

*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 телекоммуникаций

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Серпухов – 2020

Работа выполнена в Межрегиональном общественном учреждении «Институт инженерной физики» (г. Серпухов).

Научный руководитель: **Смирнов Дмитрий Вячеславович**, доктор технических наук, доцент, первый вице-президент института – заместитель председателя правления института инженерной физики.

Официальные оппоненты: **Мазин Анатолий Викторович**, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Защита информации» Калужского филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» г. Калуга.  
**Киселёв Владимир Николаевич**, кандидат технических наук, профессор, ведущий специалист АО «НПО «Ангстрем», г. Зеленоград.

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Академия гражданской защиты МЧС России», г. Химки.

Защита диссертации состоится « 10 » марта 2021 г. в 16.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.025.04 при «Владимирском государственном университете имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» по адресу: 600000, г. Владимир, пр-т. Строителей, 3/7, ауд.301.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ университета и на сайте ВлГУ <http://diss.vlsu.ru>.

Автореферат разослан « 30 » декабря 2020 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, д. 87, ВлГУ, РТ и РС, г., Самойлову А.Г.

Ученый секретарь диссертационного совета  
доктор технических наук, профессор



А.Г. Самойлов

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность:** 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. Для управления подвижными объектами (ПО) широко используются радиоканалы, на базе которых разворачиваются сети радиосвязи различных диапазонов. 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. Они предназначены 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, при этом формируются мобильные группы и подразделения (например, аварийно-спасательные формирования (АСФ)), оснащенные необходимым оборудованием, транспортом, средствами управления и связи.

Как правило такие сети имеют иерархическую структуру. Узлы коммутации (УК) с размещенным на них персоналом операторов представляют собой звенья управления (ЗУ), уровень которых определяется уровнем иерархии. 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).

При выполнении задач ПО в зоне ЧС 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. Совокупность передающего и приемного устройства одного радиоканала, размещенных на одном УК, рассматривается как приемо-передающий комплекс (ППК). Множество таких ППК формируют радиосеть, которая структурно делится на типовые сегменты (ТС).

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. 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), сеть межкомпьютерного обмена (МКО, передача данных). Кроме того, с помощью данного ППК предполагается решать задачи по организации резервных (дублирующих) радиоканалов для проводных каналов связи в районах (зонах ЧС) выполнения задач ПО.

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.

Для организации в сети цифрового потока, разделяемого во времени, необходимо реализовать в сети процедуру временного разделения каналов (ВРК). Это 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.

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.

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.

Одной из важных задач построения цифровой радиосети метрового диапазона с реализацией в ней процедуры ВРК является задача определения основных параметров ПКС каждого УК в условиях помех. Успешное реше-

ние данной задачи обеспечит качественное функционирование всей радиосети в целом.

Условия функционирования рассматриваемой цифровой радиосети метрового диапазона с ПО оказывают большое влияние на основные (атрибутивные) 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. За рубежом данным вопросам уделяли внимание такие ученые как Линдсей В., Стиффлер Дж.Дж., Спилкер Дж. и другие ученые.

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. 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 изложенным, 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 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 тема диссертации «Оптимизация периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех».

**Цель** диссертационных исследований – обеспечение требуемой функциональной готовности ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех.

**Объект исследования** – ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона в зоне ЧС.

**Предмет исследования** – методы повышения функциональной готовности ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона в зоне ЧС.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решена **научная задача** разработки программно-математического и методического аппарата для обеспечения коэффициента функциональной готовности ПКС

цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС не ниже заданного значения на основе оптимизации ее периода коррекции в условиях помех.

### **Основные результаты, представляемые к защите**

1. Математическая модель процесса функционирования ПКС ТС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех, учитывающая структуру синхропоследовательности, величину дискретных порогов обработки ПКС и особенности процесса ложного формирования СКС.

2. Методика оптимизации периода коррекции ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне ЧС в условиях помех, учитывающая структурные параметры СКС, структуру и параметры типового сегмента сети, требования к вероятностным характеристикам процесса установления кадрового синхронизма в типовом сегменте сети в зоне ЧС.

### **Научная новизна полученных результатов**

1. 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.

2. 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 результатов**, полученных в диссертационной работе, 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 оптималь-

ное 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 сети.

#### **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.).

**Апробация работы и публикации.** Основные результаты работы докладывались, обсуждались и были одобрены на: четырех НТК Международного уровня; шести НТК всероссийского уровня. Работа выполнена лично автором и является результатом исследований, в которых автор принимал непосредственное участие в течение последних 5 лет. За это время непосредственно по теме диссертации опубликовано 29 работ, в том числе: 20 научных статей (четыре статьи в журнале из Перечня ВАК), тезисы 10-и докладов на НТК, 3 отчёта о НИР и 1 отчет об ОКР. Получены один патент на изобретение, один патент на полезную модель, три свидетельства регистрации на программные продукты.

**Структура и объём работы.** Диссертация состоит из введения, трех разделов, заключения и приложения, изложена на 139 страницах машинописного текста. В список литературы внесены 141 научный источник.

## **II. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертации, сформулирована цель и задача исследования, изложены научные результаты, представляемые к защите, приведены аннотация и структура работы.

**В первом разделе** проведён анализ структуры информационной сети РСЧС МЧС России, анализ роли и места подсистемы кадровой синхронизации

ции в цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в зоне чрезвычайной ситуации в условиях помех, а также дана постановка задачи по определению оптимальных атрибутивных параметров ПКС, которые доставят максимум коэффициенту функциональной готовности ПКС и приведены направления ее решения.

Основой рассматриваемой информационной сети доступа с ПО в зоне ЧС (рисунок 1) является система радиосвязи метрового диапазона, которая базируется на существующих аналоговых и цифровых ППК типа «Такт». При этом информационная сеть каждого уровня иерархии является радиальной, а в совокупности вся сеть является радиально-узловой.

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.

тов.

В качестве физической основы для формирования современных цифровых радиосетей метрового диапазона с ПО в зоне ЧС рассматривается современный цифровой ППК радиосвязи метрового диапазона обеспечивающий передачу информации в радиолинии со скоростями до 19,2 Кбит/с, который 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.

