tau_3^p)}{(\tau_{60} + \tau_3^c + \tau_3^p)} - \frac{(L_{\text{скс}} / V_{\text{р/л}} + \tau_3^p) \cdot 2 \cdot \gamma}{\tau_3^c}. \quad (3.1)$$

Преобразовав зависимость (3.1), получим (3.2)

$$\eta = \frac{\tau_{60}}{(\tau_{60} + \tau_3^c + \tau_3^p)} - \frac{(L_{\text{скс}} / V_{\text{р/л}} + \tau_3^p) \cdot 2 \cdot \gamma}{\tau_3^c}. \quad (3.2)$$

Проведя замену  $\begin{cases} L_{\text{скс}} / V_{\text{р/л}} + \tau_3^p = \alpha \\ \tau_3^c = x, \eta = y \\ \tau_3^p + \tau_{60} = \beta \end{cases}$ , получим функцию (3.4).

$$\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0, \tau_{60} > 0. \quad (3.3)$$

$$y(x) = \frac{\tau_{60}}{x + \beta} - \frac{2\alpha\gamma}{x}. \quad (3.4)$$

Найдем значения  $x$ , при которых  $y(x)$  принимает максимальное значение, для этого исследуем функцию (3.4) на экстремум с помощью производной. Производная первого порядка от (3.4) будет иметь вид (3.5).

$$y'(x) = \left( \frac{\tau_{60}}{x + \beta} \right)' - \left( \frac{2\alpha\gamma}{x} \right)' = -\frac{\tau_{60}}{(x + \beta)^2} + \frac{2\alpha\gamma}{x^2} = \frac{2\alpha\gamma(x + \beta)^2 - x^2\tau_{60}}{x^2(x + \beta)^2}. \quad (3.5)$$

Согласно теореме о необходимом условии существования экстремума функции известно, что в точке экстремума первая производная функции либо равна нулю, либо равна бесконечности, либо не существует, по этому требуется найти значения  $x$ , при которых  $y'(x) = 0$ , так как другие варианты не имеют физического смысла. Значение  $x = 0$  обращает знаменатель (3.5) в ноль и противоречит условию (3.3), следовательно, смысла не имеет. Тогда  $y'(x) = 0$  при выполнении условия (3.6).

$$2\alpha\gamma(x^2 + 2x\beta + \beta^2) - \tau_{60}x^2 = 2\alpha\gamma x^2 + 4\alpha\beta\gamma x + 2\alpha\beta^2\gamma - \tau_{60}x^2 = 0. \quad (3.6)$$

Выполнив преобразования, получим квадратное уравнение (3.7).

$$(2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}})x^2 + 4\alpha\beta\gamma x + 2\alpha\beta^2\gamma = 0. \quad (3.7)$$

Дискриминант уравнения (3.7) найдем по формуле (3.8), причем с учетом (3.3) он всегда больше нуля.

$$D = 16\alpha^2\gamma^2\beta^2 - 4 \cdot (2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}}) \cdot 2\alpha\beta^2\gamma = 8\alpha\gamma\beta^2\tau_{\text{го}} > 0. \quad (3.8)$$

Следовательно, уравнение (3.7) будет иметь два решения с корнями (3.9).

$$x_{1,2} = \frac{-2\alpha\beta\gamma \pm \beta\sqrt{2\alpha\gamma\tau_{\text{го}}}}{2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}}}. \quad (3.9)$$

Согласно достаточному условию существования экстремума функции возможны два случая (рисунок 3.1).

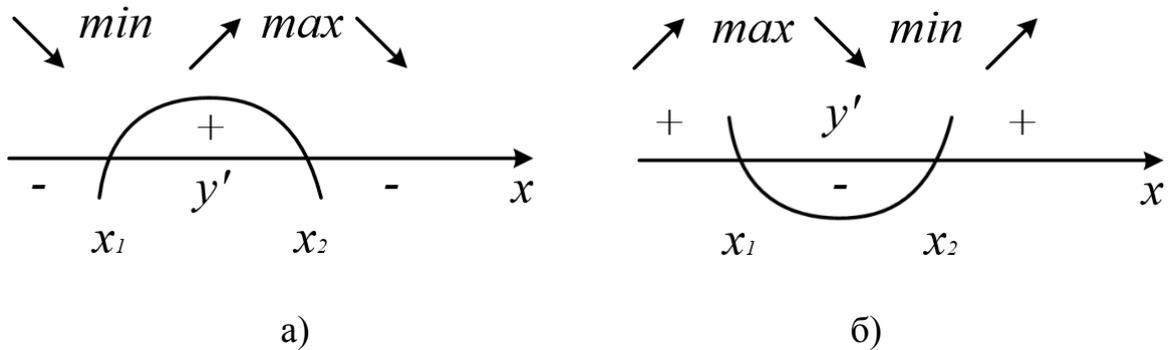


Рисунок 3.1 – Случай первый а) и случай второй б)

Тогда с учетом теоремы Виета возможны следующие сочетания возможных решений (3.10):

$$\begin{aligned}
 \text{а)} \quad & \begin{cases} 2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}} > 0 \\ \frac{2\alpha\beta^2\gamma}{2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}}} < 0 \end{cases} & \text{б)} \quad & \begin{cases} 2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}} > 0 \\ \frac{2\alpha\beta^2\gamma}{2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}}} > 0 \end{cases} \\
 \text{в)} \quad & \begin{cases} 2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}} < 0 \\ \frac{2\alpha\beta^2\gamma}{2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}}} > 0 \end{cases} & \text{г)} \quad & \begin{cases} 2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}} < 0 \\ \frac{2\alpha\beta^2\gamma}{2\alpha\gamma - \tau_{\text{го}}} < 0 \end{cases}
 \end{aligned} \quad (3.10)$$

Принимая во внимание условие (3.3), существование систем уравнений а) и в) выражения (3.10) невозможно, а система б) не имеет физического смысла, учитывая тот факт, что величина  $\gamma$  на несколько порядков меньше величины  $\tau_{\text{во}}$ , а следовательно, первое уравнение системы б) выражения (3.10) на практике всегда меньше нуля. Следовательно, условиям удовлетворяет система уравнений з) выражения (3.10) и отсюда следует, что корни уравнения (3.7)  $x_1$  и  $x_2$  имеют разные знаки. Тогда решением уравнения (3.7) будет положительное значение, определяемое выражением (3.11).

$$x = \frac{-2\alpha\beta\gamma - \beta\sqrt{2\alpha\gamma\tau_{\text{во}}}}{2\alpha\gamma - \tau_{\text{во}}}. \quad (3.11)$$

Подставив в выражение (3.11) исходные значения переменных, получим формулу для нахождения оптимальной величины защитного интервала для компенсации неустойчивости опорных генераторов (3.12), при которой коэффициент кадровой эффективности принимает свое максимальное значение.

$$\tau_{3 \text{ опт}}^2 = \frac{-(\tau_3^p + \tau_{\text{во}}) \cdot \left( 2\gamma \left( L_{\text{скс}} / V_{\text{р/л}} + \tau_3^p \right) + \sqrt{2\gamma \left( L_{\text{скс}} / V_{\text{р/л}} + \tau_3^p \right) \tau_{\text{во}}} \right)}{2\gamma \left( L_{\text{скс}} / V_{\text{р/л}} + \tau_3^p \right) - \tau_{\text{во}}}. \quad (3.12)$$

Зная оптимальное значение защитного интервала для компенсации относительной неустойчивости задающих генераторов (3.12) и преобразовав (1.2), получим формулу (3.13) для определения оптимального значения периода коррекции ПКС ТС сети

$$T_{\text{ск}}^* = \frac{\tau_{3 \text{ опт}}^2}{2 \cdot \gamma}. \quad (3.13)$$

При выполнении условия (3.14) можно найти рациональные значения величин защитного интервала ( $\tau_{3 \text{ рац}}^{\text{min}}$ ,  $\tau_{3 \text{ рац}}^{\text{max}}$ ), существование которых показано на графике (рисунок 3.2) по формулам (3.15) и (3.16) соответственно.

$$\eta_{\text{max}} > \eta_{\text{mp}}. \quad (3.14)$$

$$\tau_{3 \text{ рац}}^{\text{min}} = \frac{-\left(\eta_{\text{mp}} \cdot (\tau_3^p + \tau_{60})\right) + 2 \cdot \gamma \left(L_{\text{скс}} / V_{p/l} + \tau_3^p\right) - \tau_{60}}{2 \cdot \eta_{\text{mp}}} - \frac{\sqrt{\left(\eta_{\text{mp}} \cdot (\tau_3^p + \tau_{60})\right) + 2 \cdot \gamma \left(L_{\text{скс}} / V_{p/l} + \tau_3^p\right) - \tau_{60}}^2 - 8 \cdot \eta_{\text{mp}} \cdot \left(L_{\text{скс}} / V_{p/l} + \tau_3^p\right) \cdot (\tau_3^p + \tau_{60})}}{2 \cdot \eta_{\text{mp}}} \quad (3.15)$$

$$\tau_{3 \text{ рац}}^{\text{max}} = \frac{-\left(\eta_{\text{mp}} \cdot (\tau_3^p + \tau_{60})\right) + 2 \cdot \gamma \left(L_{\text{скс}} / V_{p/l} + \tau_3^p\right) - \tau_{60}}{2 \cdot \eta_{\text{mp}}} + \frac{\sqrt{\left(\eta_{\text{mp}} \cdot (\tau_3^p + \tau_{60})\right) + 2 \cdot \gamma \left(L_{\text{скс}} / V_{p/l} + \tau_3^p\right) - \tau_{60}}^2 - 8 \cdot \eta_{\text{mp}} \cdot \left(L_{\text{скс}} / V_{p/l} + \tau_3^p\right) \cdot (\tau_3^p + \tau_{60})}}{2 \cdot \eta_{\text{mp}}} \quad (3.16)$$

Для повышения скрытности ПКС период передачи СКС необходимо увеличивать, и поэтому значение  $T_{\text{ск рац}}$  будет вычисляться по формуле (3.17).

$$T_{\text{ск рац}} = \frac{\tau_{3 \text{ рац}}^{\text{max}}}{2 \cdot \gamma} \quad (3.17)$$

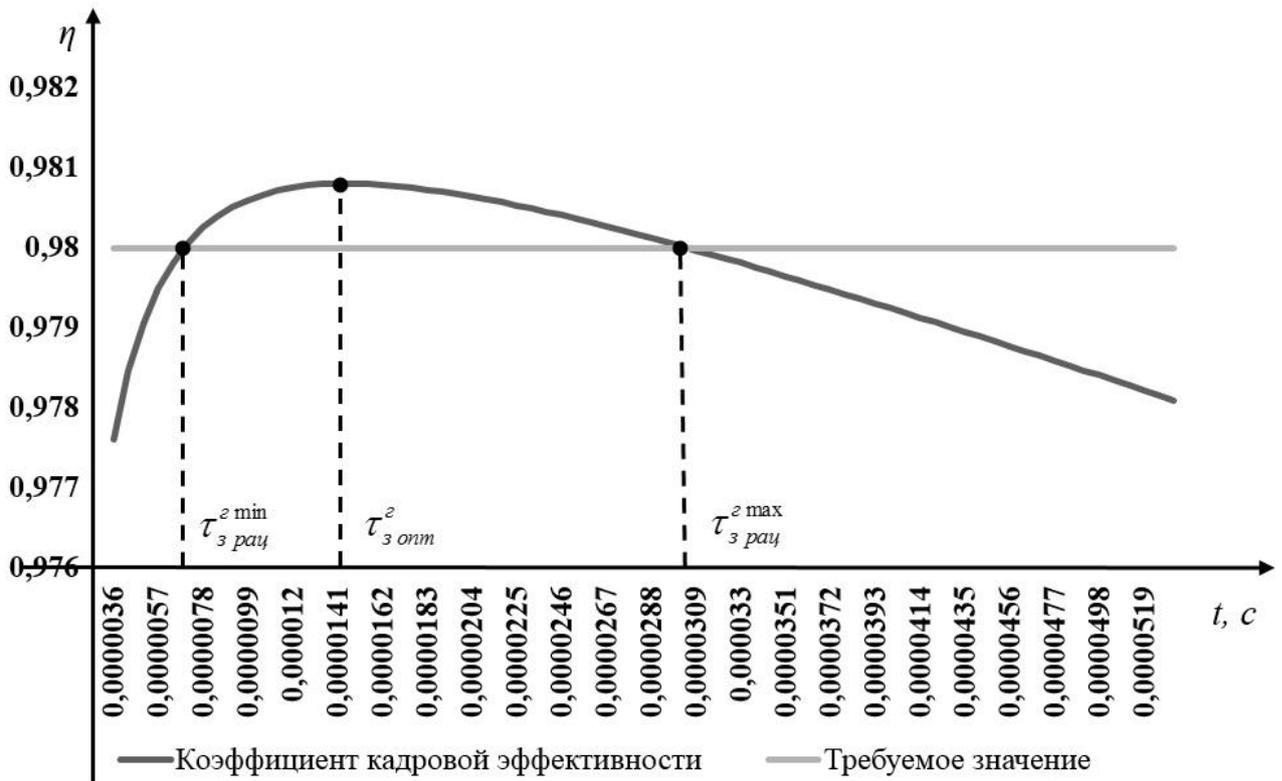


Рисунок 3.2 – График зависимости  $\eta = f(\tau_3^c)$  при  $\eta_{\text{mp}} = 0,98$   $\gamma = 10^{-6}$ ,  $\tau_{60} = 0.01$  с,  $V_{p/l} = 19200$  бит/с,  $L_{\text{скс}} = 192$  дв.с.

