

На правах рукописи



Севериненко Андрей Михайлович

**ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДИК И АЛГОРИТМОВ
СОЗДАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОПОРНО-ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ
СВЯЗИ НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ
ТОПОЛОГИЕЙ В СОСТАВЕ СЕТИ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ
СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Специальность:

05.12.13 – Системы, сети и устройства телекоммуникаций

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2017

Работа выполнена на кафедре «Технологии исследований и инноваций специальной связи» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» (ФГБОУ ВО ПГУТИ)

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор Букашкин Сергей Анатольевич.

Официальные оппоненты:

Файзуллин Рашид Робертович, доктор технических наук, профессор. Институт радиоэлектроники и телекоммуникаций, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н.Туполева-КАИ», г. Казань. Профессор кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем.

Паршин Юрий Николаевич, доктор технических наук, профессор. Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Рязанский государственный радиотехнический университет», г. Рязань. Заведующий кафедрой «Радиотехнические устройства».

Ведущая организация:

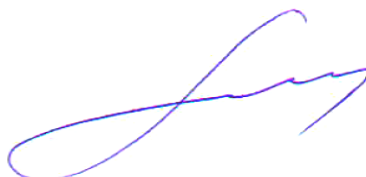
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ульяновский государственный технический университет» (УлГТУ), г. Ульяновск.

Защита состоится 30.06.2017 г. в 14-30 часов на заседании диссертационного совета Д 219.003.02 при ФГБОУ ВО «Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики» по адресу 443010, г. Самара, ул. Льва Толстого, 23

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО ПГУТИ и на сайте www.psuti.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2017 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 219.003.02, д.т.н., профессор



А.И. Тяжев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования

Актуальность темы настоящей диссертационной работы определяется, прежде всего, практическими потребностями в разработке научно-технических решений и инновационных технологий в целях создания нового поколения сетей специальной подвижной радиосвязи, обладающих универсальностью, высокой надежностью, стойкостью и живучестью, в том числе в сложных оперативных и физико-географических условиях.

Анализ существующих работ показывает, что большая часть исследований посвящена решению отдельных задач по указанной проблематике. При этом в открытом доступе отсутствует обобщенная комплексная методика по синтезу сетей связи специального назначения, которая включала бы в себя как определение топологии опорно-транспортной сети, так и формирование топологии сети подвижной радиосвязи.

Настоятельно необходимо создание научно-методических основ разработки современных сетей специальной подвижной радиосвязи, функционирующих в сложных оперативных и физико-географических условиях, а также управления функционированием таких сетей, обеспечивающих комплексное решение вопросов рационального построения топологии сети подвижной радиосвязи, формирования и функционирования опорно-транспортной сети, критериев, методов и средств оценки эффективности соответствующих решений.

В связи с этим тема диссертационной работы, посвященной созданию комплексной методологии построения автоматической опорно-транспортной сети связи сети подвижной радиосвязи специального назначения на основе динамического управления топологией, является **актуальной**.

Степень разработанности темы исследования

Среди публикаций, посвященных изучению методических аспектов оценивания и повышения устойчивости связи следует отметить работы Боговика А.В., Гречишникова Е.В., Додонова А.Г., Исакова Е.Е., Кучерявого А.Е., Ландэ Д.В., Нетеса В.А., Попкова В.К.

Задача разработки элементов научно-методического аппарата повышения устойчивости связи нашла свое отражение в работах Бабусенко С.И., Бурова А.А. и Паршуткина А.В.

К исследованиям в области повышения структурной устойчивости и живучести сетей связи стоит отнести работы: Зеленцова В.А., Гагина А.А., Новикова С.Н., Бурова А.А., Солонской О.И., Кораблина М.А., Хамитовой Л.А., Милованова Д.С.

Однако решения в вышеприведенных работах не выходят за рамки топологических параметров сетей. В них не рассмотрены вероятностно-временные показатели процессов реконфигурации сетей в условиях отказов элементов, а также отсутствуют модели, позволяющие связать процессы функционирования сетевых соединений с их топологической структурой.

Цель диссертационной работы состоит в разработке научно-методических основ создания автоматических опорно-транспортных сетей связи (АОТСС) на основе динамического управления топологией в составе сетей специальной подвижной радиосвязи, функционирующих в сложных оперативных и физико-географических условиях.

Задачи диссертационной работы:

1. Анализ перспективных направлений в области построения и управления сетями специальной радиосвязи. Постановка задач исследования.
2. Исследование и разработка методик формирования топологии опорно-транспортной сети связи в составе сети подвижной радиосвязи специального назначения в сложных физико-географических условиях, включая методики оценки эффективности и приемлемости сетевых решений.
3. Исследование и разработка моделей и алгоритмов динамического управления топологией опорно-транспортной сети связи в составе сети подвижной радиосвязи.
4. Разработка и внедрение рекомендаций по построению и управлению опорно-транспортными сетями в составе сетей подвижной радиосвязи и оценка эффекта от их реализации.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. На основе проведенного анализа перспективных направлений в области построения и управления сетями специальной радиосвязи разработаны научно-технические основы создания автоматических опорно-транспортных сетей связи с динамическим управлением топологией в составе сетей специальной подвижной радиосвязи, функционирующих в сложных оперативных и физико-географических условиях, включая обоснование требований к составу сетевого технологического оборудования и технологии функционирования сети.
2. Разработана комплексная методика формирования динамически управляемой топологии опорно-транспортной сети связи в составе сети подвижной радиосвязи специального назначения в сложных физико-географических условиях, включающая частные методики обоснования варианта топологии, обоснования мест развертывания радиоцентров и элементов опорно-транспортной сети связи и оценки эффективности и приемлемости решений по построению сети.
3. Разработана комплексная модель функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи, включая алгоритмические модели первоначального конфигурирования структуры сети, переконфигурирования ее структуры и формирования информационных связей между сетевыми элементами.
4. Разработаны алгоритмы функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи, включая алгоритмы взаимодействия смежных сетевых элементов при развертывании сети, алгоритм взаимодействия сетевых элементов при подключении вновь вводимого элемента к действующей сети, алгоритм взаимодействия сетевых элементов при отключении одного из них от сети связи, модель технологического взаимодействия сетевых элементов при фор-

мировании трасс для каждой связи между потребителями, алгоритм взаимодействия сетевых элементов при снятии связей между потребителями, адаптивный алгоритм управления загрузкой соты методом автоматического обновления фонового шума.