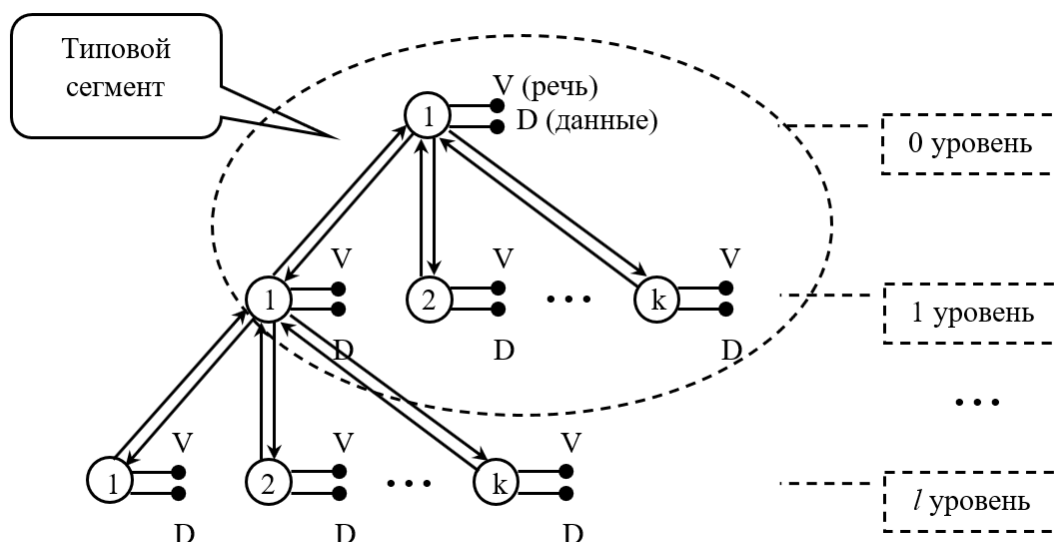


Рисунок 1 – Типовая структура цифровой сети радиосвязи с ПО в зоне ЧС

Современные цифровые ППК и коммутационное оборудование УК обладают потенциальными возможностями по реализации в сети процедуры временного разделения каналов (ВРК) для повышения эффективности функ-



ционирования 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 2), при этом требуется обеспечить не только тактовую, но и кадровую (цикловую) синхронизацию.

Величина защитного интервала может быть определена по формуле (1).

$$\tau_3 = \tau_3^c + \tau_3^p, \quad (1)$$

где  $\tau_3^c$  – часть защитного интервала для компенсации относительной нестабильности опорных генераторов (2);

$\tau_3^p$  – часть защитного интервала для компенсации неопределенности знания расстояния между УК сети (3).

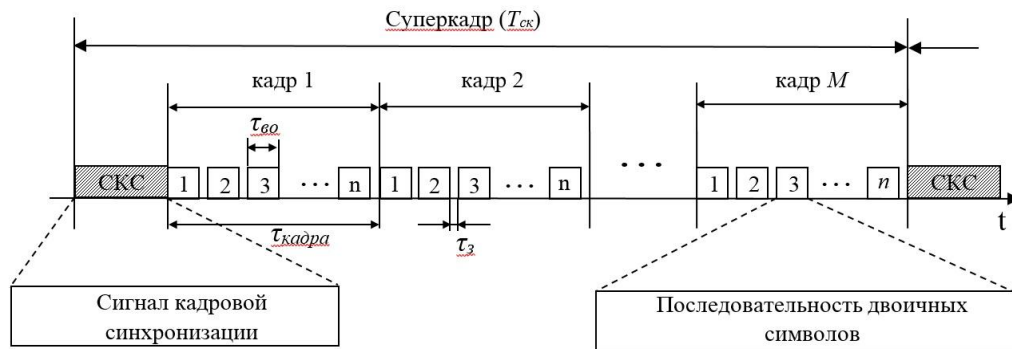


Рисунок 2 – Структура временной последовательности с ВРК

$$\tau_3^c = T_{ск} \cdot 2 \cdot \gamma, \quad (2)$$

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

$\gamma$  – относительная нестабильность опорного генератора.

$$\tau_3^p = \frac{\Delta R}{c}, \quad (3)$$

где  $\Delta R = 0 \dots \Delta R_{max}$  – неопределенность знания расстояния между УК сети;  
 $c$  – скорость распространения радиоволн в вакууме.

Моделирование помеховой обстановки в зоне ЧС осуществляется параметрическим заданием соответствующих значений вероятности искажения одного двоичного символа  $p_0$  (4), определяемых по известным математическим моделям помех.

$$p_0 = f(h_0^2, \alpha, \beta), \quad (4)$$

где  $\alpha$  – вид манипуляции СКС;

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

Показателем качества функционирования всей сети является коэффициент готовности, который для информационной радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС должен быть не ниже 0,995.

Показателем, отражающим эффективность ВРК (рисунок 2) и характеризующим соотношение передаваемой полезной и служебной информации, является коэффициент кадровой эффективности (5).

$$\eta = \frac{t_{nu}}{t_{nu} + t_{cnu}} = 1 - \frac{t_{cnu}}{t_{nu} + t_{cnu}}, \quad (5)$$

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

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

Интегральным (комплексным) показателем эффективности функционирования ПКС сети является коэффициент функциональной готовности ПКС, вычисляемый по формуле (6), причем  $K_2^{cemu} = f(K_2^{PKC})$ .

$$K_2^{PKC} = \eta \cdot P_{уст\ кс}^{cemu}, \quad (6)$$

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

Для обеспечения требуемого уровня функциональной готовности ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона в условиях помех (6) необходимо определить оптимальные атрибутивные параметры ПКС, которые дадут максимум коэффициенту кадровой эффективности ПКС (7) при обеспечении вероятности установления кадрового синхронизма не ниже требуемого значения.

$$\eta = f(T_{ck\ onm}(\tau_3^2), \gamma, \Delta R, \tau_{\theta 0}, L_{ckc}) \rightarrow \max \quad (7)$$

$\tau_3 \in (\tau_3^{\min}, \tau_3^{\max}), \gamma \in (\gamma_{\min}, \gamma_{\max}), L_{ckc} = f(P_{уст\ кс}^{TC\ mp}, P_{лс}^{TC\ don})$   
 $\tau_{\theta 0} = const, \Delta R \leq \Delta R_{\max}, \eta \geq \eta_{mp\ eб}$

**Во втором разделе** проведено математическое моделирование процесса установления кадровой синхронизации в ТС цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях помех. На основе анализа процесса функционирования ПКС сети разработана математическая модель процесса установления кадровой синхронизации в ТС цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях помех, а также разработаны алгоритмы нахождения порогов обработки синхросигналов в ПКС сети.

В процессе функционирования цифровой радиосети метрового диапазона (рисунок 1) режимы работы ее ПКС таковы: передача СКС при первоначальном установлении кадрового синхронизма в сети, принудительная периодическая передача СКС, передача СКС по запросу.

Временные диаграммы распространения СКС по сети при начальном установлении кадрового синхронизма в сети будут иметь вид, представленный на рисунке 3.

Время установления кадровой синхронизации в сети при первоначальном установлении кадрового синхронизма и максимально возможном удалении объектов сети друг от друга можно рассчитать по формуле (8).

$$T_{\Sigma\ кс}^{cemu} = \sum_{i=0}^l t_{p\ \text{ЭМВ}\ i, (i+1)} + (l-1) \cdot t_{пер\ скс}, \quad (8)$$

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

$t_{p\ \text{ЭМВ}\ i, (i+1)}$  – 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.