Результаты расчетов оптимальных и рациональных значений периода коррекции для различных условий функционирования ПКС ТС сети с учетом

различных требований и установленных атрибутивных параметров самой ПКС, проведенные с помощью программы в среде Maple V Release 4, представлены в таблицах 3.1 – 3.5.

Таблица 3.1 – Результаты расчетов для  $\gamma = 10^{-6}$ ,  $\tau_{\text{во}} = 0.01$  с,  $\eta_{\text{mp}} = 0.98$ ,

$$V_{p/l} = 19200 \text{ бит/с}, L_{\text{скс}} = 192 \text{ дв.с.}$$

$\Delta R$ (км)	$\tau_{\text{зонт}}^2$ (с)	$T_{\text{ск}}^*$ (с)	$\eta_{\text{max}}$	$T_{\text{ск рац}}$ (с)
50	$1,45 \cdot 10^{-5}$	7,26	0,981	15,24
35	$1,44 \cdot 10^{-5}$	7,21	0,986	42,48
20	$1,43 \cdot 10^{-5}$	7,15	0,991	67,94
10	$1,42 \cdot 10^{-5}$	7,12	0,994	84,76

Таблица 3.2 – Результаты расчетов для  $\gamma = 10^{-6}$ ,  $\Delta R = 50$  км,  $\eta_{\text{mp}} = 0.98$ ,

$$V_{p/l} = 19200 \text{ бит/с}, L_{\text{скс}} = 192 \text{ дв.с.}$$

$\tau_{\text{во}}$ (с)	$\tau_{\text{зонт}}^2$ (с)	$T_{\text{ск}}^*$ (с)	$\eta_{\text{max}}$	$T_{\text{ск рац}}$ (с)
0,05	$3,2 \cdot 10^{-5}$	16,01	0,995	426,25
0,01	$1,45 \cdot 10^{-5}$	7,26	0,981	15,24
0,005	$1,04 \cdot 10^{-5}$	5,22	0,964	нет
0,001	$0,53 \cdot 10^{-5}$	2,64	0,849	нет

Таблица 3.3 – Результаты расчетов для  $\tau_{\text{во}} = 0.01$  с,  $\Delta R = 50$  км,  $\eta_{\text{mp}} = 0.98$ ,

$$V_{p/l} = 19200 \text{ бит/с}, L_{\text{скс}} = 192 \text{ дв.с.}$$

$\gamma$	$\tau_{\text{зонт}}^2$ (с)	$T_{\text{ск}}^*$ (с)	$\eta_{\text{max}}$	$T_{\text{ск рац}}$ (с)
$10^{-5}$	$4,61 \cdot 10^{-5}$	2,3	0,975	нет
$10^{-6}$	$1,45 \cdot 10^{-5}$	7,26	0,981	15,24
$10^{-7}$	$0,46 \cdot 10^{-5}$	22,93	0,983	184,2
$10^{-8}$	$0,14 \cdot 10^{-5}$	72,5	0,983	1867,9

Таблица 3.4 – Результаты расчетов для  $\gamma = 10^{-6}$ ,  $\tau_{\text{во}} = 0.01$  с,  $\Delta R = 50$  км,  $\eta_{\text{mp}} =$

$$0.98, V_{p/l} = 19200 \text{ бит/с.}$$

$L_{скс}$	$\tau_{з\text{ опт}}^2$ (с)	$T_{ск}^*$ (с)	$\eta_{max}$	$T_{ск\text{ рац}}$ (с)
255	$1,67 \cdot 10^{-5}$	8,35	0,98	13,54
192	$1,45 \cdot 10^{-5}$	7,26	0,981	15,24
127	$1,19 \cdot 10^{-5}$	5,93	0,981	16,58
63	$0,84 \cdot 10^{-5}$	4,22	0,982	17,69
31	$0,61 \cdot 10^{-5}$	3,04	0,982	18,2

Таблица 3.5 – Результаты расчетов для  $\gamma = 10^{-6}$ ,  $\tau_{во} = 0.01$  с,  $\Delta R = 50$  км,  
 $V_{p/l} = 19200$  бит/с,  $L_{скс} = 192$  дв.с.

$\eta_{mp}$	$\tau_{з\text{ опт}}^2$ (с)	$T_{ск}^*$ (с)	$\eta_{max}$	$T_{ск\text{ рац}}$ (с)	$\tau_{з\text{ рац}}^2 \text{ max}$
0,98	$1,45 \cdot 10^{-5}$	7,26	0,981	15,24	$3,05 \cdot 10^{-5}$
0,97	$1,45 \cdot 10^{-5}$	7,26	0,981	70,54	$14,11 \cdot 10^{-5}$
0,96	$1,45 \cdot 10^{-5}$	7,26	0,981	124,56	$24,91 \cdot 10^{-5}$
0,95	$1,45 \cdot 10^{-5}$	7,26	0,981	179,51	$35,9 \cdot 10^{-5}$
0,94	$1,45 \cdot 10^{-5}$	7,26	0,981	235,57	$47,11 \cdot 10^{-5}$

Исходная зависимость (3.2) для случая, когда величина временного окна может лежать в заданных пределах ( $0 \leq \tau_{во} \leq 0,01$ ) и  $\tau_{з}^2 > 0$ , является функцией двух переменных и, проведя замену (3.18), получим формулу (3.20).

$$\begin{cases} \tau_{з}^2 = x \\ \tau_{во} = y \\ L_{скс} / V_{p/l} = \alpha \\ \tau_{з}^p = \beta \end{cases} \quad (3.18)$$

$$\alpha > 0, \beta > 0, \gamma > 0, 0 \leq y \leq 0.01, x > 0 \quad (3.19)$$

$$\eta(x, y) = \frac{y}{x + y + \beta} - \frac{2\gamma(\alpha + \beta)}{x} \quad (3.20)$$

Анализ требований к современным ППК позволил сформировать дополнительное ограничение на коэффициент кадровой эффективности

$$\frac{y}{y+x+\beta} \geq 0,95. \quad (3.21)$$

Преобразовав (3.21), получим уравнение ограничения

$$y \geq 19(x + \beta). \quad (3.22)$$

Найти максимальное значение функции (3.20) в области допустимых значений (ОДЗ) с учетом ограничений (3.19) и (3.22) можно классическим методом математического анализа. Известно, что стационарные точки существуют либо внутри ОДЗ функции, ограниченной с помощью уравнений ограничений, либо на границах этой области.

I. Найдем стационарную точку внутри области допустимых значений функции – D (рисунок 3.3).

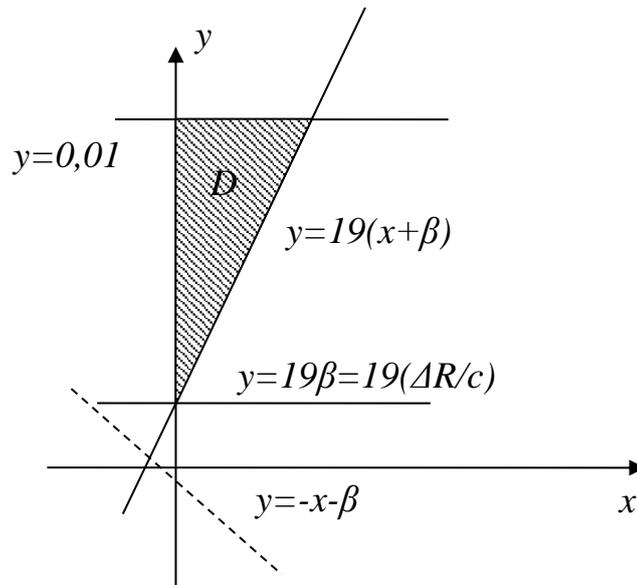


Рисунок 3.3 – Область допустимых значений функции

$$\begin{cases} \eta'_x = 0 \\ \eta'_y = 0 \end{cases} \quad (3.23)$$

$$\begin{cases} \frac{-y}{(x+y+\beta)^2} + \frac{2\gamma(\alpha+\beta)}{x^2} = 0 & \times (x+\beta) \\ \frac{x+\beta}{(x+y+\beta)^2} = 0 & \times y \end{cases} \quad (3.24)$$

$$\begin{cases} \frac{-y(x+\beta)}{(x+y+\beta)^2} + \frac{2\gamma(\alpha+\beta)(x+\beta)}{x^2} = 0 \\ \frac{(x+\beta)y}{(x+y+\beta)^2} = 0 \end{cases} \quad (3.25)$$

Методом сложения уравнений системы (3.25) получим уравнение (3.26).

$$\frac{2\gamma(\alpha+\beta)(x+\beta)}{x^2} = 0 \quad (3.26)$$

$$2\gamma(\alpha+\beta)(x+\beta) = 0 \quad (3.27)$$

$$x+\beta = 0 \quad (3.28)$$

Из выражения (3.28) с учетом (3.19) следует, что в области  $D$  стационарных точек, подозрительных на экстремум, нет.

II. Исследуем поведение функции (3.20) на границах области  $D$ .

Слева область  $D$  границы не имеет, так как  $x \neq 0$ , но при  $x \rightarrow 0$  функция  $\eta \rightarrow -\infty$ , т.е. максимум на границе  $x = 0$  быть не может.

При  $y = 0,01$  функция (3.20) примет вид уравнения (3.29) для определения точек экстремума этой функции выполним преобразования (3.30) - (3.33).

$$\eta = \frac{0,01}{x+0,01+\beta} - \frac{2\gamma(\alpha+\beta)}{x} \quad (3.29)$$

$$\eta'_x = -\frac{0,01}{(x+\beta+0,01)^2} + \frac{2\gamma(\alpha+\beta)}{x^2} = 0 \quad (3.30)$$

$$2\gamma(\alpha+\beta)(x+0,01+\beta)^2 - 0,01x^2 = 0 \quad (3.31)$$

$$2\gamma(\alpha+\beta)(x^2 + 2(0,01+\beta)x + (0,01+\beta)^2) - 0,01x^2 = 0 \quad (3.32)$$

$$\begin{aligned} & \underbrace{[2\gamma(\alpha+\beta) - 0,01]}_A x^2 + \underbrace{4\gamma(\alpha+\beta)(0,01+\beta)}_B x + \\ & \underbrace{+ 2\gamma(\alpha+\beta)(0,01+\beta)^2}_C = 0 \end{aligned} \quad (3.33)$$

Из физического смысла задачи следует, что  $B > 0$  и  $C > 0$ ; далее проанализируем варианты для различных значений  $A$ :

а) если  $A = 0$ , то корень уравнения единственный (3.34).

$$x = -\frac{2\gamma(\alpha + \beta)(0,01 + \beta)^2}{4\gamma(\alpha + \beta)(0,01 + \beta)} = -\frac{0,01 + \beta}{2} \text{ причем } x > 0 \text{ при } \beta < -0,01. \quad (3.34)$$

Есть экстремум, но это значение  $x$ - минимум.

б) если  $A > 0$ , то дискриминант для уравнения (3.33) примет вид (3.35).

$$D = 16\gamma^2(\alpha + \beta)^2(0,01 + \beta)^2 - 8\gamma(\alpha + \beta)(0,01 + \beta)^2[2\gamma(\alpha + \beta) - 0,01]. \quad (3.35)$$

В этом случае, даже если существуют два корня уравнения (3.30), то оба они меньше нуля, а отрицательные значения корней в рамках решения данной задачи не имеют физического смысла.

в) если  $A < 0$ , то значения  $x_1$  и  $x_2$  разных знаков, а дискриминант для уравнения (3.33) примет вид (3.36).

$$D = 0,08\gamma(\alpha + \beta)(0,01 + \beta)^2 > 0. \quad (3.36)$$

Таким образом, корни уравнения (3.33) можно найти с помощью выражений (3.37), (3.38).

$$x_1 = \frac{-4\gamma(\alpha + \beta)(0,01 + \beta) - \sqrt{0,08\gamma(\alpha + \beta)(0,01 + \beta)^2}}{4\gamma(\alpha + \beta) - 0,01} - \text{минимум}. \quad (3.37)$$

$$x_2 = \frac{-4\gamma(\alpha + \beta)(0,01 + \beta) + \sqrt{0,08\gamma(\alpha + \beta)(0,01 + \beta)^2}}{4\gamma(\alpha + \beta) - 0,01} - \text{максимум}. \quad (3.38)$$

На границе ОДЗ, где  $y = 19(x + \beta)$  функция (3.20) примет вид уравнения (3.39). Для определения точек экстремума этой функции выполним преобразования (3.40) – (3.42).

$$\eta = \frac{19(x + \beta)}{20(x + \beta)} - \frac{2\gamma(\alpha + \beta)}{x} \quad (3.39)$$

$$\eta'_x = \frac{2\gamma(\alpha + \beta)}{x^2} = 0. \quad (3.40)$$

Уравнение (3.40) решений не имеет,  $\eta'_x > 0 \forall x \Rightarrow$  на границе  $y = 19(x + \beta)$  функция (3.18) всюду возрастает.