Теоретическая и практическая значимость работы

1. Разработанный комплекс методик формирования динамически управляемой топологии опорно-транспортной сети может найти применение при решении задач создания сетей подвижной и фиксированной радиосвязи различной принадлежности и назначения.

2. Разработанные алгоритмы функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи могут быть использованы при создании сетей подвижной радиосвязи (технологических и специального назначения), как на этапе их разработки, так и в составе автоматизированных систем планирования сети.

Практическая ценность результатов работы дополнительно подтверждается результатами внедрения отдельных положений, выводов и рекомендаций в учебный процесс ФГБОУ ВО МИРЭА и на предприятиях России, что подтверждено соответствующими актами.

Соответствие рассматриваемой специальности

Диссертационная работа соответствует п.п. 3, 11 и 14 паспорта специальности 05.12.13

Методология и методы исследования

В диссертации для решения поставленных задач используется метод таксономического анализа, метод экспертных оценок, метод системного анализа, эмпирико-эвристический и оптимизационный подходы к исследованию, физическое и имитационное моделирование.

На защиту выносятся следующие основные положения

1. Научно-технические основы создания автоматических опорно-транспортных сетей связи с динамическим управлением топологией в составе сетей специальной подвижной радиосвязи, функционирующих в сложных оперативных и физико-географических условиях, включая обоснование требований к составу сетевого технологического оборудования и технологии функционирования сети.

2. Комплексная методика формирования динамически управляемой топологии опорно-транспортной сети связи в составе сети подвижной радиосвязи специального назначения, включая частные методики обоснования варианта топологии, обоснования мест развертывания радиоцентров и элементов опорно-транспортной сети связи и оценки эффективности и приемлемости решений по построению сети.

3. Комплексная модель функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи, включая алгоритмические модели первоначального конфигурирования структуры сети связи, переконфигурирования ее структуры и формирования информационных связей между сетевыми элементами.

4. Алгоритмы функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи, включая алгоритмы взаимодействия смежных сетевых элементов при развертывании сети, алгоритм взаимодействия сетевых элементов при подключении вновь вводимого элемента к действующей сети, алгоритм взаимодействия сетевых элементов при отключении одного из них от сети связи, модель технологического взаимодействия сетевых элементов при формировании трасс для каждой связи между потребителями, алгоритм взаимодействия сетевых элементов при снятии связей между потребителями, адаптивный алгоритм управления загрузкой соты методом автоматического обновления фонового шума.

5. Результаты практической реализации положений и выводов диссертации, включая результаты сравнительной оценки эффективности сетей подвижной радиосвязи по основным показателям при различных вариантах построения.

Достоверность и обоснованность результатов работы обеспечиваются адекватностью использованных методов и построенных на их основе расчетных моделей. Достоверность результатов работы подтверждается результатами сопоставления решений, полученных разными методами, расчетных и экспериментальных данных, а также результатами внедрения разработанных методик и технических решений.

Апробация работы

Основные результаты диссертационного исследования докладывались на следующих конференциях:

- Актуальные проблемы защиты и безопасности (СПб., 2013);
- 68-й (69, 70-й) научно-технической конференции, посвященной Дню радио (СПб., 2013, 2014, 2015);
- Наука и АСУ-2014 (СПб., 2014);
- Актуальные проблемы защиты и безопасности (СПб., 2014, 2015);
- Телекоммуникационные и вычислительные системы (М., 2014);
- Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления (Орел, 2015);
- XXIV Российской научно-технической конференции ПГУТИ (Самара, 2017).

По тематике диссертационных исследований автором (лично и в соавторстве) опубликовано 19 печатных трудов. Основные научные и прикладные результаты диссертационной работы опубликованы в 3 научных статьях в журналах, входящих в «Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук», в 3 статьях, размещенных в журнале «Вопросы оборонной техники. Серия 16: технические средства противодействия терроризму», а также в 13 публикациях в форме текстов и тезисов докладов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Диссертационное исследование состоит из введения, четырех разделов, заключения, списка сокращений и списка литературы. Работа содержит 180 страниц машинописного текста, 45 рисунков. Список используемой литературы состоит из 142 наименований.

Во **введении** обоснованы актуальность темы исследования, ее теоретическая и практическая значимость, оценена степень разработанности темы исследования, проанализированы и выбраны подходы к решению поставленных задач, определена новизна и обоснована достоверность полученных результатов, представлены основные положения, выносимые на защиту.

Раздел 1 диссертационной работы посвящен анализу перспективных направлений в области построения и управления сетями специальной радиосвязи.

Выполнен анализ особенностей построения сетей радиосвязи специального назначения. Установлено, что традиционные способы построения сети радиосвязи не в полной мере соответствуют условиям современных высококомобильных оперативных действий. Установлено, что в особых физико-географических условиях сеть связи должна быть адаптивной.