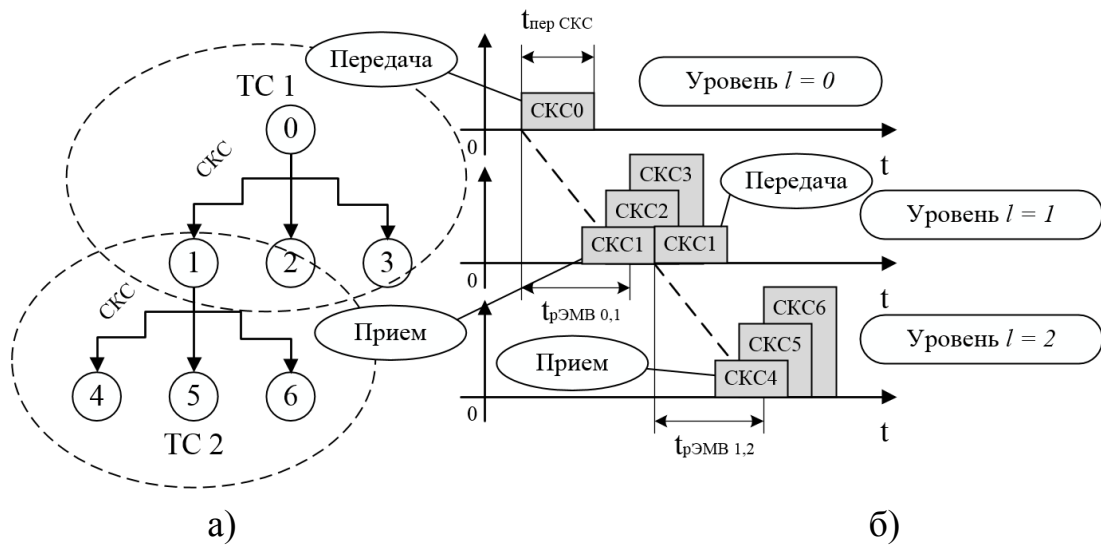


Рисунок 3 – Схема (а) и временные диаграммы распространения СКС (б) при начальном установлении кадрового синхронизма в сети

Из-за задержки в распространении сигналов на каждом УК временные метки на прием и на передачу старшего ППК разнесены во времени относительно младшего ППК в одном ТС. Сущность такого разнесения представлена на рисунке 4.

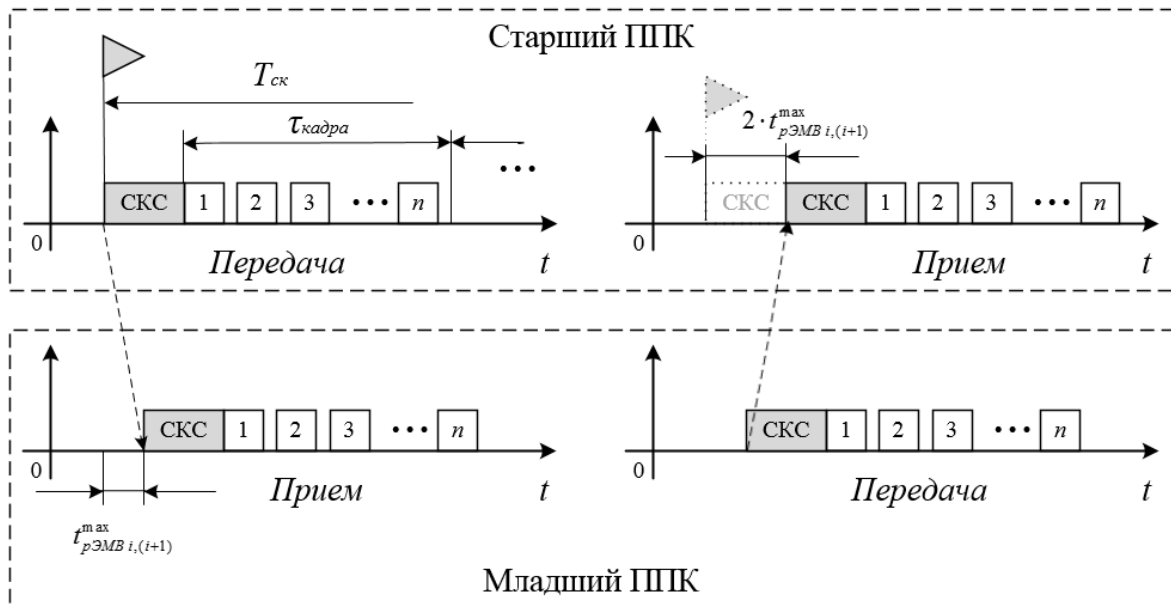


Рисунок 4 – Временная диаграмма размещения временных меток приема и передачи младшего ППК УК нижестоящего уровня относительно старшего ППК УК вышестоящего уровня

Вся цифровая радиосеть метрового диапазона может быть разбита, с точки зрения распространения СКС (рисунок 3 (а)) на ТС, причем вариант ТС 1 : k включает в себя конфигурации 1 : 1 , 1 : 2 , 1 : 3 ... и является более об-

щим, поэтому все расчеты и рассуждения будут проводиться для ТС сети вида  $1 : k$ .

Тогда коэффициент функциональной готовности ПКС цифровой радиосети метрового диапазона определяется формулой (9).

$$K_2^{ПКС\ сети} = \prod_{i=1}^{l-1} (K_2^{ПКС\ ТС})^k, \quad (9)$$

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 находится по формуле (10).

$$K_2^{ПКС\ ТС} = \eta \cdot P_{уст\ кс}^{ТС}, \quad (10)$$

где  $\eta$  – коэффициент кадровой эффективности;

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

Вероятность установления кадрового синхронизма в ТС сети зависит от параметра  $k$  (11), при этом допущением является одинаковость условий установления кадрового синхронизма во всех  $k$  радионаправлениях ТС.

$$P_{уст\ кс}^{ТС} = (P_{уст\ кс}^{p/n})^k, \quad (11)$$

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

В самом простом варианте (СКС – последовательность двоичных символов)  $P_{уст\ кс}^{p/n}$  есть (12). Допущением является то, 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, т.е.

$$P_{уст\ кс}^{p/n} = \sum_{i=П_{скс}}^{L_{скс}} C_{L_{скс}}^i p_0^{(L_{скс}-i)} (1-p_0)^i, \quad (12)$$

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

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

Вероятность ложной кадровой синхронизации (ложной тревоги) при равновероятном появлении символов 0 и 1 на входе анализатора СКС в ПКС находится по формуле (13), при этом ( $p_0 = 0,5$ ).

$$P_{лс} = 0,5^{L_{скс}} \cdot \sum_{i=П_{скс}}^{L_{скс}} C_{L_{скс}}^i. \quad (13)$$

Для 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 предлагается применять сигналы, структура которых представлена на рисунке 5. Для верного приема

СКС данного вида необходимо в ПКС устанавливать не только значения порогов ( $\Pi_{ncn i}$ , где  $i = 1, 2, \dots S$ ) для обеспечения верного приема каждой  $i$ -ой ПСП в структуре СКС, но и значение порога ( $\Pi_{скс}$ ) – как минимально необходимое число верно принятых ПСП в структуре СКС.