Вывод: целевая функция двух переменных (3.20) принимает максимальное значение, вычисляемое по формуле (3.38), при выполнении условия (3.41).

$$\gamma < \frac{0,01}{2(\alpha + \beta)}. \quad (3.41)$$

### **3.2 Методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех**

На основании разработанного аппарата нахождения оптимального значения периода коррекции ПКС ТС радиосети предлагается методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в условиях помех [11, 25]. Основные этапы методики представлены на рисунке 3.4.

**Этап 1.** Сначала вводятся исходные данные, в качестве которых выступают основные атрибутивные параметры, от которых зависит значение коэффициента кадровой эффективности ПКС ТС сети:

1.  $\Delta R$  – максимально допустимое расстояние между УК ТС сети.
2.  $\gamma$  – относительная нестабильность задающих генераторов, установленных в ПКС УК.
3.  $\tau_{\text{во}}$  – размер временного окна.
4.  $l$  – число уровней иерархии сети.
5.  $P_{\text{лс}}^{\text{дон}}$  – допустимая вероятность ложной кадровой синхронизации в ТС.

6.  $P_{nup}^{don}$  – допустимая вероятность постановки имитационной помехи в ТС.
7.  $k$  – норма управляемости, определяющая число подчиненных УК в ТС сети.
8.  $p_o$  – вероятность ошибки на один двоичный символ.
9.  $L_{скс\ min}$  – минимальная длина СКС.
10.  $L_{скс\ max}$  – максимальная длина СКС.
11.  $K_{з\ треб}^{сети}$  – требуемое значение коэффициента готовности ПКС сети.

**Этап 2.** Расчет требуемого значения коэффициента кадровой эффективности ПКС и вероятности установления кадрового синхронизма на основе требуемого значения коэффициента функциональной готовности радиосети по формуле (1.16) с учетом формул (2.5) и (2.6) в зависимости от структуры сети.

**Этап 3.** Определение необходимой длины и структуры СКС, а также соответствующих порогов  $\Pi_{cu}$  и  $\Pi_{ncn}$  для обеспечения требуемого значения вероятности установления кадрового синхронизма согласно математической модели по алгоритмам для простого СКС (рисунок 2.17) или составного СКС (рисунок 2.18).

**Этап 4.** Определение оптимальных значений  $\tau_{з\ опт}^2$  по формуле (3.12) и оптимального значения  $T_{ск\ опт}$  по формуле (3.13), а также максимального значения коэффициента кадровой эффективности  $\eta_{max}$  по формуле (3.2), подставив туда  $\tau_{з\ опт}^2$  при выполнении условия (3.41).

**Этап 5.** Сравнение полученного максимального значения коэффициента кадровой эффективности  $\eta_{max}$  с требуемым значением (3.14). В случае, если максимальное значение меньше требуемого, переход к этапу 7. Если они равны, то оптимальные значения равны рациональным. Если максимальное значение больше требуемого, то переход к этапу 6.

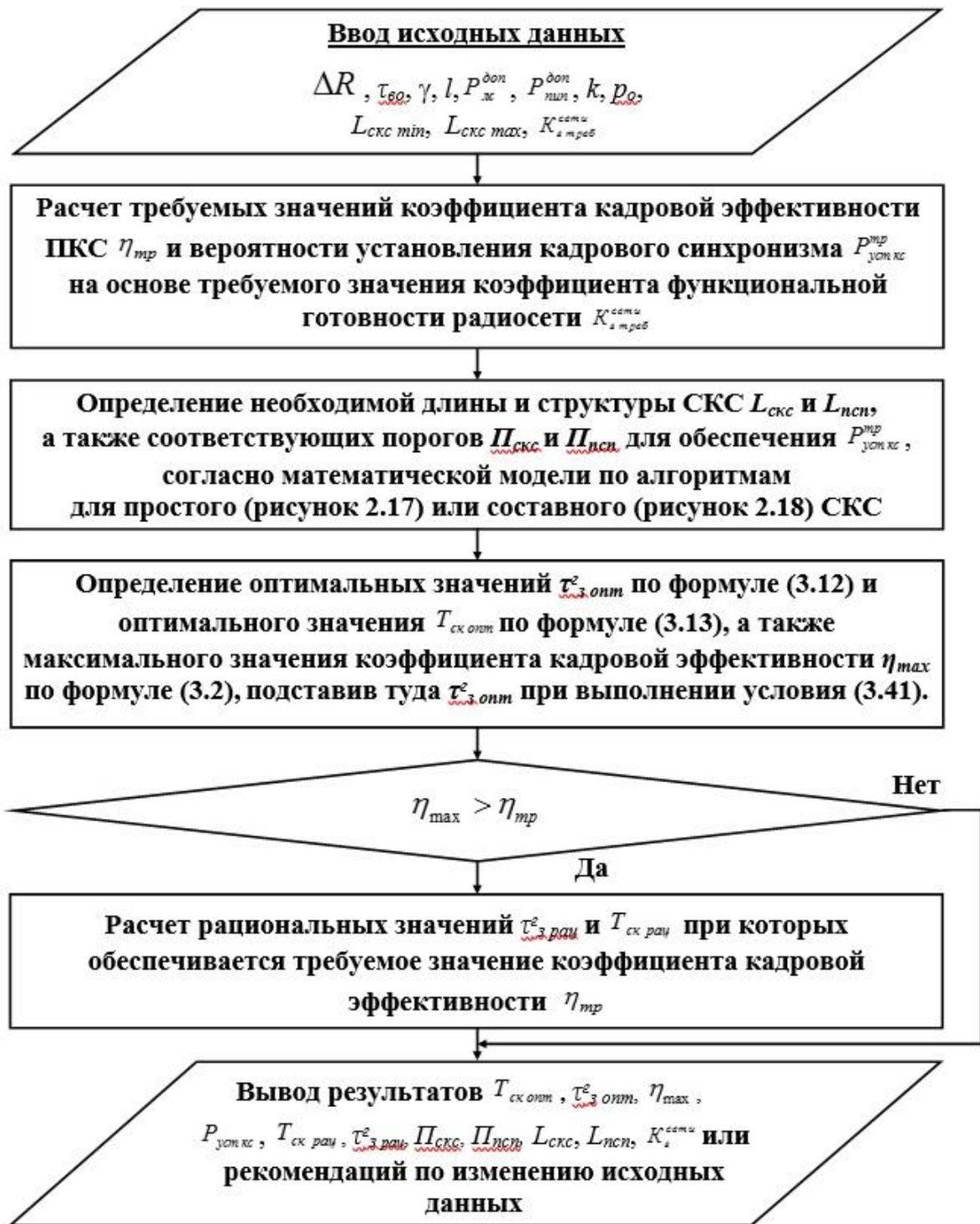


Рисунок 3.4 – Методика определения значений атрибутивных параметров ПКС для обеспечения требуемой функциональной готовности сети радиосвязи с ПО в зоне ЧС

**Этап 6.** Расчёт рациональных значений  $\tau_{з рац}^{\min}$ ,  $\tau_{з рац}^{\max}$  по формулам (3.15) и (3.16). Определение значения  $T_{ск рац}$  по формуле (3.13) для  $\tau_{з рац}^{\max}$ .

**Этап 7.** Вывод полученных результатов  $T_{ск\text{ опт}}, \tau_{з\text{ опт}}^2, \eta_{\max}, P_{скс}, P_{псп}, L_{скс}, L_{псп}, K_2^{сети}$ , рациональных значений (при наличии)  $T_{ск\text{ рац}}, \tau_{з\text{ рац}}^{\min}, \tau_{з\text{ рац}}^{\max}$ , или вывод рекомендаций для изменения условий функционирования системы или изменения требований к системе и ее атрибутивных параметров.

### **3.3 Технические решения по обеспечению качественного функционирования подсистемы кадровой синхронизации и повышения достоверности информационного обмена в типовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона**

В рассматриваемой модернизированной цифровой сети радиосвязи метрового диапазона предполагается использование СКС в виде сигналов с увеличенной базой на основе ПСП. Поэтому основными задачами, решаемыми ПКС, являются установление и поддержание синхронизма в ТС. В условиях наличия разнообразных помех применение СКС сложной структуры повышает защищенность ПКС ТС сети от воздействия преднамеренных и непреднамеренных имитационных помех.

На рисунке 3.5 представлена функциональная схема устройства с расширенными функциональными возможностями за счет реализации режимов установления и поддержания кадрового синхронизма при использовании СКС различной длины.

Основными элементами устройства являются:

- блок регистров с эталонными последовательностями 1;

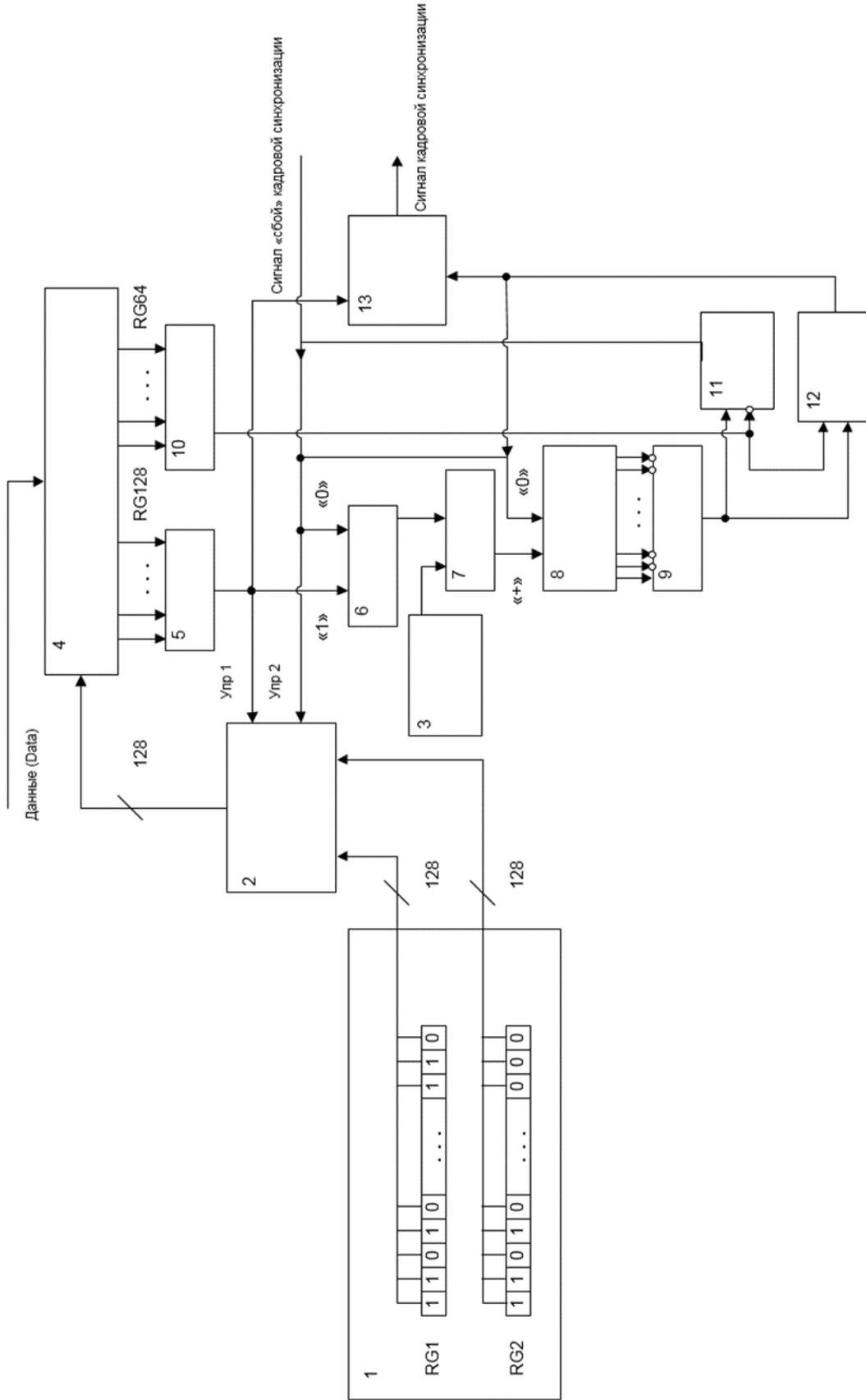


Рисунок 3.5 – Функциональная схема устройства установления и поддержания кадровой синхронизма с использованием СКС разной длины

- мультиплексор 2;
- компаратор 4;
- шесть элементов И 5,7,9-12;
- элемент ИЛИ 13;
- счетчик импульсов 8;
- RS-триггер 6;
- генератор тактовых импульсов 3.