Проанализированы методы формирования структуры сетей радиосвязи. Установлена необходимость рассмотрения не только статического (стартового) варианта топологии сети, но и ее потенциальных возможностей, проявляющихся на этапе функционирования. Показана необходимость новых способов построения сети радиосвязи. Сформулированы задачи исследования.

Раздел 2 посвящен исследованию и разработке методик формирования топологии опорно-транспортной сети связи в составе сети подвижной радиосвязи специального назначения в сложных физико-географических условиях.

Проведено исследование и разработана комплексная методика обоснования варианта топологии опорно-транспортной сети связи. Предложен комплексный метод синтеза структуры исследуемой сети. Обоснована декомпозиция общей задачи синтеза на совокупность частных задач.

Разработана методика обоснования варианта топологии сети (рис. 1). Рассмотрены возможные варианты размещения радиоретрансляторов и алгоритмы построения рационального варианта топологии опорно-транспортной сети. Разработана методика оценки эффективности и приемлемости решений по построению сети. В ее рамках решаемая задача представлена в виде совокупности двух вложенных задач оптимизации следующим образом:

$$M = \arg \min \Phi_{\text{план}}(m) / A^{\text{opt}}(m) = \arg \min \Phi_c(A(m)) / QoS(A(m), U) \in QoS_{\text{mp}} \quad (1)$$

$$\Phi_c \approx \Phi_{\text{БС сум}} = \sum_{i=1}^{n_{\text{БС}}} (\Phi_{\text{ПП}}(B_i) n_{fi} + \Phi_{\text{кан}} n_{fi} n_{ti} + \Phi_{\text{анн}}(H_i, G_i)) + \Phi_{\text{freq}} n_{\text{freq}} \quad (2)$$

где $\Phi_{\text{план}}$, Φ_c – показатель затрат; A^{opt} – оптимальный проект, $\Phi_{\text{ПП}}(B_i)$ – стоимость одного приемопередатчика (ПП) i -й БС, зависящая от его энергетического потенциала B_i ; $QoS \in QoS_{\text{mp}}$ – требования к качеству связи; n_{fi} – количество частотных каналов i -й БС, равное количеству ПП; n_{ti} – количество временных



Рис. 1 – Методика обоснования варианта топологии сети

каналов; $\Phi_{анн}(H_i, G_i)$ – стоимость антенны высотой H_i с коэффициентом усиления G_i в месте развертывания i -й базовой станции (БС); Φ_{freq} – стоимость одного частотного канала; n_{freq} – суммарное количество используемых частотных каналов.

С помощью указанной формализации проводится оценка всех информационных направлений и возможных зон активной работы подвижных абонентов, после чего формируется вариант топологии опорно-транспортной сети связи.

Разработана методика обоснования мест развертывания радиоцентров и элементов опорно-транспортной сети связи. Методика основана на методах таксономического анализа позволяет определить координаты мест развертывания радиоцентров узлов связи пунктов управления (УС ПУ) с учетом особых физико-географических условий, на цифровых картах местности с использованием геоинформационных систем.

Неравномерность размещения УС ПУ, вызванная физико-географическими, оперативными

и иными факторами, предопределяет наличие их локальных «плотностей», а перемещение УС ПУ можно представить как перемещение из одной «плотности» в другую, или образование новой «плотности». Суть методики заключается в перемещении гиперсферы определенного радиуса в геометрическом пространстве до получения устойчивого центра тяжести наблюдений, попавших в эту гиперсферу. До начала работы алгоритма (рис. 2) с максимальным количеством шагов M признаки объектов нормируются так, чтобы их значения находились между нулем и единицей.

Разработана методика оценки эффективности и приемлемости автоматической опорно-транспортной сети связи.

Вероятный уровень эффективности функционирования опорно-транспортной сети связи определяется выражением:

$$P_{ЭФ}^W = \frac{\Delta R_g}{R_g^{mp}} \cdot P_{ПУ} \cdot P_{эЧС} \cdot P_{др}, \quad (3)$$

где $P_{ЭФ}^W$ – вероятность эффективного функционирования W -го варианта опорно-транспортной сети связи при условии, что все остальное (другие подсистемы) в системе управления группировкой работает идеально; ΔR_g – степень реализации потенциальных возможностей частей связи по обеспечению связью; R_g^{mp} – требуемая степень реализации потенциальных возможностей частей связи; $P_{ПУ}$ – вероятность своевременного выполнения соответствующих (необхо-

димых) задач на ПУ опорно-транспортной сетью связи; $P_{эчс}$ – вероятность своевременного выполнения соответствующих (необходимых) задач частями связи; $P_{др}$ – вероятность своевременного выполнения обеспечивающих задач соответствующими элементами опорно-транспортной сети связи и системы в целом.

Оценка функционирования АОТСС осуществляется по трем видам эффективности: функциональной, функционально-технической и функционально-экономической. Система требований, используемых для оценки эффективности функционирования АОТСС группировки, включает две базовые группы.

Первая группа включает готовность к применению, устойчивость, защищенность, мобильность, пропускную способность, доступность и управляемость (оперативность функционирования) АОТСС.

Вторая группа включает требования по обеспечению системы управления группировкой своевременной, безопасной и достоверной связью.

Проведена классификация методов и выбран частный метод оценки эффективности на основе метода экспертных оценок, включающая ряд ключевых и дополнительных процедур. Реализована байесовская процедура адаптации оценок экспертов в условиях неопределенности.