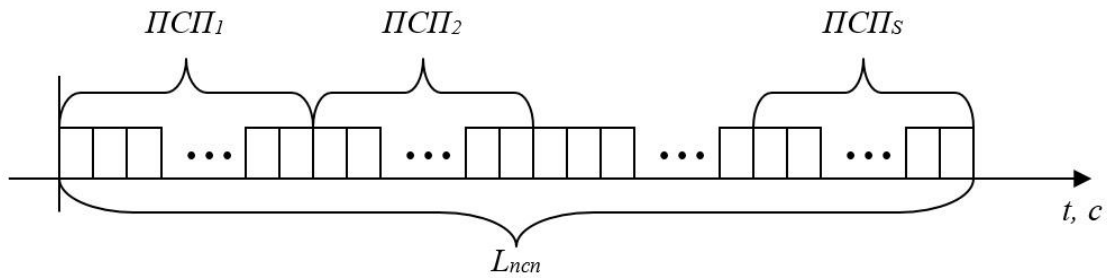


Рисунок 5 – Структура СКС, состоящего из нескольких ПСП

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 отражена на схеме (рисунок 6).

Суть обработки такого СКС 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 (14) на каждом такте работы.

Поток двоичных символов (0 или 1)

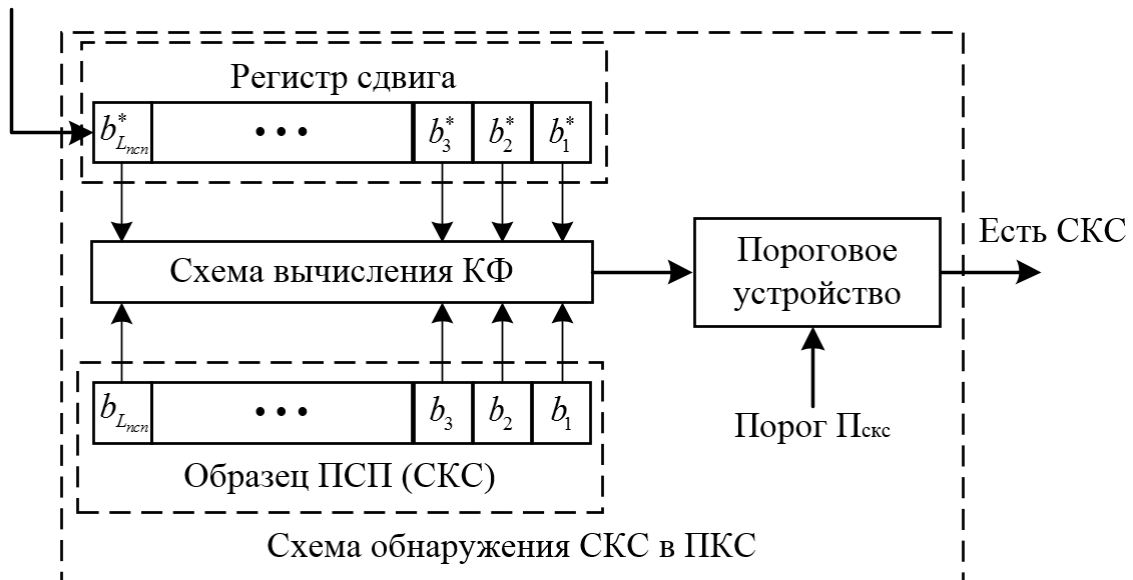


Рисунок 6 – Схема обработки СКС, состоящего из одной ПСП

$$R_p(j) = \sum_{i=1}^{L_{ncn}} (1 - 2 \cdot (b_i \oplus b_i^*)) = A_j - D_j, \quad (14)$$

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

$D_j$  – число несовпавших 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.

Наличие помех в дискретном канале связи (ДКС) приводит к искажению двоичных символов ПСП. Для оценки влияния таких искажений на значение КФ проводились расчеты значений непериодической и периодической взаимокорреляционных функций (НВКФ и ПВКФ) на периоде  $M$ -последовательности с помощью программы с учетом ошибок различной кратности по формулам:

$$R_p^{нкф}(j) = \sum_{i=1}^{L_{ncn}-j} (1 - 2 \cdot (b_i \oplus b_{i-j}^*)), \quad (15)$$

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

$$R_p^{пкф}(j) = \sum_{i=1}^{L_{ncn}-j} (1 - 2 \cdot (b_i \oplus b_{i-j}^*)) + \sum_{i=1}^j (1 - 2 \cdot (b_i \oplus b_{L_{ncn}-j+i-1}^*)). \quad (16)$$

Графики соответствующих НАКФ и НВКФ представлены на рисунке 7.

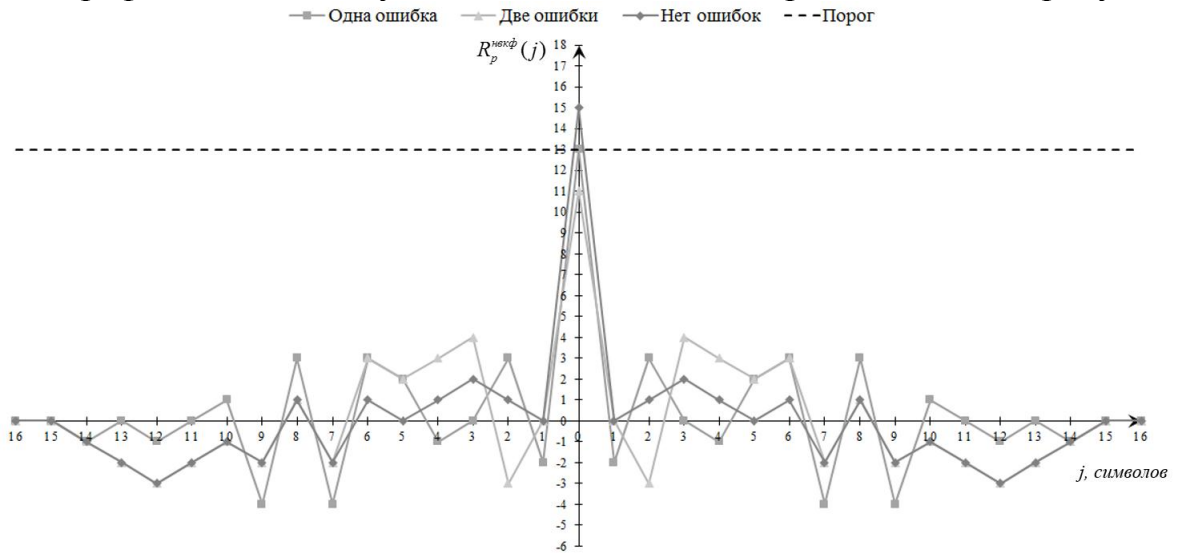


Рисунок 7 – Графики зависимостей ненормированных дискретных НАКФ и НВКФ от величины сдвига принимаемой и образцовой ПСП для  $L_{ncn} = 15$

Вероятность доведения СКС, состоящего из нескольких ПСП одинаковой длины, определяется выражением (17)

$$P_{уст\ кс}^{p/n} = \sum_{i=П_{скс}}^S C_S^i \cdot P_{дов\ ncn}^i \cdot (1 - P_{дов\ ncn})^{S-i}, \quad (17)$$

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

$П_{скс}$  – минимальное число верно принятых ПСП;

$P_{дов\ ncn}$  – вероятность доведения одной ПСП (18).

$$P_{дов\ ncn} = \sum_{j=П_{ncn}}^{L_{ncn}} C_{L_{ncn}}^j \cdot p_o^{L_{ncn}-j} \cdot (1 - p_o)^j, \quad (18)$$

где  $L_{ncn}$  – число двоичных символов в одной ПСП;

$П_{ncn}$  – порог приема одной ПСП.