Данное устройство для расширения функциональных возможностей ПКС работает следующим образом. В начальный момент времени на вход данных компаратора поступает поток данных в двоичной форме со скоростью 16 Кбит/с, а на другой вход компаратора через мультиплексор и 128-разрядную шину из RG1 блока регистров с эталонными последовательностями поступает 128-разрядная последовательность, соответствующая  $СКС_{уст\ кс}$ , используемая для установления кадрового синхронизма.

Как только в последовательности входного потока двоичных символов появится последовательность, соответствующая  $СКС_{уст\ кс}$ , то на семи выходах, подключенных к RG-128 компаратора, будет получена последовательность из семи единиц 1111111. Это означает обработку  $СКС_{уст\ кс}$  без ошибок. После этого на выходе первого элемента И 5 сформируется единица, которая установит триггер 6 в единичное состояние при этом импульсы с генератора тактовых импульсов 3 через второй элемент И 7 начнут поступать на вход «+» счетчика импульсов 8. Эта часть схемы запускает отсчет интервала времени равный периоду  $T_{ск}$ , через который должен поступить сигнал для поддержания кадрового синхронизма  $СКС_{подд\ кс}$  [6, 7]. Третий элемент И 9 настроен на входную последовательность бит равную 100010001011100000000, что соответствует времени  $T_{ск} = 70$  с и может настраиваться при изменении значения  $T_{ск}$ . Выход первого элемента И 5 через управляющий вход «Упр 1» мультиплексора 2 подает на вход компаратора 4 последовательность  $СКС_{подд\ кс}$  из регистра RG2 блока регистров с эталонными последовательностями 1. С этого момента схема переходит в режим «поддержания кадрового синхронизма». Размер регистра RG2 также 128 бит, но значимыми

являются только первые 64 разряда последовательности, остальные ячейки заполнены нулями. Также единица с выхода первого элемента И 5, поступив на вход элемента ИЛИ 13 сформирует на его выходе сигнал кадровой синхронизации на выходе схемы устройства. За тем схема ждет прихода  $СКС_{\text{подд кс}}$  во входном потоке двоичных символов, причем ровно через 70 с, которые отсчитываются счетчиком импульсов, который, по сути, выполняет функцию таймера. В момент поступления в компаратор  $СКС_{\text{подд кс}}$  длиной 64 бита, на шести выходах RG64 компаратора 4 будут все единицы 111111, что соответствует приему данного сигнала без ошибок и тогда на выходе четвертого элемента И 10 сформируется единица, которая в зависимости от сигнала на выходе третьего элемента И 9 сформирует единичный сигнал на выходе либо пятого элемента И 11, либо шестого элемента И 12. Если сработает пятый элемент И 11, это будет означать, что время вышло, а  $СКС_{\text{подд кс}}$  не прибыл во-время и тогда сигнал с выхода пятого элемента И 11 установит триггер 6 в нулевое состояние «0», обнулит счетчик импульсов 8 «0» и через вход мультиплексора 2 «Упр 2» подаст на вход компаратора 4 последовательность, соответствующую  $СКС_{\text{уст кс}}$ . Схема перейдет в режим «Установления кадровой синхронизма». Если сработает шестой элемент И 12, это означает, что время вышло и  $СКС_{\text{подд кс}}$  прибыл вовремя и тогда сигнал с выхода шестого элемента И 12 обнулит счетчик импульсов 8 и через элемент ИЛИ 13 сформирует сигнал кадровой синхронизации на выходе схемы устройства.

Таким образом, в устройстве могут моделироваться два возможных режима работы, которые могут быть реализованы в ПКС ТС сети:

- установление кадровой синхронизма после успешной обработки двоичного  $СКС_{\text{уст кс}}$  длиной 128 бит;
- поддержание кадровой синхронизма путем периодической успешной обработки двоичного  $СКС_{\text{подд кс}}$  длиной 64 бит.

Достоинством предлагаемого устройства для ПКС является возможность реализации работы ПКС в двух режимах работы при использовании для этого двоичных СКС переменной длины, что позволит на этапе функционирования ПКС получить выигрыш, выражающийся в уменьшении объема служебной

информации, передаваемой в каналах передачи данных. На основе представленных материалов была подана заявка и получен патент на полезную модель [103].

На рисунке 3.6 представлена структурная схема обработки СКС, состоящего из двух ПСП длиной 15 и 31 бит соответственно [22]. На вход схемы с аналого-цифрового преобразователя поступает поток двоичных символов. При этом вопрос тактовой синхронизации полагается успешно решенным на другом уровне и границы каждого двоичного символа считаются определенными правильно и с необходимой точностью.

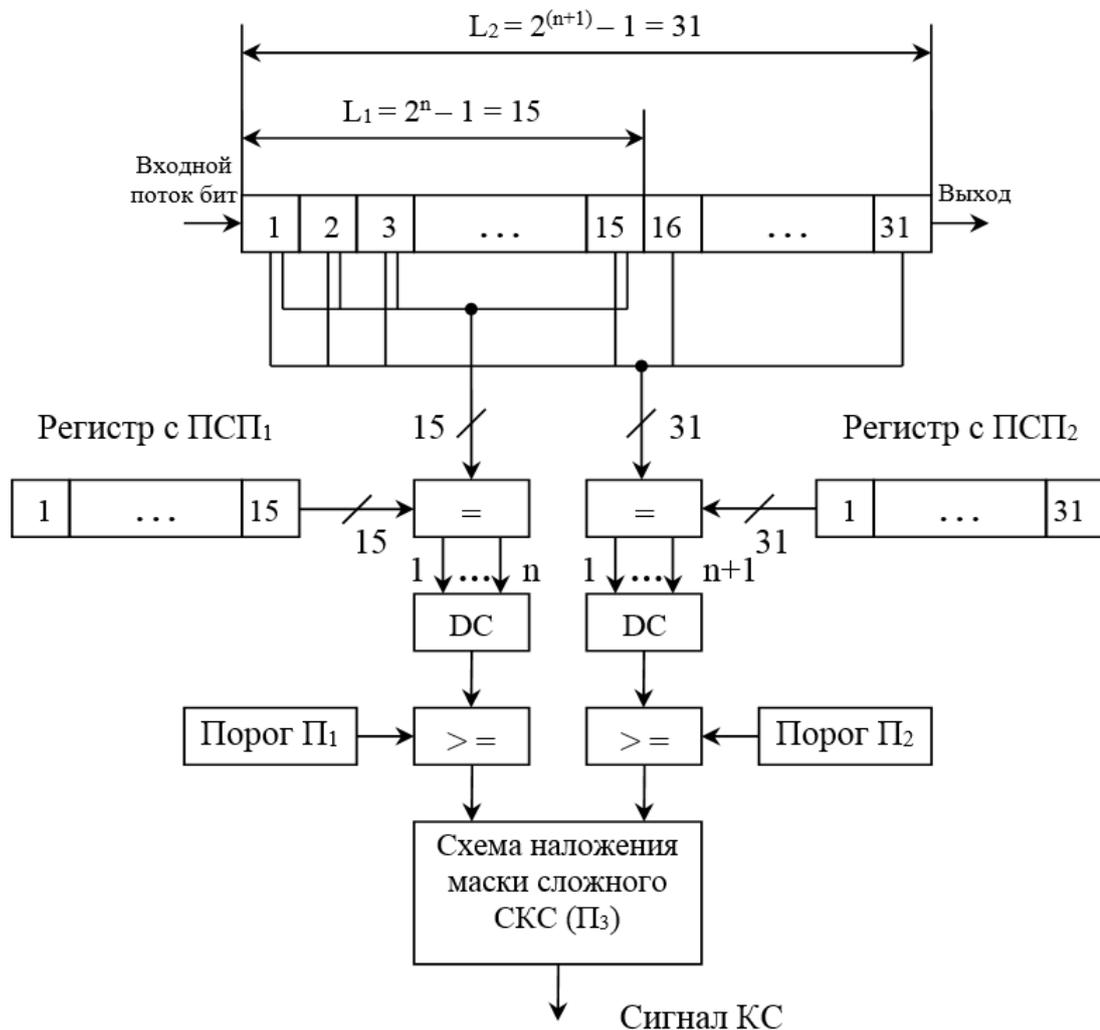


Рисунок 3.6 – Структурная схема обработки СКС, состоящего из двух ПСП длиной 15 и 31 бит

Поступающий поток двоичных символов проходит через регистр сдвига со скоростью поступления потока. На каждом такте работы схемы проводится анализ содержимого находящегося в 1-15 триггере и 1-31 триггере регистра сдвига для

того, чтобы обнаружить соответствующие ПСП1 и ПСП2 методом сравнения с эталонными ПСП, хранящимися в регистрах. Сравнение проводится в компараторах, с соответствующим числом входов. Результаты сравнения (число совпадений) с выходов компараторов поступают на дешифраторы, которые преобразуют результаты сравнения из двоичной формы в десятичную. После чего в компараторах  $\geq$  производится сравнение результатов в десятичной форме со значениями порогов, установленных при настройке схемы ( $P_1$  и  $P_2$ ). Если результат сравнения больше либо равен порогу, то соответствующий сигнал поступает в схему наложения маски сложного СКС. В данной схеме устанавливается порог срабатывания  $P_3$ , который определяет сколько ПСП из СКС должны быть приняты верно. И как было отмечено выше от него также зависит вероятность установления кадрового синхронизма и вероятность установления ложного кадрового синхронизма в радионаправлении. Следовательно, пороги  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  являются важными атрибутивными параметрами ПКС, использующей сложные СКС. А при выборе структуры сложных СКС необходимо добиваться минимальной корреляции сложных СКС внутри всего ансамбля сигналов, применяемых в зоне взаимного приема. Техническая возможность обработки таких СКС очевидна, но сложность схем также возрастает, в зависимости от сложности СКС, при этом логично ухудшаются вероятностные характеристики процесса обработки сложного СКС в целом.

При выполнении различных задач на местности подвижные объекты могут попадать в зоны, где вероятность искажения одного двоичного символа ( $p_o$ ) находится в пределах от  $10^{-2}$  до  $10^{-3}$ . Данные значения  $p_o$  также возможны на предельных дальностях удаления подвижных объектов от базовой станции как было показано в разделе 1.3. Тогда количество ошибок в каждом элементарном канале превысит возможности корректирующих кодов, применяемых в них, что приведет к фактическому пропаданию каналов, а, следовательно, и нарушению информационной связности подвижного объекта и старшего УК ТС сети. Для повышения достоверности для каналов связи с ВРК возможно применять блок мажоритарной обработки в ППК. Выигрыш от применения такого блока в ППК

рассмотрим на примере работы блока мажоритарной обработки 6/11.

Данный блок может быть установлен в ППК и в обычном режиме функционирования сети и ее элементов не задействован. При пропадании канала с одним из подвижных объектов сети, ППК данного объекта и ППК базовой станции для обеспечения минимального уровня информационного обмена между ними переходят в режим, когда в направлении потерявшего связь объекта выделяется 11 временных окон (каналов), по которым передается одна и та же информация. Иными словами, реализован механизм доведения сообщений с повторами. А на приемной стороне предлагается, имея повторы существенно повысить достоверность за счет обработки повторов блоком мажоритарной обработки 6/11. Структурная схема блока мажоритарной обработки 6/11 представлена на рисунке 3.7 [24, 102].

Принцип работы устройства заключается в том, что на входы 1-11 устройства поступает сообщение, состоящее из последовательности двоичных символов «1» и «0», а на выходе устройства 75, по принятому критерию большинства «6 и более из 11» формируется «ответ» - значение тех элементов входной последовательности, число которых превышает число противоположных. Таким образом, если число «1» среди входных значений превышает число «0», то на выходе 75 устройства будет сформировано значение, равное логической «1», что будет справедливо и в обратном случае: при большем числе «0», выходное значение будет соответствовать логическому «0».

Принимая одно сообщение из разных каналов, которые независимы друг от друга, повышается общая вероятность доведения сообщения до приемной абонентской станции. Но при плохой помеховой обстановке, либо при увеличении количества символов в сообщении общая вероятность доведения снижается. При неизменности структуры сообщения и вида модуляции для повышения достоверности в приемное устройство, как средство повышения достоверности приема, включаем блок мажоритарной обработки.