В разделе 3 проведено исследование и разработка модели и алгоритмов динамического управления топологией опорно-транспортной сети связи в составе сети подвижной радиосвязи. Обоснованы требования к составу сетевого технологического оборудования, включающего базовые станции сети, ретрансляционные и переприёмные пункты, средства связи соединительных линий связи, потоковые шифраторы и терминальное оборудование с функциями абонентского шифрования, дистанционного приёма ключей и их оперативной смены.

Обоснована технология функционирования опорно-транспортной сети связи. Показано, что для реализации автоматизации процесса обновления состава сети и ее структуры необходимо определять изменения состояния сетевых элементов на основе обмена служебной информацией между мультиплексорами. Для автоматизации проключения трасс необходимо реализовать процессы

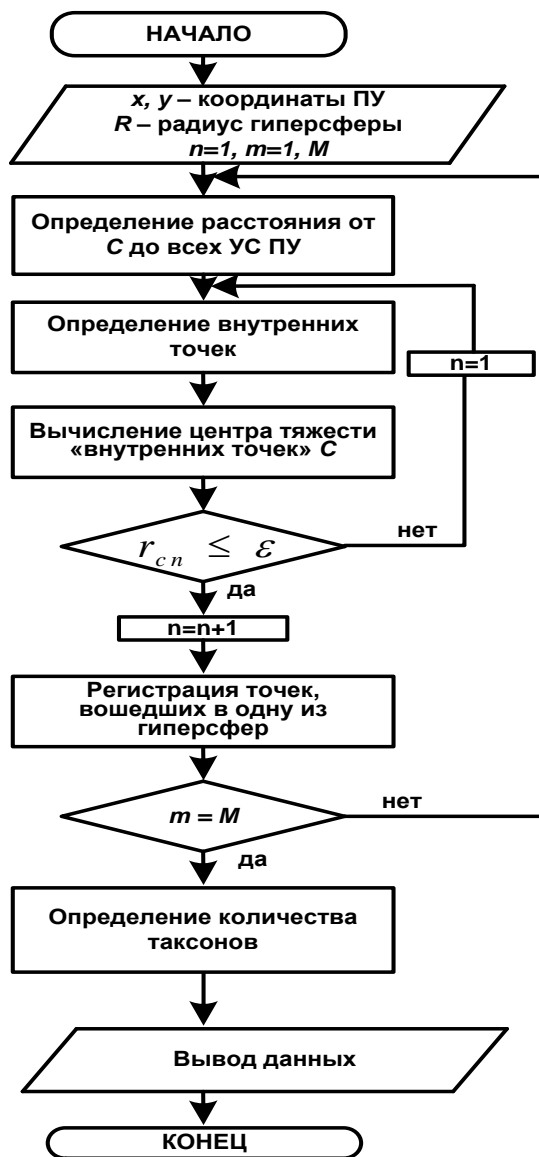


Рис. 2 – Алгоритм группирования радиоцентров

оценки необходимости установления соединения, выбора из базы данных начальных и конечных сетевых элементов и запуск подпрограммы поиска маршрутов. Для реализации представленного выше технологического процесса управления системой (сетью) связи предложено дополнить объем и перечень служебных данных для обеспечения идентификации сетевого оборудования и его составных частей и расширить функциональные возможности системы сетевого технологического управления.

Исследована и разработана комплексная модель функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи, включая алгоритмические модели первоначального конфигурирования структуры сети, переконфигурирования ее структуры и формирования информационных связей между сетевыми элементами. Моделирование связей между сетевыми элементами выполняется на основе методов теории графов. На рис. 3, в качестве примера, представлен алгоритм реализации модели сети, учитывающей непреднамеренное деструктивное воздействие.

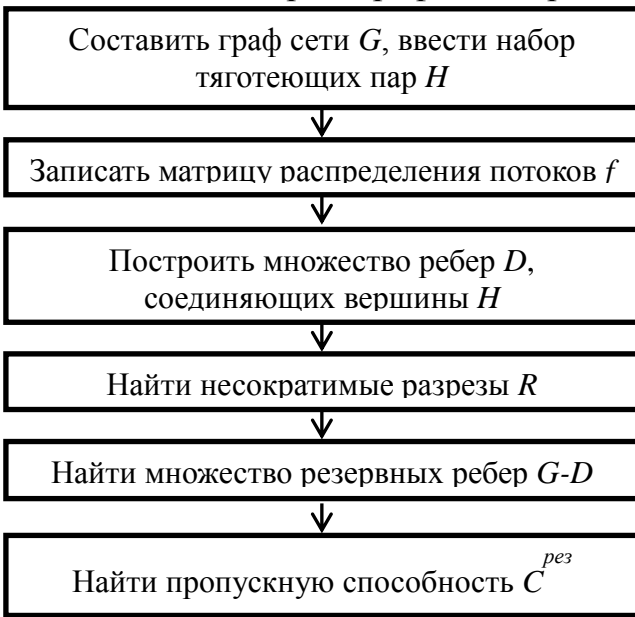


Рис. 3 – Алгоритм построения модели сети

При этом несократимые разрезы находятся следующим образом:

$$\bar{R} = \{R_i \mid U(R_i) \leq W_0, i = 1, \alpha\} \quad (4)$$

с учетом:

$$\bar{R} = \{R_i \mid S(R_i) \leq W_0, i = 1, h\} \quad (5)$$

$$U(R) = U(R_1) \cup \dots \cup U(R_{m-1}) \quad (6)$$

Пропускную способность, которая должна быть зарезервирована на ребре $r^{pez} = (i, g)$ можно записать следующим образом:

$$c^{pez}(i, g) = \max \left\{ \min_{\{(w, j), (q, g)\} \in W(r^{pez})} [c\{(w, j)(q, g)\}] \right\}; \quad (7)$$

$$c^{pez}(g, i) = \max \left\{ \min_{\{(j, w), (g, q)\} \in W(r^{pez})} [c\{(j, w)(g, q)\}] \right\};$$