Вероятность ложного формирования составного СКС в радионаправлении определяется выражением (19)

$$P_{лф\ скс}^{p/n} = \sum_{i=\Pi_{скс}}^S C_S^i \cdot P_{лф\ псп}^i \cdot (1 - P_{лф\ псп})^{S-i}, \quad (19)$$

где  $P_{лф\ псп}$  – вероятность ложного формирования одной ПСП (13).

Влияние имитационных помех учтено параметрическим способом через вероятность постановки имитационных помех (20)

$$P_{лс\ скс}^{p/n1} = P_{лф\ скс}^{p/n} + P_{пмп\ скс}^{p/n}, \quad (20)$$

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

$$N_{попыток} = \left\lceil \frac{T_{скс}}{\tau_{дв.с}} \right\rceil - \Pi_{псп}, \quad (21)$$

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

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

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

$$P_{лс\ скс}^{p/n} = \left( P_{лс\ скс}^{p/n1} \right)^{N_{попыток}}. \quad (22)$$

Вероятность установления ложного кадрового синхронизма для ТС определяется выражением (23)

$$P_{лс\ скс}^{ТС} = 1 - \left( 1 - P_{лс\ скс}^{p/n} \right)^k. \quad (23)$$

Граф переходов марковской модели для процесса установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу представлен на рисунке 8.

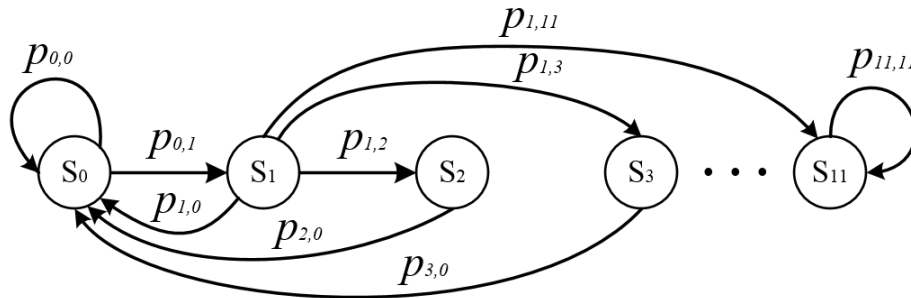


Рисунок 8 – Граф переходов марковской модели процесса установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу

Динамика переходов из одного состояния марковской модели в другие описывается уравнением Колмогорова-Чепмена (24).

$$P_{\langle n \rangle}^{(i)} = P_{\langle n \rangle}^{(i-1)} \cdot P_{[n,n]} = P_{\langle n \rangle}^{(0)} \cdot P_{[n,n]}^i, \quad (24)$$

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.

Граф переходов марковской модели установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу с учетом ложной синхронизации и агрегирования ряда состояний и связей будет иметь вид, представленный на рисунке 9.

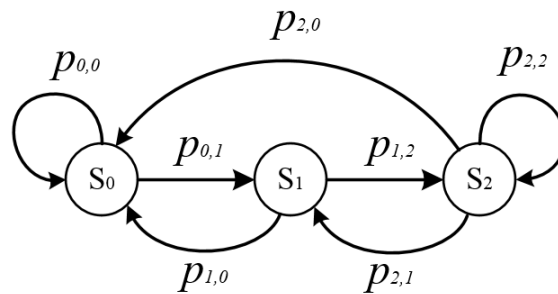


Рисунок 9 – Граф переходов марковской модели процесса установления кадрового синхронизма в ТС сети по запросу с учетом ложного синхронизма

С целью нахождения переходных вероятностей и достижения требуемых значений  $P_{уст\ кс}^{p/n} \geq P_{уст\ кс}^{p/n\ mp}$  и  $P_{лс}^{TC} \leq P_{лс}^{TC\ доп}$  при определенных условиях функционирования ТС сети существует необходимость определения значений дискретных порогов обработки СКС. Для достижения этой цели разработан алгоритм определения порога  $\Pi_{псп}$  для обработки СКС, состоящего из одной ПСП в условиях помех, и алгоритм определения порогов  $\Pi_{псп}$  и  $\Pi_{скс}$  для обработки СКС, состоящего из нескольких ПСП одинаковой длины, в условиях помех, для которых разработаны программы для ЭВМ.

Результаты расчетов значений порогов  $\Pi_{скс}$  для заданных параметров сети  $p_o$ ,  $L_{скс}$ ,  $k = 10$ ,  $P_{уст\ кс}^{TC\ mp} \geq 0,999$  и  $P_{лс}^{TC\ доп} \leq 10^{-7}$  приведены в таблице 1. Показано, что для некоторых сочетаний исходных данных значения порогов не найдены, так как исходные данные не обеспечивают заданные требования. Это характерно для относительно коротких СКС в условиях сильных, средних и слабых помех для  $p_o = 10^{-1}$ ;  $p_o = 10^{-2}$ ;  $p_o = 10^{-3}$  соответственно.

Таблица 1 – Значения порогов для СКС, состоящих из одной ПСП

$L_{скс}$	$p_o = 10^{-1}$		$p_o = 10^{-2}$		$p_o = 10^{-3}$	
7	нет решений		нет решений		нет решений	
15	нет решений		нет решений		нет решений	
31	нет решений		нет решений		нет решений	
63	нет решений		$\Pi_{скс} = 52$	$\approx 1$	$\Pi_{скс} = 55$	$\approx 1$
127	$\Pi_{скс} = 93$	$\approx 1$	$\Pi_{скс} = 109$	$\approx 1$	$\Pi_{скс} = 117$	$\approx 1$
255	$\Pi_{скс} = 183$	$\approx 1$	$\Pi_{скс} = 231$	$\approx 1$	$\Pi_{скс} = 245$	$\approx 1$
511	$\Pi_{скс} = 396$	$\approx 1$	$\Pi_{скс} = 487$	$\approx 1$	$\Pi_{скс} = 501$	$\approx 1$
1023	$\Pi_{скс} = 908$	$\approx 1$	$\Pi_{скс} = 999$	$\approx 1$	$\Pi_{скс} = 1013$	$\approx 1$