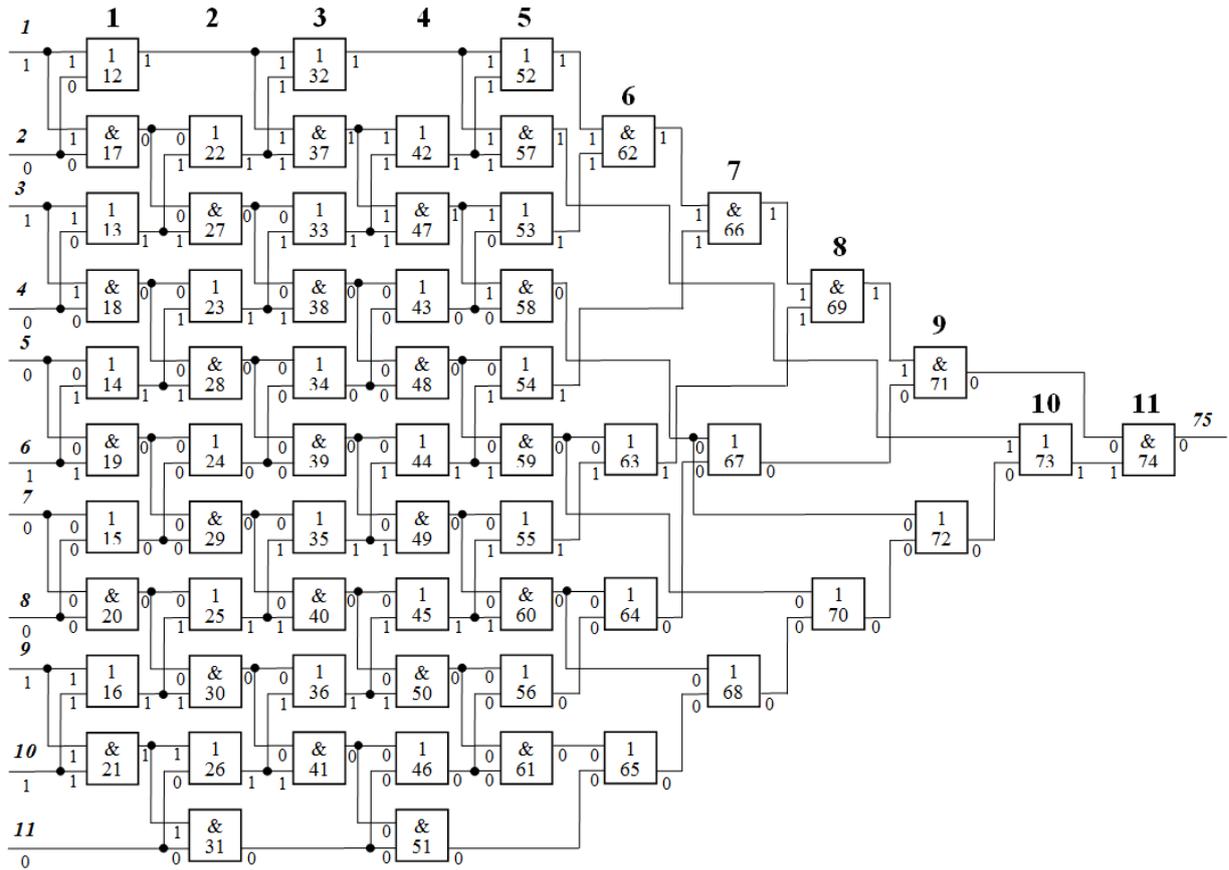


Рисунок 3.7 – Структурная схема мажоритарного элемента  
«6 и более из 11»

Вероятность эквивалентной ошибки при доведении сообщения для системы, объединяющей ВРК с блоком мажоритарной обработки можно найти по формуле (3.42).

$$p_{0_{\text{экр}}} = 1 - \sum_{i=0}^n C_N^i p_0^i (1 - p_0)^{N-i}, \quad (3.42)$$

где  $C_N^i$  – число размещений ошибки  $i$ -ой кратности на общем числе повторов двоичного символа участвующего в мажоритарной обработке (для 6 из 11  $N = 11$ );

$n$  – максимальное число искаженных символов которое может исправить метод мажоритарной обработки (для 6 из 11  $n = 5$ ).

Из данной формулы видно, что блок мажоритарной обработки позволяет увеличить достоверность приема группы двоичных символов за счет увеличения большего числа повторов и вместе с этим их посимвольного сравнения, которое

позволяет устранять возникшие при передаче сообщения ошибки, за счет включения в цепь обработки сигнала блока мажоритарной обработки по методу «6 из 11». Чтобы оценить эффективность такой обработки необходимо провести расчеты при следующих условиях:

1. Все каналы принимают сообщения независимо друг от друга (режим повторов).

2. Принятые сообщения (повторы) из каналов поступают в блок мажоритарной обработки.

Для случая 1 независимого приема повторов сообщения используется формула (3.43) для нахождения вероятности доведения при 1-м повторе и формула (3.44) для нахождения вероятности доведения при  $N$  повторах.

$$P_{\text{дов}}^1 = (1 - p_0)^L, \quad (3.43)$$

где  $L$  – длина сообщения.

$$P_{\text{дов}}^N = 1 - (1 - P_{\text{дов}}^1)^N. \quad (3.44)$$

Для случая 2 с мажоритарной обработкой 6 из 11 используется формула (3.45).

$$P_{\text{дов}}^{6/11} = (1 - p_{0\text{экв}})^L. \quad (3.45)$$

Результаты расчетов вероятности доведения сообщения длиной 240 двоичных символов для первого и второго случая при изменении  $p_0$  от  $10^{-3}$  до 0,015 представлены в виде графиков на рисунке 3.8.

Показано, что при приеме нам необходимо получить хотя бы один повтор целиком, но при большой вероятности ошибки, это реализовать гораздо труднее. Для повышения достоверности в случае высокой вероятности ошибки на один двоичный символ, используем мажоритарную обработку сигнала 6/11, благодаря которой вероятность доведения будет значительно выше.

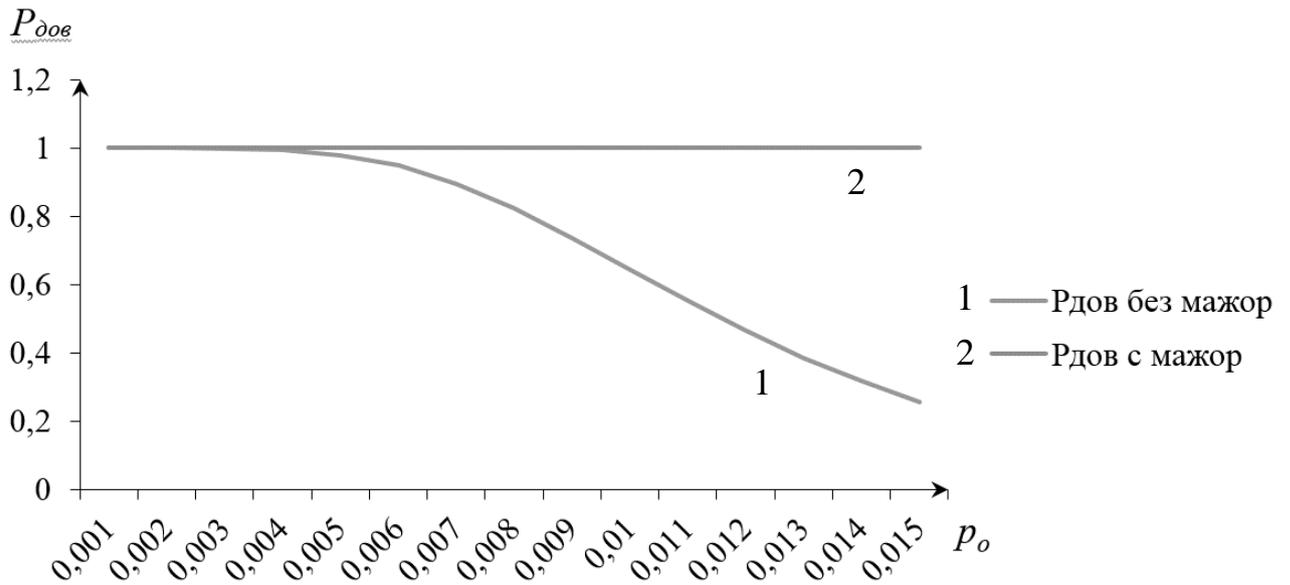


Рисунок 3.8 – Зависимость вероятности доведения сообщения длиной

$$L = 240 \text{ двоичных символов от } p_0$$

Таким образом, предлагаемый подход позволяет значительно повысить достоверность доведения сообщений в сети радиосвязи с ВРК при обеспечении принципиальной возможности передачи информации. При этом скорость передачи для повторов с мажоритарной обработкой снизится на порядок. Однако для описанных условий функционирования, важно обеспечить информационную связность в принципе.

### Выводы по третьему разделу

Исследование зависимости коэффициента кадровой эффективности типового сегмента цифровой радиосети метрового диапазона в зоне чрезвычайной ситуации от атрибутивных параметров ПКС позволило сделать следующие выводы:

1. Период коррекции ПКС ТС цифровой радиосети в зоне ЧС при заданных ее атрибутивных параметрах имеет оптимальное значение, доставляющее коэффициенту кадровой эффективности ТС максимальное значение.

2. Помимо оптимального значения размера защитного интервала  $\tau_z^2$  и соответствующего ему периода суперкадра  $T_{ск}^*$  в случае превышения максимального значения коэффициента кадровой эффективности требуемого значения существуют рациональные значения  $\tau_{з рац}^2$  и  $T_{ск рац}$ , установка которых позволит повысить скрытность ПКС.

3. Для типовых значений атрибутивных параметров ТС цифровой радиосети в зоне чрезвычайной ситуации и заданной величине вероятности установления кадрового синхронизма возможно достичь коэффициента готовности ПКС, равного 0,995, при этом период коррекции ПКС типового сегмента будет равен порядка 16 секунд.

4. Получено выражение, определяющее соотношение между основными параметрами ПКС для существования максимального значения коэффициента кадровой эффективности, превышающего его требуемое значение.

5. Установлено, что коэффициент кадровой эффективности типового сегмента цифровой радиосети в зоне чрезвычайной ситуации малочувствителен к изменениям периода коррекции его ПКС. Это дает возможность значительно увеличить найденный (оптимальный) период коррекции при несущественном снижении требуемого значения коэффициента кадровой эффективности.

6. Предложены технические решения для повышения эффективности функционирования ПКС ТС цифровой радиосети в зоне чрезвычайной ситуации как за счет новых способов обработки СКС сложной структуры, так и за счет применения методов повышения достоверности приема сообщений в ТС сети при низких отношениях сигнал/шум и высокой вероятности искажения двоичного символа.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Важной задачей построения цифровой радиосети метрового диапазона в зоне ЧС с ПО и ВРК для обслуживания трафика типа «точка – многоточка», и «точка – точка» в условиях помех является задача обоснования атрибутивных параметров ее ПКС для повышения эффективности функционирования всей информационной сети в целом. В качестве комплексного показателя эффективности функционирования ПКС и всей сети в целом удобно использовать коэффициент функциональной готовности.

Разработанный научно-методический аппарат для максимизации коэффициента функциональной готовности ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС на основе оптимизации периода коррекции ПКС в условиях помех позволяет:

- на этапах проектирования и эксплуатации элементов ПКС сети находить значения атрибутивных параметров ПКС, обеспечивающих требуемую функциональную готовность сети, корректировать структуру СКС и формировать требования к элементам ПКС узлов коммутации для конкретных условий функционирования сети в зоне ЧС в условиях помех;

- уменьшить объем передаваемой в сети служебной информации для обеспечения функционирования ПКС до необходимого и достаточного уровня в конкретных условиях функционирования радиосети;

- повысить скрытность и устойчивость ПКС к воздействию имитационных помех за счет усложнения структуры СКС.

В результате исследований получены следующие основные научные результаты, обладающие новизной и практической значимостью, представляемые к защите:

1. Математическая модель процесса функционирования подсистемы кадровой синхронизации типового сегмента цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех.

2. Методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех.

Представляемые к защите научные результаты доведены до инженерных аналитических выражений, алгоритмов и методики, что позволяет их использовать в существующих и перспективных сетях радиосвязи, разворачиваемых в зонах ЧС с ПО в условиях помех.

Результаты диссертационной работы внедрены в организациях промышленности: АО «Калужском НИИ телемеханических устройств» и Межрегиональном общественном учреждении «Институт инженерной физики» при разработке модернизированных цифровых радиосетей метрового диапазона в интересах боевого и оперативного управления мобильными группами и подразделениями в зонах чрезвычайных ситуаций, а также в образовательном процессе филиала военной академии РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов).

В рамках сформулированной в диссертационной работе научной задачи дальнейшие исследования целесообразно продолжить в следующих направлениях:

- в математической модели процесса установления кадровой синхронизации в типовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях воздействия помех учесть возможность получения СКС по рокадным направлениям связи;
- провести исследования и доработку представленных алгоритмов нахождения порогов обработки СКС в ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях помех с целью определения порогов обработки СКС, состоящего из ПСП различной длины и структуры;
- продолжить исследования с учетом возможности организации многоуровневой цифровой радиосети с ПО в зоне ЧС и обеспечения синхронной работы УК такой сети при организации в ней маршрутов сложной структуры в условиях сложной помеховой обстановки и высокой динамики структуры сети.

**СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ**

- АПД – аппаратура передачи данных
- АСДНР – аварийно-спасательные и другие неотложные работы
- АСР – аварийно-спасательные работы
- АСС – автоматизированная система связи
- АСУ – автоматизированная система управления
- АСУС – автоматизированная система управления связью
- АСФ – аварийно-спасательные формирования
- ВВХ – вероятностно-временные характеристики
- ВЗУ – верхнее звено управления
- ВК – временной коммутатор
- ВРК – временное разделение каналов
- ДКС – дискретный канал связи
- ЗУ – звено управления
- КПД – канал передачи данных
- КФ – корреляционная функция
- МДВР (TDMA) – многостанционный доступ с временным разделением
- МКО – межкомпьютерный обмен
- НАКФ – непериодическая автокорреляционная функция
- НЗУ – нижнее звено управления
- НВКФ – непериодическая взаимокорреляционная функция
- ОАСУ – отраслевая АСУ
- ОГ – оперативная группа
- ОВЧ – очень высокие частоты (VHF)
- ООД – оконечное оборудование данных
- ОШ – оперативный штаб
- ПКС – подсистема кадровой синхронизации
- ППД – пункт постоянной дислокации
- ППК – приемо-передающий комплекс

ППРЧ – псевдослучайная перестройка рабочей частоты

ПРД – передатчик

ПРМ – приемник

ПСП – псевдослучайная последовательность

ПСФ – поисково-спасательное формирование

РСЧС – единая государственная система предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций

РЭС – радиоэлектронные средства

СВФ – спасательное воинское формирование

СЗУ – среднее звено управления

СКС – сигнал кадровой синхронизации

СППР – система поддержки принятия решений

ССС – система спутниковой связи

ТФОП – телефонная сеть общего пользования

ТЧ – тональной частоты

УК – узел коммутации

УС ППУ – узел связи подвижного пункта управления

ФМ – фазовая манипуляция

ЧС – чрезвычайная ситуация

ШПС – широкополосный сигнал

ЭМО – электромагнитная обстановка

ARCO 25 – стандарт цифровой транкинговой радиосвязи, разработанный Ассоциацией официальных представителей служб связи органов общественной безопасности (Association of Public Safety Communications Officials-international)

DMR – Digital Mobile Radio – цифровая подвижная радиосвязь

DTE – Data terminal equipment – терминальное оборудование данных

TETRA – TErrestrial Trunked RAdio – открытый стандарт цифровой транкинговой радиосвязи

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

- 1 Афанасьев, В.В. Эволюция мобильных сетей. / В.В. Афанасьев, Ю.М. Горностаев. – М. : Связь и бизнес, 2000. – 140 с.
- 2 Бабаш, А.В. Криптография / А.В. Бабаш, Г.П. Шанкин; под общ. ред. В.П. Шерстюка, Э.А. Применко. – М. : «СОНОН-Р», 2002. – 512 с.
- 3 Бабков, В.Ю. Сети мобильной связи / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, В.И. Дмитриев. – СПб. : СПб ГУТ, 1999. – 330 с.
- 4 Бабков, В.Ю. Сети мобильной связи. Частотно-территориальное планирование / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, П.А. Михайлов. – СПб. : СПб ГУТ, 2000. – 196 с.
- 5 Бабков, В.Ю. Передача информации в системах подвижной связи / В.Ю. Бабков, М.А. Вознюк, В.А. Петраков, А.Е. Рыжков, М.А. Сиверс. – СПб. : СПб ГУТ, 1999. – 152 с.
- 6 Бекренев, С. А. Нахождение оптимальных параметров подсистемы кадровой синхронизации с временным разделением каналов и ШПС-ФМ синхросигналами в сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С. А. Бекренев // Известия Ин-та инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2015. – № 4 – С. 36–40.
- 7 Бекренев, С. А. Подходы к решению задачи нахождения оптимальных параметров подсистемы кадровой синхронизации в сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами при реализации процедуры временного разделения каналов / С. А. Бекренев // Известия Ин-та инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 1 – С. 31–33.
- 8 Бекренев, С. А. Постановка задачи нахождения оптимальных цифровых порогов обработки сигналов кадровой синхронизации в подсистеме кадровой синхронизации сети радиосвязи с подвижными объектами в условиях помех / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С. А. Бекренев // Информация и космос : науч.-техн. журн. – СПб., 2018. – № 4 – С. 11–14.
- 9 Бекренев, С. А. Формализация задачи определения оптимальных параметров подсистемы кадровой синхронизации при реализации временного разделения каналов в сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами для

- сигналов кадровой синхронизации сложной структуры / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С. А. Бекренев // Междун. конф. «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2016) ; Доклады ; Серия: науч. конф. посвящ. Дню радио / Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – М. : ООО «БРИС-М», 2016. – Вып. LXXI. – С. 490–492.
- 10 Бекренев, С. А. Модель процесса установления кадровой синхронизации в базовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона иерархической структуры с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. А. Бекренев // Междун. конф. «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2017) ; Доклады ; Серия: науч. конф. посвящ. Дню радио / Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – М. : ООО «БРИС-М», 2017. – Вып. LXXII. – С. 74–77.
- 11 Бекренев, С. А. Методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в условиях помех / С. А. Бекренев // Междун. конф. «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2018) ; Доклады ; Серия: науч. конф. посвящ. Дню радио / Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – М. : ООО «БРИС-М», 2018. – Вып. LXXIII. – С. 282–286.
- 12 Бекренев, С. А. Исследование системы частотно-фазовой синхронизации на базе адаптивного RLS эквалайзера и программно-реализованного контура ФАПЧ при наличии стационарного частотного сдвига в канале связи / С. Н. Шиманов, Д. В. Мокринский, С. А. Бекренев // Всерос. конф. (с междун. участием) «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий» (REDS-2019) ; Доклады ; Серия: науч. конф. посвящ. Дню радио / Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – М. : ООО «БРИС-М», 2019. – Вып. LXXIV. – С. 206–210.
- 13 Бекренев, С. А. Моделирование процесса установления кадрового синхронизма в подсистеме кадровой синхронизации сети радиосвязи

- иерархической структуры с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С. А. Бекренев // Новые информационные технологии в системах связи и управления : Тр. XIV Рос. НТК / М-во промышленности и торговли Рос. Федерации, ОАО «Концерн радиостроения «Вега», ОАО «Калужский НИИ телемеханических устройств». – Калуга: Изд. ООО «Ноосфера», 2016. – С. 57–61.
- 14 Бекренев, С. А. Подходы к нахождению параметров функционирования подсистемы кадровой синхронизации в цифровой сети радиосвязи с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С. А. Бекренев // Тр. XXXV Всерос. НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем» / Фил. Воен. акад. РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов Моск. обл.). – Серпухов, 2016. – Ч. 6. – С. 61–65.
- 15 Бекренев, С. А. Исследование математической модели подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. А. Бекренев // Новые информационные технологии в системах связи и управления : Тр. XV Рос. НТК / М-во промышленности и торговли Рос. Федерации, ОАО «Концерн радиостроения «Вега», ОАО «Калужский НИИ телемеханических устройств». – Калуга : Изд. ООО «Ноосфера», 2017. – С. 185–188.
- 16 Бекренев, С. А. Подходы к определению готовности подсистемы кадровой синхронизации в цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами при заданных параметрах / С. А. Бекренев // Тр. XXXVI Всерос. НТК «Проблемы эффективности и безопасности функционирования сложных технических и информационных систем» / Фил. Воен. акад. РВСН им. Петра Великого (г. Серпухов Моск. обл.). – Серпухов, 2017. – Ч. 8. – С. 59–63.
- 17 Бекренев, С. А. Поиск и анализ корреляционных свойств псевдослучайных последовательностей, применяемых для формирования широкополосных сигналов на основе метода полного перебора / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С.

- А. Бекренев // Тр. 7 Всерос. НТК «Радиоэлектронные средства получения, обработки и визуализации информации» (РСПОВИ-2017). – Москва, 2017. – С. 122–126.
- 18 Бекренев, С. А. Синтез хаотических ансамблей дискретных ортогональных многоуровневых сигналов для систем связи типа CDMA / А. П. Жук, С. А. Бекренев // Сб. науч. тр. Института инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 5 (часть 2). – С. 137–141.
- 19 Бекренев, С. А. Исследование характеристик процесса установления кадровой синхронизации ШПС-ФМ синхросигналами в сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами / Д. В. Смирнов, С. А. Бекренев // Сб. науч. тр. Института инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 5 (часть 2). – С. 215–217.
- 20 Бекренев, С. А. Промежуточный анализ АКФ синхронизирующей M-последовательности для повышения оперативности поиска ПСП в условиях помех / Е. А. Ткачев, А. А. Жарнов, С. А. Бекренев // Сб. науч. тр. Института инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 5 (часть 2). – С. 223–227.
- 21 Бекренев, С. А. Синтез ансамбля дискретных ортогональных сигналов, применяемых в системе радиосвязи с замиранием сигналов / Р. Н. Хрусталева, С. С. Чайков, С. А. Бекренев // Сб. науч. тр. Института инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 5 (часть 2). – С. 248–251.
- 22 Бекренев, С. А. Необходимость и возможность использования сигналов кадровой синхронизации сложной структуры для установления кадровой синхронизации в цифровой радиосети метрового диапазона с подвижными объектами [Текст] / С. А. Бекренев // 20-я Междун. конф. ; Доклады ; Серия: «Цифровая обработка сигналов и ее применение DSPA-2018» / Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – М. : ООО «БРИС-М», 2018. – Вып. XX-1. – Том.1. – С. 279–283.
- 23 Бекренев, С. А. Подход к определению оптимальных параметров обнаружения цифровых сигналов кадровой синхронизации с ошибками в подсистеме

- кадровой синхронизации сети радиосвязи с подвижными объектами / С. А. Бекренев // Всерос. конф. «Современные технологии обработки сигналов» (СТОС-2018) ; Доклады ; Серия: Всерос. науч. конф. / Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – М. : ООО «БРИС-М», 2018. – Вып. VII. – С. 195–197.
- 24 Бекренев, С. А. Повышение достоверности информационного обмена в сети радиосвязи с временным разделением каналов и подвижными объектами в условиях сильных помех / С. А. Бекренев, С. С. Чайков // Всерос. конф. «Современные технологии обработки сигналов» (СТОС-2019) ; Доклады ; Серия: научн. всерос. конф. / Рос. науч.-техн. общ. радиотехн., электрон. и связи им. А.С. Попова. – М. : ООО «БРИС-М», 2019. – Вып. II. – С. 57–61.
- 25 Бекренев, С. А. Оценка функциональной готовности цифровой сети радиосвязи в зоне чрезвычайной ситуации и оптимизация параметров ее подсистемы кадровой синхронизации в условиях помех / В. А. Цимбал, С. С. Чайков, Д. В. Смирнов, С. А. Бекренев // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты : науч. журн. – Химки, 2020. – № 1 – С. 89–99. – ISSN 2079-7001.
- 26 Берлин, А.Н. Коммутация в системах и сетях связи / А.Н. Берлин. – М. : Эко-Трендз, 2006. – 344 с.
- 27 Благовещенский, Д.В. Радиосвязь и электромагнитные помехи : учебное пособие / Д.В. Благовещенский. – СПб. : СПбГУАП, 2002. – 70 с.
- 28 Бобровский, С. Delphi 5: учебный курс / С. Бобровский. – СПб. : Издательство «Питер», 2000. – 640 с.
- 29 Боевой устав подразделений пожарной охраны, определяющий порядок организации тушения пожаров и проведения аварийно-спасательных работ : [утвержден приказом МЧС России от 16.10.2017 N 444].
- 30 Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты. / В.И. Борисов и др. – М. : Радио и связь, 2000. – 384 с.
- 31 Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением

- спектра сигналов модуляцией несущей псевдослучайной последовательностью / В.И. Борисов и др. ; под общ. ред. В.И. Борисова. – М. : Радио и связь, 2003. – 640 с.
- 32 Борисов, В.И. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра прямой модуляцией псевдослучайной последовательностью / В.И. Борисов, В.М. Зинчук, А.Е. Лимарев, В.И. Шестопалов ; под общ. ред. В.И. Борисова. – М. : РадиоСофт, 2011. – 550 с.
- 33 Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – М. : Наука, 1980. – 976 с.
- 34 Варакин, Л.Е. Системы связи с ШПС / Л.Е. Варакин. – М. : Радио и связь, 1985. – 364 с.
- 35 Васильев, В.И. Системы связи: Учебное пособие для вузов. / В.И. Васильев. – М. : Высш.школа, 1987. – 280 с.
- 36 Вишневский, В.М. Широкополосные беспроводные сети передачи информации : монография / В.М. Вишневский, А.И. Ляхов, С.Л. Портной, И.В. Шахнович. – М. : Техносфера, 2005. – 592 с.
- 37 Волков, Л.Н. Системы цифровой радиосвязи: базовые методы и характеристики: учебное пособие / Л.Н. Волков, М.С. Немировский, Ю.С. Шинаков. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 392 с.
- 38 Выгодский, М.Я. Справочник по высшей математике / М.Я. Выгодский. – М. : АСТ : Астрель, 2006. – 991 с.
- 39 Гаранин, М.В. Системы и сети передачи информации: учебное пособие для вузов / М.В. Гаранин, В.И. Журавлев, С.В. Кунегин. – М. : Радио и связь, 2001. – 336 с.
- 40 Галкин, В.А. Цифровая мобильная радиосвязь : учебное пособие для вузов / В.А. Галкин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 432 с.
- 41 Галкин, В.А. Основы программно-конфигурируемого радио / В.А. Галкин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2015. – 372 с.
- 42 Голиков, А.М. Системы радиосвязи и сети телерадиовещания : учебное пособие / А.М. Голиков. – Томск : ТУСУР, 2015. – 326 с.