$c_D^{pez}(w, c)(c, w) \in r^{pez}$ по формулам:

$$c_D^{pez}(w, c) = \max \left\{ 0, \min \left\{ \sum_{w \in Q \cap D\{(w, j)(q, g)\}(w, c)} c^{6bx}(w), \sum_{c \in Q \cap D\{(j, w)(g, q)\}(w, c)} c^{6x}(w) \right\} \right\}, \quad (8)$$

$$c_D^{pez}(c, w) = \max \left\{ 0, \min \left\{ \sum_{w \in Q \cap D\{(w, j)(q, g)\}(w, c)} c^{6x}(w), \sum_{c \in Q \cap D\{(j, w)(g, q)\}(w, c)} c^{6bx}(w) \right\} \right\},$$

с учетом:

$$\begin{aligned} c_{\{(w,j)(q,g)\}}^{\text{don}}(w,c) &= c_{\{(w,j)(q,g)\}} \\ c_{\{(j,w)(g,q)\}}^{\text{don}}(c,w) &= c_{\{(j,w)(g,q)\}} \end{aligned} \quad (9)$$

Произведена разработка алгоритмических моделей первоначального конфигурирования структуры сети связи, переконфигурирования ее структуры и формирования информационных связей между сетевыми элементами.

Разработаны алгоритмы функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи, включая алгоритмы взаимодействия смежных сетевых элементов (СЭ) при развертывании сети (алгоритм функционирования центрального сетевого элемента на этапе развёртывания АОТСС представлен на рис. 4), взаимодействия сетевых элементов при подключении вновь вводимого элемента к действующей сети, взаимодействия сетевых элементов при отключении одного из них от сети связи, технологического взаимодействия сетевых элементов при формировании трасс для каждой связи между потребителями, взаимодействия сетевых элементов при снятии связей между потребителями, управления загрузкой соты (адаптивный) методом автоматического обновления фонового шума (АОФШ). Последний приведен на рис. 5. На рисунке приняты следующие обозначения: RTWP – суммарная принимаемая мощность, UL – восходящая линия связи, BGNStartTime – время начала выполнения, BGNEndTime – время завершения, BGNOptSwitch – переключатель типа измерения, ENU – текущее эквивалентное число пользователей, BGNEqUserNumThd – пороговое значение числа эквивалентных пользователей, BGNULLoadThd – пороговое значение загрузки, BgnAbnormalThd – критическое пороговое значение, BgnUpdateThd – пороговая частота обновления настроек фильтра.

Раздел 4 посвящен разработке и внедрению рекомендаций по построению и управлению опорно-транспортными сетями в составе сетей подвижной радиосвязи.

Разработаны рекомендации по использованию предложенной комплексной методики при принятии решения и планировании топологии опорно-транспортной сети связи на основе предложенных методик и алгоритмов и рекомендации по оперативному управлению топологией опорно-транспортной сети связи. Показано, что требуется создание группы управления топологией сети радиосвязи, сформулированы решаемые ей задачи. Предложено создание диспетчерско-справочной службы поддержки корреспондентов сети радиосвязи, перечислены её основные задачи.

Разработаны и внедрены предложения по модернизации опорно-транспортной сети связи радиосети стандарта Тетра в составе единой информационно-телекоммуникационной инфраструктуры в районе проведения XXII Олимпийских и XI Паралимпийских зимних игр 2014 года в городе Сочи. Разработанное научно-методическое обеспечение позволило выработать предложения по модернизации опорно-транспортной сети.