Усложнение структуры СКС ведет к снижению вероятности установления кадрового синхронизма в ТС, а также уменьшению вероятности ложной синхронизации. Тогда очевидно, что для каждого набора дискретных исходных данных  $(p_o, k)$ , отражающих структуру ТС и помеховую обстановку, можно найти такие значения параметров ПКС ( $L_{скс}$ ,  $\Pi_{скс}$ ,  $\Pi_{псп}$ ), при которых выполняются условия  $P_{уст\ кс}^{p/n} \geq P_{уст\ кс}^{p/n\ mp}$  и  $P_{лс}^{TC} \leq P_{лс}^{TC\ доп}$ , либо показать, что решений нет. Результаты расчетов порогов  $\Pi_{скс}$ ,  $\Pi_{псп}$  и вероятностей  $P_{уст\ кс}^{TC}$ ,  $P_{лс}^{TC}$



для заданных значений  $p_o = 10^{-2}$ ,  $L_{скс} = 255$ ,  $k = 10$ ,  $P_{уст\ кс}^{TC\ mp} \geq 0,999$ ,  $P_{лс}^{TC\ don} \leq 10^{-7}$  приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Значения порогов  $P_{скс}$ ,  $P_{лсн}$  и вероятностей  $P_{уст\ кс}^{TC}$ ,  $P_{лс}^{TC}$  для СКС, состоящих из нескольких ПСП одинаковой длины, при  $p_o = 10^{-2}$

	$L$	Значения порогов		$P_{уст\ кс}^{TC}$	$P_{лс}^{TC}$
		$P_{лсн}$	$P_{скс}$		
$p_o = 10^{-2}$	$L_{лсн} = 7$		4	0,99966	0,227
	$L_{скс}^* = 252$	4		0,9999	$4,5 \cdot 10^{-9}$
	$L_{лсн} = 15$		6	0,99988	0,018
	$L_{скс}^* = 255$	2		0,9995	$4,08 \cdot 10^{-12}$
	$L_{лсн} = 31$		8	0,99986	$1,7 \cdot 10^{-5}$
	$L_{скс}^* = 248$	2		0,99944	$1,96 \cdot 10^{-14}$
	$L_{лсн} = 63$		12	0,99997	$8,2 \cdot 10^{-12}$
	$L_{скс}^* = 252$	2		0,99996	$1,6 \cdot 10^{-11}$
	$L_{лсн} = 127$		20	0,9999992	$1,3 \cdot 10^{-24}$
	$L_{скс}^* = 254$	0		0,9998	$1,3 \cdot 10^{-24}$
	$L_{лсн} = 255$		20	0,9994	$4,8 \cdot 10^{-60}$
	$L_{скс}^* = 255$	20		0,9994	$4,8 \cdot 10^{-60}$

Анализ значений показал, что при сочетании отдельных условий функционирования невозможно задать значения порогов для удовлетворения требований в заданных условиях.

**В третьем разделе** проведено исследование зависимости коэффициента кадровой эффективности ТС цифровой радиосети метрового диапазона в зоне ЧС от атрибутивных параметров ПКС. Разработана методика оптимизации периода коррекции ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях помех, а также предложены технические решения по обеспечению качественного функционирования ПКС и повышения достоверности информационного обмена в ТС сети.

С учетом структуры временной последовательности ВРК (рисунок 2) кадровую эффективность (5) можно представить так:

$$\eta = 1 - \frac{(\tau_3^2 + \tau_3^p)}{(\tau_{60} + \tau_3^2 + \tau_3^p)} - \frac{(L_{скс} + \tau_3^p) \cdot 2 \cdot \gamma}{\tau_3^2}. \quad (25)$$

Исследование функции (25) на экстремум показало, что ее максимальное значение достигается при размере  $\tau_{3\ onm}^2$ , вычисляемого по формуле (26). Тогда на основе величины  $\tau_{3\ onm}^2$  можно найти оптимальное значение периода суперкадра (27).

$$\tau_{3\ onm}^2 = \frac{2(\tau_3^p + \tau_{60})^2 \gamma + (\tau_3^p + \tau_{60}) \sqrt{2(\tau_3^p + \tau_{60}) \gamma \tau_{60}}}{L_{скс} - 2(\tau_3^p + \tau_{60}) \gamma}. \quad (26) \quad T_{ск}^* = \frac{\tau_{3\ onm}^2}{2 \cdot \gamma}. \quad (27)$$

На рисунке 10 представлен график функции (25), на котором показано наличие максимального значения функции  $\eta$  при оптимальном значении  $\tau_{3\ onm}^2$  для следующих условий и параметров:  $\eta \geq 0,98$ ;  $\Delta R = 5 \cdot 10^4$  м;  $\tau_{60} = 0,01$  с;  $T_{ск}^* = 7,4$  с;  $T_{рау\ ск\ max}^{рау} = 15,1$  с;  $T_{рау\ ск\ min}^{рау} = 3,6$  с;  $\gamma = 10^{-6}$ .

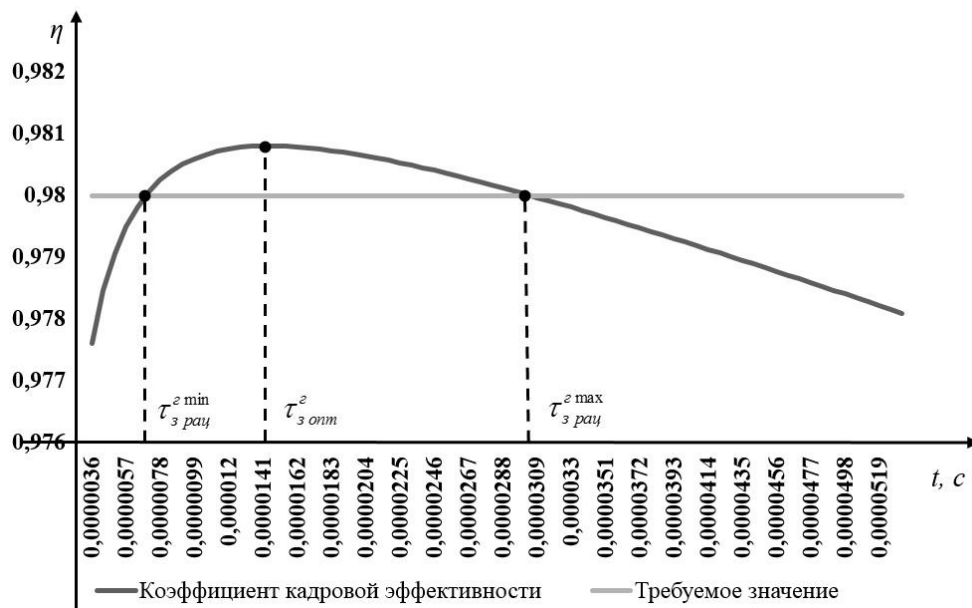


Рисунок 10 – График зависимости  $\eta$  от величины  $\tau_z^2$  с обозначенными оптимальным и рациональными значениями

Основные этапы методики определения атрибутивных параметров ПКС для обеспечения требуемой функциональной готовности сети радиосвязи с ПО в зоне ЧС представлены на рисунках 11 и 12.