- 43 Головин, О.В. Системы и устройства коротковолновой радиосвязи / С.П. Простов; под общ. ред. профессора О.В. Головина. – М. : Горячая линия-Телеком, 2006. – 598 с.
- 44 Гольдштейн, Б.С. Системы коммутации / Б.С. Гольдштейн. – СПб. : БХВ-Санкт-Петербург, 2003. – 318 с.
- 45 Голяницкий, И.А. Математические модели и методы в радиосвязи / под общ. ред. Ю.А. Громакова. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 440 с.
- 46 Гордиенко, В.Н. Многоканальные телекоммуникационные системы : учебник для вузов / В.Н. Гордиенко, М.С. Тверецкий. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 416 с.
- 47 ГОСТ 17657-79 Передача данных. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1979. – 25 с.
- 48 ГОСТ 19472-88. Система автоматизированной телефонной связи общегосударственная. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 68 с.
- 49 ГОСТ 23348-86 Сеть связи автоматизированная единая. Термины и определения. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 16 с.
- 50 ГОСТ 24.701-86 Единая система стандартов автоматизированных систем управления. Надежность автоматизированных систем управления. Основные положения. – М. : Стандартинформ, 2009. – 11 с.
- 51 ГОСТ Р 56172-2014 Радиостанции и ретрансляторы стандарта DMR. Основные параметры. Технические требования. – М. : Стандартинформ, 2014. – 23 с.
- 52 ГОСТ EN 301 489-1 V1.9.2-2015 Электромагнитная совместимость и радиочастотный спектр. Электромагнитная совместимость технических средств радиосвязи. Часть 1. Общие технические требования. – М. : Стандартинформ, 2016. – 38 с.
- 53 ГОСТ 27.002-2015 Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2016. – 62 с.
- 54 ГОСТ Р 58166-2018 Технические требования к радиоинтерфейсу

- широкополосной системы радиодоступа (ШПР). Организация протоколов и алгоритмов работы на канальном и физическом уровнях. Основные параметры и технические требования. – М. : Стандартиформ, 2018. – 145 с.
- 55 ГОСТ Р ИСО/МЭК 19762-4-2011 Информационные технологии. Технологии автоматической идентификации и сбора данных (АИСД). Гармонизированный словарь часть 4. Общие термины в области радиосвязи. – М. : Стандартиформ, 2012. – 32 с.
- 56 Григорьев, В.А. Сети и системы радиодоступа / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, Ю.А. Распаев. – М. : Эко-Трендз, 2005. – 384 с.
- 57 Григорьев, В.А. Теория электрической связи : конспект лекций / В.А. Григорьев, О.И. Лагутенко, О.А. Павлов, Ю.А. Распаев, В.Г. Стародубцев, И.А. Хворов; под общ. ред. В.А. Григорьева. – СПб : НИУ ИТМО. – 2012. – 148 с.
- 58 Губин, Н.М. Качество связи: Теория и практика / Н.М. Губин, Г.М. Матлин. – М.: Радио и связь, 1986. – 272 с.
- 59 Давыдкин, П.Н. Тактовая сетевая синхронизация / П.Н. Давыдкин, А.В. Колтунов; под общ. ред. М.Н. Колтунова. – М. : Эко-Трендз. – 2004. – 205 с.
- 60 Девришбеков, М.Ш. Эффективность информационной поддержки принятия решений в МЧС России [Электронный ресурс] / М. Ш. Девришбеков // Интернет-журнал "Технологии техносферной безопасности". – 2016. – Вып. 5(69). – Режим доступа : <http://academygps.ucoz.ru/ttb/2016-5/2016-5.html>.
- 61 Демин, В.П. Радиоэлектронная разведка и радиомаскировка / В.П. Демин, А.И. Куприянов, А.А. Сахаров. – М. : Изд-во МАИ, 1997. – 350 с.
- 62 Добыкин, В.Д. Радиоэлектронная борьба. Цифровое запоминание и воспроизведение радиосигналов и электромагнитных волн / В.Д. Добыкин, А.И. Куприянов, В.Г. Пономарев, Л.Н. Шустов ; под общ. ред. А.И. Куприянова. – М. : Вузовская книга, 2009. – 360 с.
- 63 Доровских, А.В. Сети связи с подвижными объектами / А.В. Доровских, А.А. Сикарев. – Киев : Техника, 1989. – 158 с.
- 64 Дудник, Б.Я. Надежность и живучесть систем связи / Б.Я. Дубняк – М. : Радио и связь, 1984. – 168 с.

- 65 Дэвис, Дж. Карманный справочник радиоинженера : пер. с англ. / Дж. Дэвис, Дж. Дж. Кар. – 4-е изд., стер. – М. : Издательский дом «Додэка-XXI», 2007. – 544 с.
- 66 Закиров, С.Г. Сотовая связь стандарта GSM. Современное состояние, переход к сетям третьего поколения / С.Ш. Закиров, А.Ф. Надеев, Р.Р. Файзуллин – М.: Эко-Трендз, 2004. – 264 с.
- 67 Захаров, Г.П. Методы исследования сетей передачи данных / Г.П. Захаров – М. : Радио и связь, 1982. – 208 с.
- 68 Зеленецкий, В.В. Принципы построения робастных систем передачи информации / В.В. Зеленецкий. – МО РФ, 2001. – 374 с.
- 69 Зеленецкий, В.В. Каналы связи в автоматизированных системах управления : учебник для вузов РВСН / В.В. Зеленецкий. – МО РФ, 2005. – 438 с.
- 70 Злобин, В.И. Интеллектуальные адаптивные системы и комплексы в связи и управлении : монография / В.И. Злобин, М.В. Иващенко, Г.В. Иванова – М. : МО РФ, 2005. – 276 с.
- 71 Зубарев, Ю.Б. Использование радиочастотного спектра и развитие в России сетей подвижной связи 3-го поколения / под общ. ред. Ю.Б. Зубарева, М.А. Быховского. – М. : Связь и бизнес, 2001. – 128 с.
- 72 Иванов, А.А. Синхронизация в системе цифрового телевидения / А.А. Иванов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. – 103 с.
- 73 Каганов, В.И. Основы радиоэлектроники и связи : учебное пособие для вузов / В.И. Каганов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2007. – 542 с.
- 74 Казаков, В.А. Введение в теорию марковских процессов и некоторые радиотехнические задачи / В.А. Казаков. – М. : Сов.радио, 1973. – 232 с.
- 75 Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок – М. : Машиностроение, 1979. – 432 с.
- 76 Кравченко, В.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи / В.И. Кравченко, Е.А. Болотов, Н.И. Летунова ; под общ. ред. В.И. Кравченко. – М. : Радио и связь, 1987. – 256 с.
- 77 Красносельский, Н.И. Автоматизированные системы управления в связи :

- учебник для вузов / Н.И. Красносельский, Ю.А. Воронцов, Ю.А. Аппак. – М. : Радио и связь, 1988. – 272 с.
- 78 Крылов, В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб. : БХВ-Санкт-Петербург, 2005. – 288 с.
- 79 Кузнецов, В.Е. Телекоммуникации. Толковый словарь основных терминов и сокращений / И.Б. Парашук, В.Е. Кузнецов; под общ. ред. А.М. Лихачева, С.П. Присяжнюка. – СПб. : АИН РФ Институт телекоммуникаций, 2001. – 799 с.
- 80 Кузнецов, В.С. Теория многоканальных широкополосных систем связи : учебное пособие для вузов / В.С. Кузнецов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2013. – 200 с.
- 81 Куприянов, А.И. Радиоэлектронная борьба. Основы теории / А.И. Куприянов, Л.Н. Шустов. – М. : Вузовская книга, 2011. – 800 с.
- 82 Кучерявый, А.Е. Пакетная сеть связи общего пользования / А.Е. Кучерявый, Л.З. Гильченко, А.Ю. Иванов. – СПб. : Наука и Техника, 2004. – 272 с.
- 83 Лазарев, В.Г. Интеллектуальные цифровые сети : справочник / В.Г. Лазарев; под. общ. ред. академика Н.А. Кузнецова. – М. : Финансы и статистика, 1996. – 224 с.
- 84 Ланко, А.А. Коммутация в сетях связи / А.А. Ланко, В.В. Деев, А.И. Журавин. – МО СССР, 1988. – 374 с.
- 85 Леонов, Г.А. Критерий захвата в системах синхронизации с запаздыванием / Г.А. Леонов, В.Б. Смирнов // Электросвязь. – 1983. – № 9, С. 52 – 55.
- 86 Ли, У. Техника подвижных систем связи: пер. с англ. / У. Ли. – М. : «Радио и связь», 1985. – 392 с.
- 87 Лившиц, Б.С. Теория телетрафика / Б.С. Лившиц, А.П. Пшеничников, А.Д. Харькевич. – М. : Связь, 1979. – 224 с.
- 88 Линдсей, В. Системы синхронизации в связи и управлении: пер. с англ. / В. Линдсей. – 1978. – 598 с.
- 89 Ловцов, Д.А. Информационная теория эргасистем : тезаурус : учебное пособие / Д.А. Ловцов. – М. : ВА им. Ф.Э.Дзержинского, 1998. – 132 с.
- 90 Макаренко, С.И. Информационное противоборство и радиоэлектронная

- борьба в сетевых войнах начала XXI века : монография / С.И. Макаренко. – СПб. : Научно-технологические технологии, 2017. – 546 с.
- 91 Маковеева, М.М. Системы связи с подвижными объектами : учеб. пособие для вузов / М.М. Маковеева, Ю.С. Шинаков. – М. : Радио и связь, 2002. – 440 с.
- 92 Мартынов, Е.М. Синхронизация в системах передачи дискретных сообщений / Е.М. Мартынов. – М. : Связь, 1972. – 216 с.
- 93 Меньков, А.В. Теоретические основы автоматизированного управления : учебник для вузов / А.В. Меньков, В.А. Острейковский. – М. : Издательство Оникс, 2005. – 640 с.
- 94 Методические рекомендации по планированию, организации и обеспечению связи в МЧС России. – СПб. : Полиграфический центр ТК ФГБОУ ВПО СПбУ ГПС МЧС России, 2013. – 170 с.
- 95 Носов, М.В. Организация связи в РСЧС : учебное пособие / М.В. Носов. – АГЗ МЧС России, 2005. – 144 с.
- 96 Оппенгейм, А. Цифровая обработка сигналов / А. Оппенгейм, Р. Шафер. – 2-е изд., испр. – М. : Техносфера, 2007. – 856 с.
- 97 Отчет о НИР «Режектор» [Текст] : отчет о НИР (итоговый) / Институт инженерной физики ; науч. рук. Цимбал В. А. ; исполн.: Бекренев С. А. [и др.]. – Серпухов, 2017. – 332 с.
- 98 Отчет о НИР «Интеграция» [Текст] : отчет о НИР (заключительный) / Филиал военной академии РВСН им. Петра Великого ; науч. рук. Цимбал В. А. ; исполн.: Бекренев С. А. [и др.]. – Серпухов, 2020. – 185 с.
- 99 Отчет о НИР «Тесла-ИИФ» [Текст] : отчет о НИР (итоговый) / Институт инженерной физики ; науч. рук. Прасолов В. А. ; исполн.: Бекренев С. А. [и др.]. – Серпухов, 2019. – 251 с.
- 100 Отчет об ОКР «Режектор-РВ» технический проект [Текст] / Институт инженерной физики ; главный конструктор Прасолов В. А. ; исполн.: Бекренев С. А. [и др.]. – Серпухов, 2020. – 175 с.
- 101 Павлов, Б.А. Синхронный прием / Б.А. Павлов. – М. : Энергия, 1977. – 81 с.
- 102 Патент на изобретение 2621340 Российская Федерация. Мажоритарный

- элемент «6 и более из 11» / В.А. Цимбал, М.Ю. Попов, С.А. Бекренев и др. (RU); - заявитель МОУ «Институт инженерной физики». – заявка № 2016101772; заявл. 21.01.2016; опубл. 02.06.2017, бюл. № 26.
- 103 Патент на полезную модель 186034 Российская Федерация Устройство для моделирования подсистемы обнаружения сигналов кадровой синхронизации / В. А. Цимбал, В. Е. Тоискин, С. А. Бекренев и др. (RU) ; заявитель Филиал военной академии РВСН имени Петра Великого. – № 2018107031; заявл. 26.02.2018; опубл. 26.12.2018, бюл. № 36.
- 104 Пескова, С.А. Сети и телекоммуникации : учебное пособие для студ. высш. учеб. заведений / С.А. Пескова, А.В. Кузин, А.Н. Волков. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 352 с.
- 105 Положение о порядке организации реагирования на чрезвычайные ситуации : [утверждено приказом МЧС России от 14.08.2019 N 425]
- 106 Пышкин, И.М. Системы подвижной радиосвязи / И.И. Дежурный, В.Н. Талызин, Г.Д. Чвилев; под ред. И.М. Пышкина. – М. : Радио и связь, 1986. – 328 с.
- 107 Рекомендация МСЭ-R М.1850-2. Подробные спецификации радиointерфейсов для спутникового сегмента Международной подвижной электросвязи-2000 (ИМТ-2000). Серия М. Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы [Электронный ресурс]. – Женева. – 2015. – Режим доступа : <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>.
- 108 Ржанных, А.В. Поэлементный прием и прием в целом сигналов кадровой синхронизации / А.В. Ржанных и др. // Сб. тр. Российского научно-технического общества радиотехники, электроники и связи им. А.С.Попова. Вып. LXIX. – Москва, 2014. – С. 197-199.
- 109 Рихтер, С.Г. Цифровое радиовещание / С.Г. Рихтер. – М. : Горячая линия-Телеком, 2004. – 352 с.
- 110 Рихтер, С.Г. Кодирование и передача речи в цифровых системах подвижной радиосвязи : учеб. пособие для вузов / С.Г. Рихтер. – М. : Горячая линия-

Телеком, 2018. – 302 с.