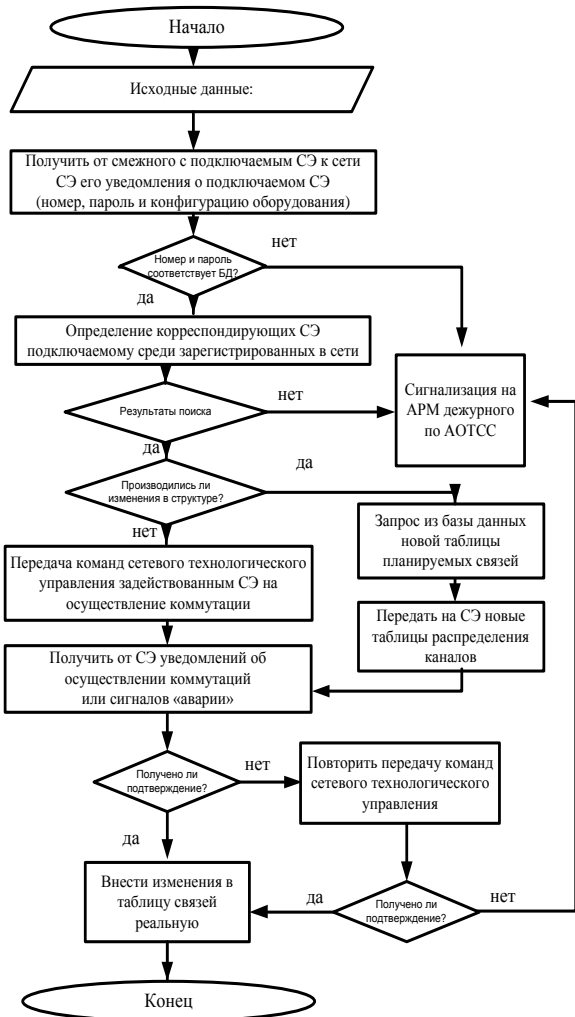


Рис. 4 – Блок-схема функционирования центрального СЭ АОТСС

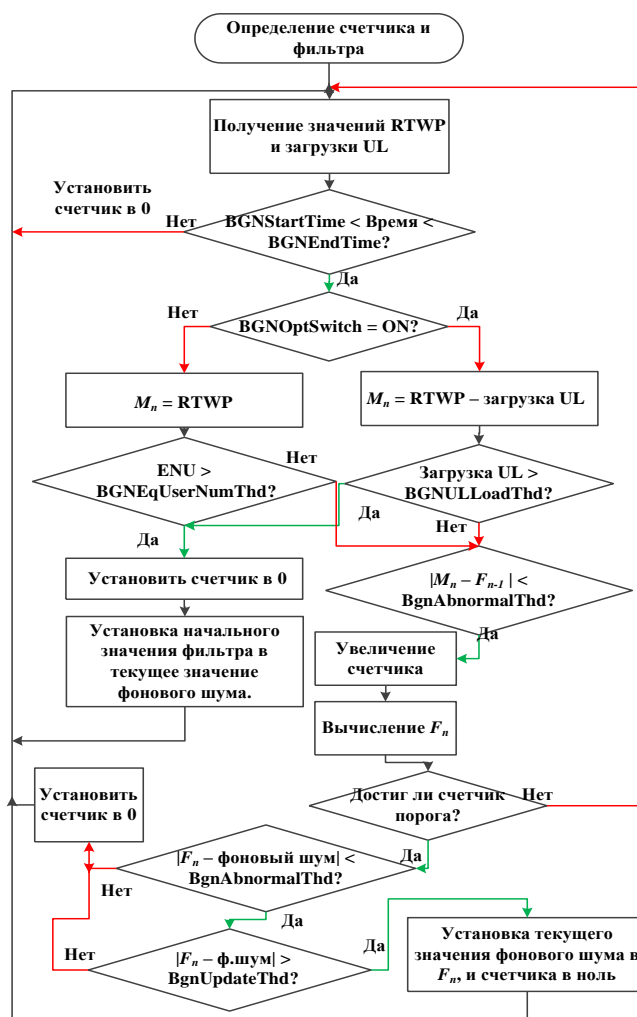


Рис. 5 – Алгоритм управления нагрузкой соты методом АОФШ

Оценен эффект от реализации предложений. Сравнительная оценка для трех вариантов построения опорно-транспортной сети: действующего (вариант 1), модернизированного на основе актуализации части оборудования с использованием существующих методик (вариант 2) и, наконец, варианта глубокой модернизации на основе предложенных методик и алгоритмов, с формированием адаптивной автоматической опорно-транспортной сети (вариант 3) по шести ключевым показателям, показала значительное повышение показателей устойчивости функционирования всей сети (до 20% от начального значения на отдельных направлениях связи).

В качестве примера на рис. 6 приведены результаты сравнительной оценки вариантов по критериям доступности и устойчивости. Обобщенный показатель эффективности рассчитывался по результатам экспертного ранжирования.

На рис. 7 представлена сравнительная характеристика обобщенного показателя эффективности рассмотренных вариантов. Графики (рис. 6, 7) показывают, что по всем показателям вариант топологии сети радиосвязи на перспективных средствах связи для действий в сложных физико-географических условиях (вариант № 3) превосходит все рассмотренные варианты.