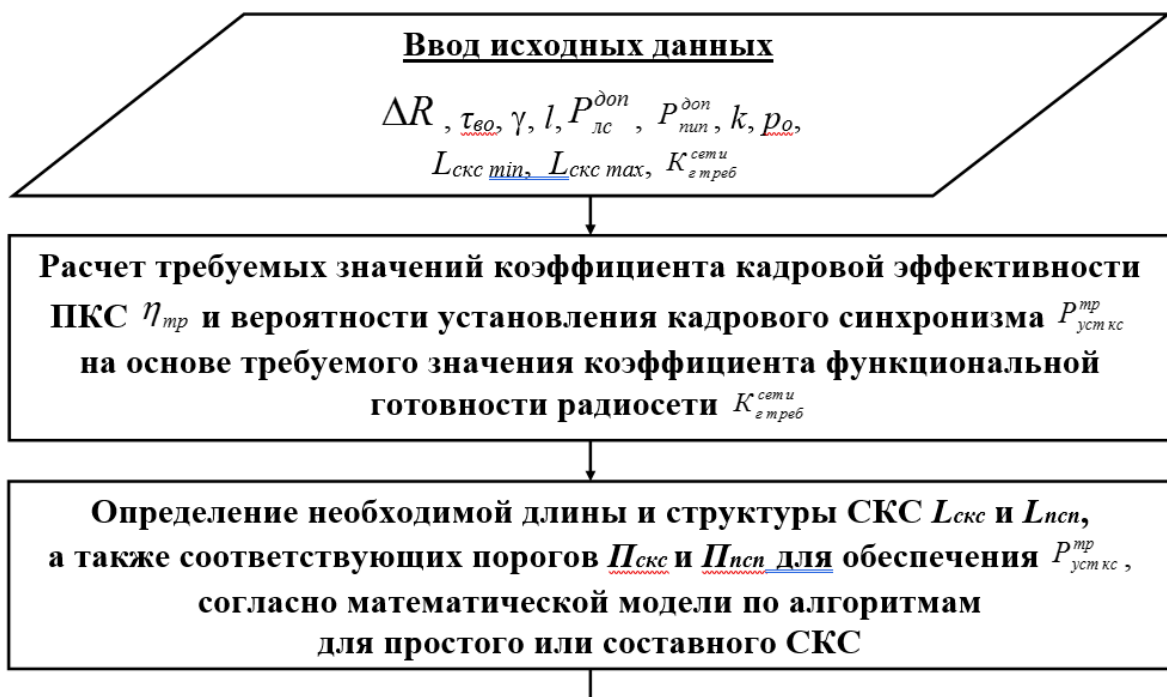


Рисунок 11 – Методика определения значений атрибутивных параметров ПКС для обеспечения требуемой функциональной готовности сети радиосвязи с ПО в зоне ЧС (Начало)

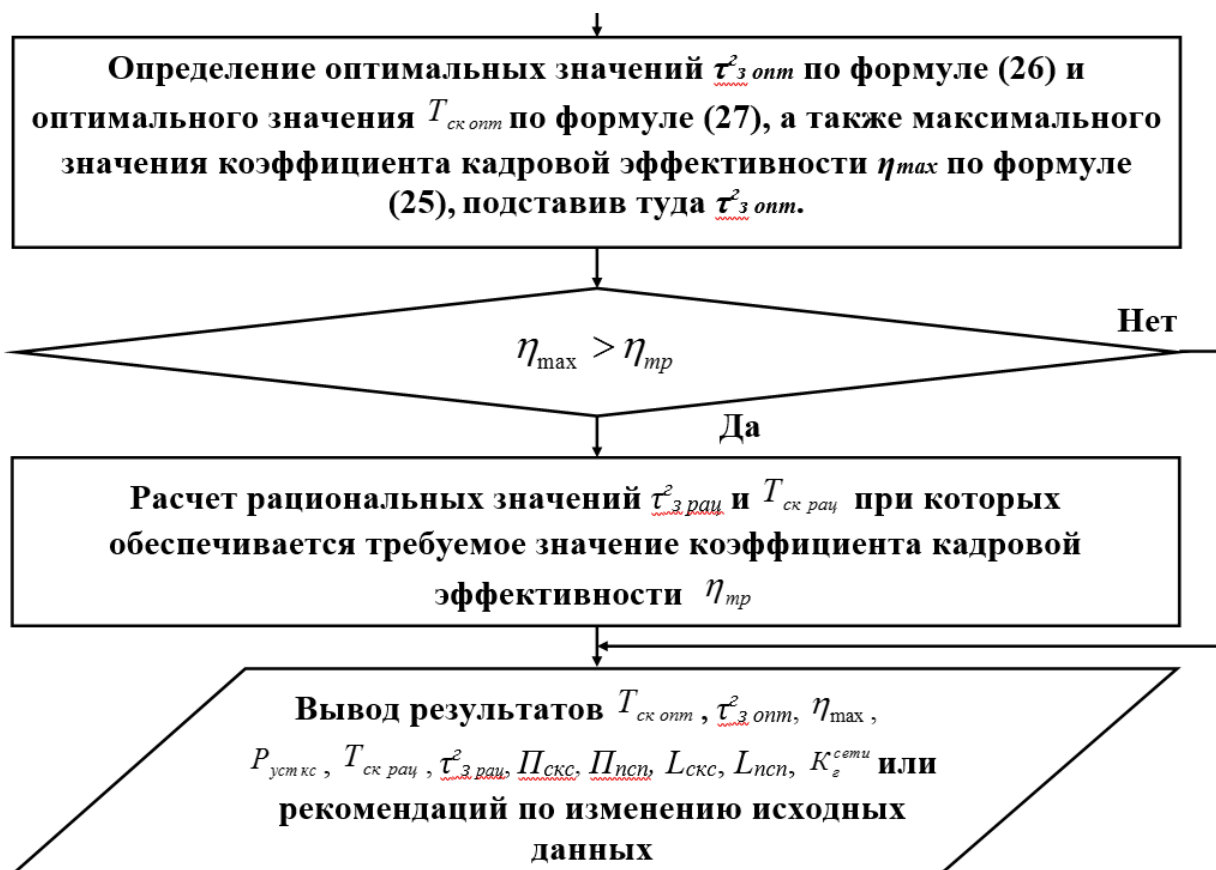


Рисунок 12– Методика определения значений атрибутивных параметров ПКС для обеспечения требуемой функциональной готовности сети радиосвязи с ПО в зоне ЧС (Окончание)

Применение данной методики для типовых значений атрибутивных параметров ТС цифровой радиосети в зоне ЧС и заданной величине вероятности установления кадрового синхронизма позволяет достичь коэффициента готовности ПКС, не меньшего 0,995 при заданных условиях функционирования сети.

### III. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных в диссертации исследований решена актуальная, имеющая важное народнохозяйственное значение задача разработки программно-математического и методического аппарата для обеспечения коэффициента функциональной готовности ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС не ниже заданного значения на основе оптимизации ее периода коррекции в условиях помех.