- 111 Руководство по радиосвязи министерства российской федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий : [утверждено приказом МЧС России от 26.12.18 N 633]
- 112 Свидетельство о регистрации программного продукта 2016613409 Российская Федерация. Расчет вероятностей состояний неоднородной поглощающей конечной марковской цепи с разными и неизменными шагами переходов / С. А. Бекренев, В. А. Цимбал, М. Ю. Попов, и др. (RU). – заявка 04.02.16 ; опубл. 28.03.2016.
- 113 Свидетельство о регистрации программного продукта 2020612808 Российская Федерация. Определение дискретных значений порогов в подсистеме кадровой синхронизации сети радиосвязи с подвижными объектами для обработки сигнала кадровой синхронизации, сформированного на основе псевдослучайной последовательности, с требуемой эффективностью и в условиях помех / С. С. Чайков, М. Ю. Попов, С. А. Бекренев и др. (RU). – заявка 18.02.20 ; опубл. 03.03.2020.
- 114 Свидетельство о регистрации программного продукта 2020612811 Российская Федерация. Определение дискретных значений порогов в подсистеме кадровой синхронизации сети радиосвязи с подвижными объектами для обработки составного сигнала кадровой синхронизации, сформированного на основе нескольких псевдослучайных последовательностей, с требуемой эффективностью и в условиях помех / С. С. Чайков, М. Ю. Попов, С. А. Бекренев и др. (RU). – заявка 18.02.20 ; опубл. 03.03.2020.
- 115 Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение : изд. 2-е испр. / Б. Скляр. – М. : Издательский дом «Вильямс», 2004. – 1104 с.
- 116 Советов, Б.А. Построение сетей интегрального обслуживания / Б.А. Светов, С.А. Яковлев. – Ленинград : Машиностроение, 1990. – 332 с.
- 117 Солодова, Е.А. Исследование точности системы слежения за задержкой при наличии флуктуаций времени запаздывания в цепи обратной связи / Е.А. Солодова // Радиотехника и электроника. – 1979. – №3. – С. 557 – 561.

- 118 Спилкер, Дж. Цифровая спутниковая связь / Дж. Спилкер; под общ. ред. В.В. Маркова. – М. : «Связь», 1979. – 592 с.
- 119 Стиффлер, Дж.Дж. Теория синхронной связи : пер. с англ. / Дж.Дж. Стиффлер. – М. : Связь, 1975. – 488 с.
- 120 СТО 56947007-33.060.20.215-2016 Технологическая связь. Типовые технические требования. Аппаратура транкинговых систем подвижной радиосвязи. – М. : ПАО «ФСК ЕЭС», 2016. – 131 с.
- 121 Сухман, С.М. Синхронизация в телекоммуникационных системах. Анализ инженерных решений / С.М. Сухман, А.В. Бернов, Б.В. Шевкопляс. – М. : Эко-Трендз, 2003. – 272 с.
- 122 Семенихин, В.С. Сухопутная подвижная радиосвязь. Системы и аппаратура / под общ. ред. В.С. Семенихина, И.М. Пышкина М. : Радио и связь, 1990. – 328 с.
- 123 Толковый словарь терминов по системам, средствам и услугам связи. / В.А. Докучаев, О.Н. Иванова, З.А. Красавина, Е.М. Мартынов, А.С. Сорокин; под общ. ред. В.А. Докучаева. – М. : Радио и связь, 2000. – 256 с.
- 124 Тузов, Г.И. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Г.И. Тузов, В.А. Сивов, В.И. Прытков – М. : Радио и связь, 1985. – 264 с.
- 125 Урядников, Ю.Ф. Сверхширокополосная связь. Теория и применение / Ю.Ф. Урядников, С.С. Аджемов. – М. : СОЛОН-Пресс – 2005. – 368 с.
- 126 Филипс, Д. Методы анализа сетей : пер. с англ. / Д. Филипс, А. Гарсиа-Диас. – М. : Мир, 1984. – 496 с.
- 127 Фомин, А.И. Синхронизация цифровых радиосистем передачи информации. – М. : САЙНС-ПРЕСС, 2008. – 80 с.
- 128 Цимбал, В.А. Информационный обмен в сетях передачи данных. Марковский подход : монография [Текст] / В. А. Цимбал. – М.: Вузовская книга, 2014. – 143 с.
- 129 Цимбал, В.А. Определение вероятностно-временных характеристик доведения сообщений на основе конечных марковских цепей / В.А. Цимбал // Известия ВУЗов. Приборостроение. – 1997. – т.40. – № 5. – С. 11 – 15.

- 130 Цимбал, В.А. Математическая модель адаптации сети радиосвязи к помеховой обстановке / В.А. Цимбал, М.В. Солнцев, Р.Н. Хрусталеv, Д.А. Тележкин // LIX Научная сессия, посвященная дню радио. – М: Радиотехника. – 2004. – Т.1. – С. 80 – 81.
- 131 Шахгильдян, В.В. Системы фазовой синхронизации с элементами дискретизации / под общ. ред. В.В. Шахгильдяна. – 1989. – 320 с.
- 132 Шахтарин, Б.И. Воздействие помех на системы синхронизации / Б.И. Шахтарин, Ю.А. Сидоркина, В.В. Сизых. – М. : Горячая линия – Телеком, 2016. – 268 с.
- 133 Шварцман, В.О. Теория передачи дискретной информации / В.О. Шварцман, Г.А. Емельянов. – М. : «Связь», 1979. – 424 с.
- 134 Шевкопляс, Б.В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения : справочник / Б.В. Шевкопляс. – М. : «Радио и связь», 1990. – 512 с.
- 135 Шевкопляс, Б.В. Микропроцессорные структуры. Инженерные решения : справочник : дополнение первое / Б.В. Шевкопляс. – М. : «Радио и связь», 1993. – 256 с.
- 136 Шнепс, М.А. Системы распределения информации. Методы расчета / М.А. Шнепс. – М. : Связь, 1979. – 344 с.
- 137 Eberhagen, S. Marketing Strategy Optimizes Introduction of Services// Telcom Report International. / S. Eberhagen, B. Fanger, Cr. Wahl. – 2002. – v.15. - №1.
- 138 eEllis, R. Large deviations for Markov Processes with discontinuous statistics. II: Random walks // Probab. Theory Rel. Fields, / R. Ellis, P. Dupuis, – 1999. – V.91. – №2.
- 139 Fayolle, G. Topics in the Constructive Theory of Countable Markov Chains. Cambri dge Univ. Press. / G. Fayolle, V.A. Malyshev, N.V. Menshikov. – 2001.
- 140 Magedanz, T. Intelligent Networks. – International Thomson Computer Press. / T. Magedanz, R. Popescu-Zeletin. – 2004.
- 141 MPT 1327 A Signalling Standard for Trunked Private Land Mobile Radio Systems. –1997. – 290 с.

## ПРИЛОЖЕНИЕ



КНИИТМУ

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО  
«КАЛУЖСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ИНСТИТУТ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВ»**

ПРЕДПРИЯТИЕ КОНЦЕРНА «ВЕГА»

ул. Карла Маркса, д. 4, г. Калуга, 248000  
Тел.: +7 (4842) 743-500  
Факс: +7 (4842) 741-124  
E-mail: kniitmu@kaluga.net  
Web: www.kniitmu.ru  
ИНН 4027100480 КПП 402701001  
ОКПО 10839353 ОГРН 1104027002694



УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор  
АО «КНИИТМУ»

кандидат технических наук,  
доцент

В.А. Турилов

« 02 » 06 2020г.

## АКТ

о реализации результатов диссертационной работы Бекренева Сергея Александровича, выполненной на тему: «Оптимизация периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех»

Комиссия в составе:

**Председатель:**

Генеральный директор АО «КНИИТМУ»  
кандидат технических наук, доцент

Турилов Валерий Александрович

**Члены комиссии:**

ведущий научный сотрудник,  
кандидат технических наук, доцент  
Константинович

Шабанов Александр

главный конструктор направления -  
начальник научно-исследовательского отдела,  
главный конструктор  
СЧ ОКР «Орлан-Борт-Интелтех-КНИИТМУ»

Егоров Максим Владимирович

составила настоящий Акт о том, что результаты диссертационной работы Бекренева С.А., а именно:

- математическая модель процесса функционирования подсистемы кадровой синхронизации типового сегмента цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех;

- методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех,

реализованы в АО «КНИИТМУ» при обосновании параметров подсистемы кадровой синхронизации типового сегмента цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в рамках СЧ ОКР «Орлан-Борт-Интелтех-КНИИТМУ».

Председатель комиссии:

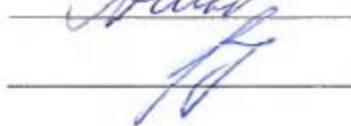


Турилов В.А. к.т.н., доцент

Члены комиссии:



Шабанов А.К. к.т.н., доцент



Егоров М.В.



**Межрегиональное общественное учреждение**  
**"Институт инженерной физики"**  
 (Научное, образовательное и производственное учреждение)  
 (МОУ "ИИФ")

Большой Ударный пер., д. 1а, г. Серпухов, Московская обл., 142210  
 тел. 8(4967)353193; 8(4967)351371; 8-499-400-05-75; факс: 354420; e-mail: info@iifmail.ru; www.iifrf.ru  
 ОКПО 42232569, ОГРН 1035000009417, ИНН/КПП 5043014134/504301001

УТВЕРЖДАЮ

Первый Вице-президент –  
 Главный конструктор  
 доктор технических наук, профессор

С.В. Смуров

9 июня 2020 года



А К Т

об использовании основных результатов диссертационной работы  
 Бекренева Сергея Александровича в МОУ «Институт инженерной физики»

Комиссия в составе:  
 председателя – начальника управления АСУ и связи кандидата технических наук  
 Прасолова В.А.;

членов комиссии:

старшего научного сотрудника кандидата технических наук Карпочкина К.В.;

старшего научного сотрудника кандидата технических наук Косяка А.И.

составила настоящий акт о том, что основные результаты диссертационной работы  
 Бекренева С.А. на тему «Оптимизация периода коррекции подсистемы кадровой  
 синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в  
 зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех»:

1. Математическая модель процесса функционирования ПКС ТС цифровой сети  
 радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех;

2. Методика оптимизации периода коррекции ПКС цифровой сети радиосвязи метрового  
 диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех,  
 использованы при обосновании значений дискретных порогов обработки сигналов кадровой  
 синхронизации подсистемы кадровой синхронизации сети радиосвязи метрового диапазона с  
 подвижными объектами и оценке эффективности их обработки в условиях помех при  
 выполнении ОКР «Тесла-ИИФ».

Председатель комиссии:

Члены комиссии:

В.А. Прасолов

К.В. Карпочкин

А.И. Косяк

УТВЕРЖДАЮ  
 Заместитель начальника  
 филиала ВА РВСН имени Петра Великого  
 по учебной и научной работе  
 кандидат технических наук, доцент  
 полковник

«12» июня 2020 года

Д. Ковальков

АКТ  
 о реализации научных результатов диссертации  
 Бекренева Сергея Александровича

Комиссия в составе:

Председатель: Начальник кафедры, кандидат технических наук, доцент  
 полковник Кабанович С.Г.

Члены: Доцент кафедры, кандидат технических наук, доцент  
 Гвозд И.И.

Преподаватель кафедры, кандидат технических наук,  
 майор Ржаных А.В.

составила настоящий акт о том, что основные результаты диссертационной работы Бекренева С.А. на тему **«Оптимизация периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех»:**

- математическая модель процесса функционирования подсистемы кадровой синхронизации типового сегмента цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех;

- методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех,

реализованы в ФВА РВСН (г. Серпухов) при обосновании требований к структуре сигналов кадровой синхронизации и порогов их обработки в сети радиосвязи специального назначения в рамках итогового отчета о НИР «Интеграция».

Кроме того, данные результаты использованы при проведении занятий по дисциплинам «Сети и телекоммуникации» и «Основы теории помехозащищенности радиосистем передачи информации» на кафедре «Автоматизированные системы боевого управления», а также в ходе курсового и дипломного проектирования.

Председатель: полковник

Члены:

майор

Кабанович С.Г.

Гвозд И.И.

Ржаных А.В.