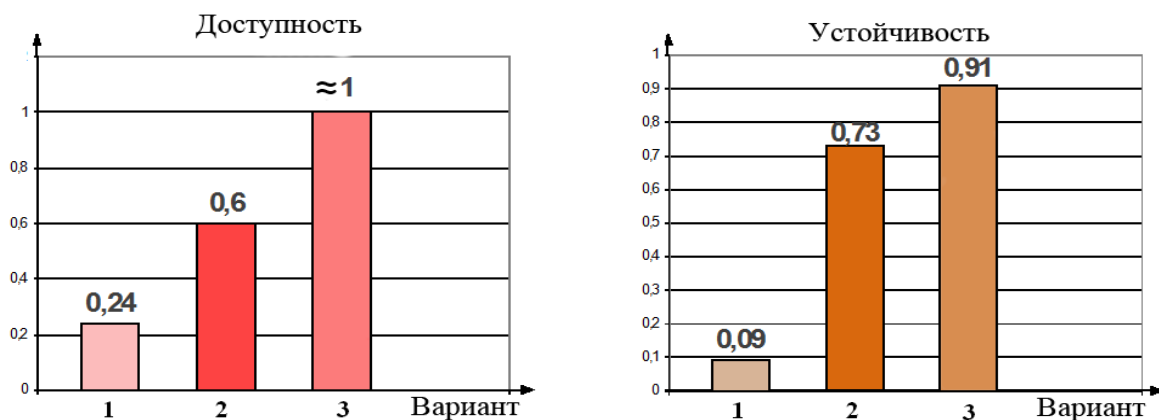


Рис. 6 – Результаты сравнительной оценки по критериям доступности и устойчивости

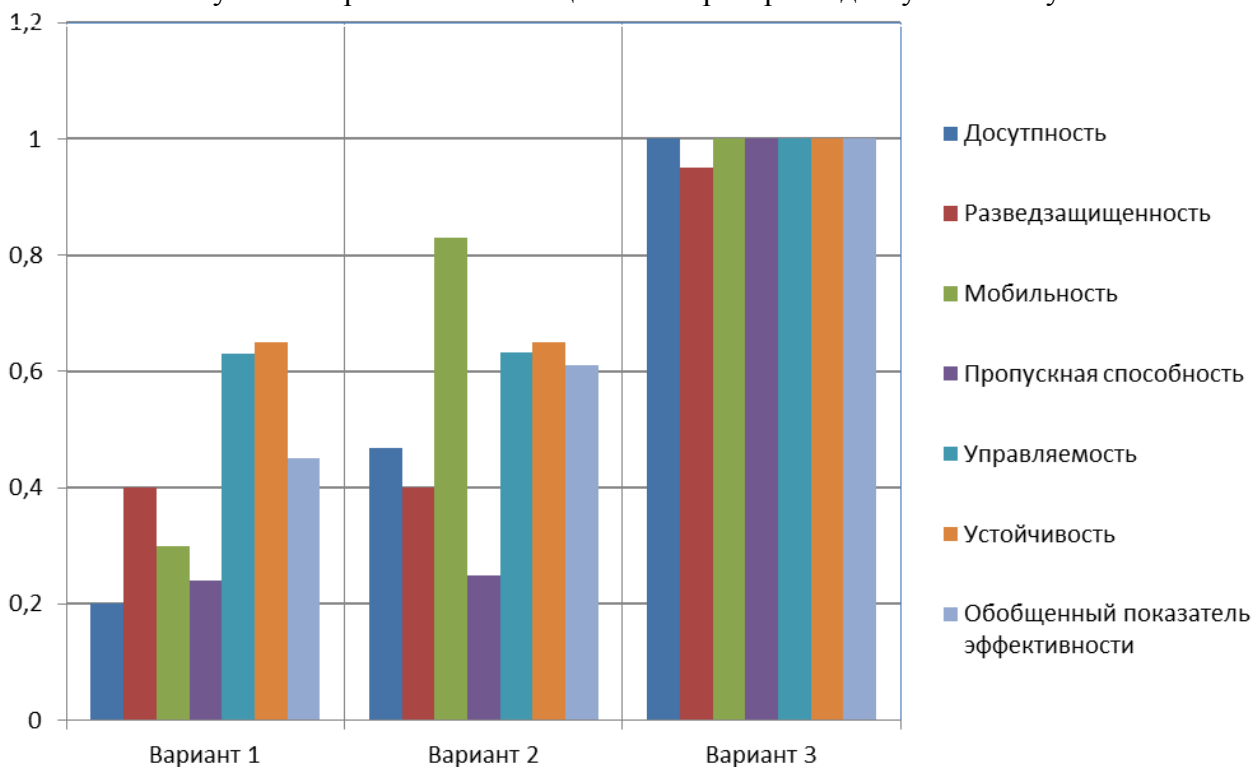


Рис. 7 – Результаты сравнительной оценки эффективности

В **Заключении** сформулированы основные научные и практические результаты диссертационной работы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационном исследовании на основе проведенного анализа перспективных направлений в области построения и управления сетями специальной радиосвязи разработаны научно-технические основы создания автоматических опорно-транспортных сетей связи с динамическим управлением топологией в составе сетей специальной подвижной радиосвязи, функционирующих в сложных оперативных и физико-географических условиях.

Разработана комплексная методика формирования динамически управляемой топологии опорно-транспортной сети связи в составе сети подвижной радиосвязи специального назначения в сложных физико-географических условиях.

Разработана комплексная модель функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи.

Созданы алгоритмы функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи, включая алгоритмы взаимодействия смежных сетевых элементов при развертывании сети, алгоритм взаимодействия сетевых элементов при подключении вновь вводимого элемента к действующей сети, алгоритм взаимодействия сетевых элементов при отключении одного из них от сети связи, модель технологического взаимодействия сетевых элементов при формировании трасс для каждой связи между потребителями, алгоритм взаимодействия сетевых элементов при снятии связей между потребителями, адаптивный алгоритм управления загрузкой соты методом автоматического обновления фонового шума.

Получены новые результаты сравнительной оценки эффективности сетей специальной подвижной радиосвязи по основным показателям при различных вариантах построения.

В перспективе применение разработанных основ позволит создавать автоматические опорно-транспортные сети связи с динамическим управлением топологией способных функционировать в сложных оперативных и физико-географических условиях.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи, опубликованные в журналах, рекомендованных ВАК:

1. Севериненко, А.М. Методы управления загрузкой восходящей линии в сети подвижной радиосвязи [Текст] / А.М. Севериненко // Инфокоммуникационные технологии. – 2017. - №2.
2. Севериненко, А.М. Алгоритм оптимального размещения базовых станций в сетях подвижной радиосвязи специального назначения, работающих в сложных физико-географических условиях [Текст] / А.М. Севериненко // Радиотехника. – 2017. - №4. – С. 116–121.
3. Букашкин, С.А. Использование метода экспертных оценок для определения эффективности функционирования автоматической опорно-транспортной сети связи в сети радиосвязи специального назначения [Текст] / С.А. Букашкин, А.М. Севериненко // Радиотехника. – 2017. - №4. – С. 103–108.

Труды, опубликованные в других научных изданиях:

4. Севериненко, А.М. К вопросу об обеспечении безопасности в сетях подвижной радиосвязи специального назначения [Текст] / А.М. Севериненко, Г.В. Сызранцев, А.В. Безуглый, Л.А. Берляев, А.А. Кретов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: технические средства противодействия терроризму. – М.: НТЦ «Информтехника», СПб.: Изд. Любавич, 2013. – Вып. 7–8. – С. 100–104.
5. Севериненко, А.М. Техническая основа автоматизированной системы управления войсками создаваемой группировки для ведения современных высокодинамичных операций [Текст] / А.М. Севериненко, Г.В. Сызранцев, К.И. Лукин, В.В. Туренко, Г.В. Иншин // Вопросы оборонной техники. Серия 16: технические средства противодействия терроризму. – М.: НТЦ «Информтехника», СПб.: Изд. Любавич, 2013. – Вып. 9–10. – С. 68–71.