В области теоретических исследований получены следующие основные результаты:

1. Математическая модель процесса функционирования ПКС ТС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях помех выполнена в виде совокупности аналитических выражений, алгоритмов и регулярной конечной марковской цепи и в отличие от известных, учитывает структуру синхропоследовательности, величину дискретных порогов об-

работки ПКС и особенности процесса ложного формирования СКС.

2. Методика оптимизации периода коррекции ПКС цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях помех, в отличие от известных, системно учитывает структурные параметры СКС, структуру и параметры ТС сети, требования к вероятностным характеристикам процесса установления кадровой синхронизма в ТС сети в зоне ЧС и позволяет определить не только оптимальное, но и рациональные значения коэффициента кадровой эффективности с учетом существующих ограничений.

Внедрение полученных результатов на стадии проектирования и эксплуатации элементов ПКС сети с одной стороны 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, с другой стороны уменьшить объем передаваемой в сети служебной информации для обеспечения функционирования ПКС до необходимого и достаточного уровня в конкретных условиях функционирования радиосети, а также повысить скрытность и устойчивость ПКС к воздействию имитационных помех за счет усложнения структуры СКС.

Дальнейшие исследования целесообразно продолжить в следующих направлениях:

- в математической модели процесса установления кадровой синхронизации в ТС цифровой радиосети метрового диапазона с ПО в зоне ЧС в условиях воздействия помех учесть возможность получения СКС по роковым 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 обеспечение синхронной работы УК такой сети при организации в ней маршрутов сложной структуры в условиях сложной помеховой обстановки и высокой динамики структуры сети.

## **СПИСОК ОСНОВНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **1. Публикации из перечня ВАК**

1.1 **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 общения в радиальной сети без обратной связи с повторами [Текст] / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С. А. Бекренев // Известия Ин-та инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2015. – № 4 – С. 36–40.

1.2 **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 [Текст] / С. А. Бекренев // Известия Ин-та инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 1 – С. 31–33.

1.3 **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 [Текст] / Д. В. Смирнов, С. С. Чайков, С. А. Бекренев // Информация и космос : науч.-техн. журн. – СПб., 2018. – № 4 – С. 11–14.

1.4 **Бекренев, С. А.** Оценка функциональной готовности цифровой сети радиосвязи в зоне чрезвычайной ситуации и оптимизация параметров ее подсистемы кадровой синхронизации в условиях помех [Текст] / 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.

## 2. Публикации, входящие в РИНЦ

2.1 **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 [Текст] / 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.

2.2 **Бекренев, С. А.** Модель процесса установления кадровой синхронизации в базовом сегменте цифровой радиосети метрового диапазона иерархической структуры с подвижными объектами [Текст] / 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.

2.3 **Бекренев, С. А.** Методика оптимизации периода коррекции подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами в условиях помех [Текст] / 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.

2.4 **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 [Текст] / С. Н. Шиманов, Д. В. Мокринский, С. А. Бекренев // Всерос. конф. (с междун. участием) «Радиоэлектронные устройства и системы для инфо-

коммуникационных 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.

**2.5 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.

### **3. Патенты и свидетельства**

**3.1 Патент на изобретение 2621340 Российская Федерация.** Мажоритарный элемент «6 и более из 11» [Текст] / 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.

**3.2 Патент на полезную модель 186034 Российская Федерация.** Устройство для моделирования подсистемы обнаружения сигналов кадровой синхронизации [Текст] / 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.

**3.3 Свидетельство о регистрации программного продукта 2016613409 Российская Федерация.** Расчет вероятностей состояний неоднородной поглощающей конечной марковской цепи с разными и неизменными шагами переходов [Текст] / С. А. Бекренев, В. А. Цимбал, М. Ю. Попов, и др. (RU). – заявка 04.02.16 ; опубл. 28.03.2016.

**3.4 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 [Текст] / С. С. Чайков, М. Ю. Попов, С. А. Бекренев и др. (RU). – заявка 18.02.20 ; опубл. 03.03.2020.

**3.5 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 [Текст] / С. С. Чайков, М. Ю. Попов, С. А. Бекренев и др. (RU). – заявка 18.02.20 ; опубл. 03.03.2020.

### **4. Публикации в материалах конференций**

**4.1 Бекренев, С. А.** Моделирование процесса установления кадрового синхронизма в подсистеме кадровой синхронизации сети радиосвязи иерархической структуры с подвижными объектами [Текст] / 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.

4.2 **Бекренев, С. А.** Подходы к нахождению параметров функционирования подсистемы кадровой синхронизации в цифровой сети радиосвязи с подвижными объектами [Текст] / 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.

4.3 **Бекренев, С. А.** Исследование математической модели подсистемы кадровой синхронизации цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами [Текст] / 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.

4.4 **Бекренев, С. А.** Подходы к определению готовности подсистемы кадровой синхронизации в цифровой сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами при заданных параметрах [Текст] / 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.

4.5 **Бекренев, С. А.** Поиск и анализ корреляционных свойств псевдослучайных последовательностей, применяемых для формирования широкополосных сигналов на основе метода полного перебора [Текст] / 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.

4.6 **Бекренев, С. А.** Синтез хаотических ансамблей дискретных ортогональных многоуровневых сигналов для систем связи типа CDMA [Текст] / А. П. Жук, С. А. Бекренев // Сб. науч. тр. Института инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 5 (часть 2). – С. 137–141.

4.7 **Бекренев, С. А.** Исследование характеристик процесса установления кадровой синхронизации ШПС-ФМ синхросигналами в сети радиосвязи метрового диапазона с подвижными объектами [Текст] / Д. В. Смирнов, С. А. Бекренев // Сб. науч. тр. Института инженерной физики : науч.-техн. журн. – Серпухов, 2017. – № 5 (часть 2). – С. 215–217.

4.8 **Бекренев, С. А.** Промежуточный анализ АКФ синхронизирующей M-последовательности для повышения оперативности поиска ПСП в условиях помех [Текст] / 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.

4.9 **Бекренев, С. А.** Синтез ансамбля дискретных ортогональных сигналов, применяемых в системе радиосвязи с замиранием сигналов [Текст] / 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.

4.10 **Бекренев, С. А.** Подход к определению оптимальных параметров обнаружения цифровых сигналов кадровой синхронизации с ошибками в подсистеме кадровой синхронизации сети радиосвязи с подвижными объектами [Текст] / 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.

4.11 **Бекренев, С. А.** Повышение достоверности информационного обмена в сети радиосвязи с временным разделением каналов и подвижными объектами в условиях сильных помех [Текст] / 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.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Подписано в печать 29.12.2020 г.

Формат 60x84/16. Усл. печ. л. 1,5. Тираж 100 экз. Заказ  
Издательство

Государственное автономное учреждение Московской области  
«Серпуховское информационное агентство Московской области»  
142200, г. Серпухов, ул. Проезд Мишина, д.2/7