6. Севериненко, А.М. Модель функционирования автоматической системы сетевого технологического управления первичной сетью связи высокодинамичной системы связи специального назначения [Текст] / А.М. Севериненко, Г.В. Сызранцев, А.В. Безуглый, А.Н. Даниленко, Г.В. Иншин // Вопросы оборонной техники. Серия 16: технические средства противодействия терроризму. – М.: НТЦ «Информтехника», СПб.: Изд. Любавич, 2013. – Вып. 11–12. – С. 90–95.

Труды научных конференций:

7. Севериненко, А.М. Состав сетевого технологического оборудования автоматизированной системы управления специального назначения [Текст] / А.М. Севериненко, Г.В. Сызранцев, С.Ф. Лебедев, В.В. Туренко, В.С. Добровольский // Труды 16-й Всероссийской НПК РАРАН «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Изд. в 6-ти томах. Том 1. – СПб.: НПО СМ, 2013. – С. 137–142.

8. Севериненко, А.М. Определение требований к пространственно-информационной структуре системы связи, радиотехнического обеспечения и автоматизации управления специального назначения [Текст] / А.М. Севериненко, Г.В. Сызранцев, К.В. Козлов // Труды 68-й научно-технической конференции, посвященной Дню радио. – СПб: НТОРЭС, 2013. – С. 165–166.

9. Севериненко, А.М. Обеспечение устойчивости функционирования многоуровневых выделенных многоканальных сетей связи специального назначения [Текст] / А.М. Севериненко, Г.В. Сызранцев, К.И. Лукин, Д.Е. Пузанов // Труды 69-й научно-технической конференции, посвященной Дню радио. – СПб: НТОРЭС, 2014. – С. 228–229.

10. Севериненко, А.М. Основные принципы и задачи построения АСУС [Текст] / А.М. Севериненко, А.Г. Ермишян, А.Н. Даниленко // «Наука и АСУ-2014»: Труды всероссийской научно-технической конференции (Москва: МТУСИ, 2014). В кн.: Техника средств связи: научно-технический сборник. – Вып 3 (142). – СПб.: Изд. изд. Политехн. Ун-та, 2014. – С. 147–150.

11. Севериненко, А.М. Общие требования к АСУС и ее типовой состав [Текст] / А.М. Севериненко, А.Г. Ермишян, А.Н. Даниленко, С.Н. Андрющенко // «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Труды XVII Всероссийской НПК РАРАН. Том 5. – СПб.: ФГБУ «РАРАН», 2014. – С. 143–147.

12. Севериненко, А.М. Моделирование услуг в сетях мобильной связи нового поколения [Текст] / А.М. Севериненко, С.В. Мельник, Д.А. Петров // Труды конференции «Телекоммуникационные и вычислительные системы» – М.: ООО «Информпресс-94», 2014. – С. 101–103.

13. Севериненко, А.М. Автоматическая опорно-транспортная сеть связи для сети подвижной радиосвязи [Текст] / А.М. Севериненко, Г.В. Сызранцев, А.П. Неверов // Труды 70-й научно-технической конференции, посвященной Дню радио. – СПб: НТОРЭС, 2015. – С. 223–225.

14. Севериненко, А.М. Методика определения мест развертывания ретрансляционных пунктов системы связи в специальных действиях [Текст] / А.М. Севериненко, А.Г. Ермишян, С.В. Масленников // «Актуальные проблемы защиты и безопасности». Труды XVIII Всероссийской НПК РАРАН. Том 5. – СПб.: ФГБУ «РАРАН», 2015. – С. 86–91.

15. Севериненко, А.М. Комплексная методика формирования рационального варианта топологии автоматической сети подвижной радиосвязи [Текст] / А.М. Севериненко, Л.А. Берляев, Г.В. Иншин // Труды IX Всероссийской межведомственной

научной конференции «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления». Ч. 8. – Орел: Академия ФСО России, 2015. – С. 132–134.

16. Севериненко, А.М. Состав сетевого технологического оборудования автоматической опорно-транспортной сети связи радиосети специального назначения [Текст] / А.М. Севериненко, Р.Н. Кириченко, А.Н. Васильев // Труды IX Всероссийской межведомственной научной конференции «Актуальные направления развития систем охраны, специальной связи и информации для нужд государственного управления». Ч. 8. – Орел: Академия ФСО России, 2015. – С. 135–137.

17. Букашкин, С.А. Методика оценки эффективности функционирования адаптивной автоматической опорно-транспортной сети [Текст] / С.А. Букашкин, А.М. Севериненко // Труды XXIV российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. – Самара: ПГУТИ, 2017. – С. 200.

18. Ермолаев, С.Ю. Оптимизация размещения базовых станций в сетях подвижной радиосвязи специального назначения [Текст] / С.Ю. Ермолаев, А.М. Севериненко // Труды XXIV российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. – Самара: ПГУТИ, 2017. – С. 202.

19. Севериненко, А.М. Сравнительная оценка различных вариантов построения опорно-транспортной сети по основным показателям [Текст] / А.М. Севериненко // Труды XXIV российской научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов ПГУТИ. – Самара: ПГУТИ, 2017. – С. 205.

Подписано в печать 26.04.2017 г.
Формат 60 x 84/16. Бумага ксероксная. Печать оперативная.
Объем – 1,00 усл. п.л. Тираж 100 экз. Заказ № 1274

Отпечатано в типографии ООО «Новая страница»
443022, г. Самара, пр. Кирова, 26, оф. 9; тел.: 229-23-20