

0- 800429

На правах рукописи



Иволгин Андрей Александрович

**МОДЕЛИ И АЛГОРИТМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛИНИЙ СВЯЗИ**

Специальность 05.13.12 «Системы автоматизации проектирования»
(промышленность)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Омск - 2013

Работа выполнена на кафедре «Инженерная геометрия и системы автоматизированного проектирования» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования (ФГБОУ ВПО) «Омский государственный технический университет», г. Омск (ОмГТУ).

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор кафедры «Инженерная геометрия и системы автоматизированного проектирования» ФГБОУ ВПО ОмГТУ
Янишевская Анна Генриховна

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационные системы и программная инженерия» ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых» (ВлГУ)
Жигалов Илья Евгеньевич

кандидат технических наук, доцент кафедры «Беспроводных информационных систем и сетей» федерального государственного образовательного бюджетного учреждения высшего профессионального образования «Сибирский государственный университет телекоммуникаций и информатики»
Рогоulina Лариса Геннадьевна

Ведущая организация: ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет», г. Новосибирск

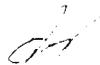
Защита диссертации состоится «17» апреля 2013 г. в 15-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.025.01 при ВлГУ по адресу: 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87, ауд. 335-1.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке ВлГУ.

Автореферат разослан «14» марта 2013 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью, просим направлять по адресу университета: 600000, г. Владимир, ул. Горького 87, ВлГУ, ученому секретарю диссертационного совета Д212.025.01.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор технических наук, доцент



Давыдов Н.Н.

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА КФУ



831893

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Введение

В диссертации изложены опубликованные, апробированные и внедренные в практику научные положения автоматизации проектирования радиорелейных линий связи по критериям показателей качества. Исследование базируется на трудах по разработке и использованию систем автоматизации проектирования в радиотехнической промышленности. Этим вопросам уделяли внимание: Алексеев О. В., Головков А. А., Пивоваров И. Ю., Головицына М. В., Маничев В. Б., Грувер М., Донец А. М., Львович Я. Е., Фролов В. Н., Капустин Н. Б., Норенков И. П., Клейменов С. А., Павленко А. И., Рябов С. Н., Chevallier, С., Holma H., Brunner C., Garavaglia A.

Актуальность проблемы. XXI век характеризуется стремительным процессом информатизации общества. Ежегодно разрабатываются новые протоколы передачи данных, типы модуляции, кодирования, уплотнения информации. Операторы средств связи при построении современных информационных сетей стремятся использовать последние технологии в области автоматизации проектирования беспроводных сетей. Это касается как построения протяженных телекоммуникационных магистралей, так и сетей радиодоступа. Мобильная связь в настоящее время считается самой оптимальной средой для передачи информации, а также самой перспективной средой для передачи больших потоков информации на значительные расстояния. Особенность таких сетей состоит в наличии радиоканала, определяющего качество проектируемой сети. Канал связи беспроводных сетей передачи данных открыт, вследствие чего в таких сетях к помехам, характерным для проводных сетей, добавляется огромное множество помех, попадающих в приемное устройство через этот открытый радиоканал. К источникам помех, в том числе, добавляются многочисленные источники электромагнитных излучений. Отсутствие модернизации средств проектирования в радиотехнической отрасли не отвечает современным требованиям качества проектных работ, что, в свою очередь, снижает эффективность систем автоматизации проектирования радиотехнической промышленности. Вопрос о повышении эффективности систем проектирования беспроводных сетей с учетом разнообразия услуг в сетях новых поколений становится чрезвычайно сложным. Основная задача, которая стоит перед радиотехнической промышленностью, заключается в создании научных основ построения систем автоматизации проектирования.

Эффективность систем автоматизации проектирования радиотехнической промышленности заключается в создании современных методов моделирования беспроводных магистральных сетей передачи данных.

В данной работе за счет использования средств вычислительной техники и информационных технологий совершенствуются процессы автоматизации проектирования линий связи по критериям показателей качества, сокращаются сроки разработки и ввода в эксплуатацию объектов связи за счет реализации жизненного цикла «проектирование-производство-эксплуатация»

радиоканале, и позволяющая более точно производить расчет качественных характеристик проектируемых объектов связи радиотехнической промышленности;

2) алгоритм автоматизированного проектирования радиорелейных линий связи, обеспечивающий реализацию жизненного цикла «проектирование-производство-эксплуатация» оборудования радиорелейных линий;

3) программное обеспечение для автоматизации проектирования радиорелейных линий связи с использованием объектно-ориентированного языка программирования Java, позволяющее повысить эффективность проектирования за счет увеличения точности рассчитываемых качественных показателей, а также сокращения затрат на трудовые и материальные ресурсы проектирования и пуско-наладки объектов связи радиотехнической промышленности;

4) организация единого информационного пространства, позволяющая объединить средства автоматизации проектирования со средствами эксплуатации радиорелейного оборудования;

5) результаты апробации автоматизации проектирования радиорелейных линий связи на объектах связи и в учебном процессе.

Новизна:

1) усовершенствована математическая модель радиорелейной сети, учитывающая различные виды модуляции несущего радиосигнала за счет использования полученных экспериментальных значений поправочного коэффициента;

2) разработан и исследован алгоритм, обеспечивающий реализацию жизненного цикла «проектирование-производство-эксплуатация» оборудования радиорелейных линий;

3) разработано программное обеспечение для автоматизации проектирования радиорелейных линий связи, позволяющее использовать выходные данные проектирования для пуско-наладочных работ и эксплуатации линий связи;

4) предложена объединяющая среда для организации информационного пространства, позволяющая совместить средства автоматизации проектирования со средствами эксплуатации радиорелейного оборудования.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается методологической базой исследования, основанной на теоретических положениях в области систем автоматизации проектирования, корректным использованием математического моделирования, достаточным объемом экспериментальных исследований, полученных применением современных приборов и оборудования, обеспечивающих требуемую точность и надежность результатов, положительным опытом внедрения алгоритма автоматизации проектирования радиорелейных линий связи в работе предприятия и организации радиотехнической промышленности.

Практическая значимость результатов работы заключается в повышении эффективности автоматизации проектирования линий связи по

критериям показателей качества и в создании научных основ реализации жизненного цикла «проектирование-производство-эксплуатация», основанных на использовании предложенных методов математического моделирования радиорелейных линий связи, а также положенного в основу алгоритма, включающего современные технологические решения проектирования и ввода в эксплуатацию радиорелейных линий связи. Это позволяет повысить эффективность проектирования радиорелейных сетей, улучшить их качественные характеристики, а также сократить затраты, сроки создания и ввода в эксплуатацию новых объектов связи радиотехнической промышленности. Результаты работы используются организациями радиотехнической отрасли, что подтверждается актом внедрения на применение программного модуля автоматизированного проектирования в ОАО «МегаФон».

Апробация работы. Результаты работы докладывались на научных конференциях и семинарах. Основные положения и результаты диссертации доложены: на VII-й Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Молодежь и современные информационные технологии» в городе Томске (2009 г.), на XI-й Международной научно-технической конференции «Информационно-вычислительные технологии и их приложения» в городе Пенза (2010 г.), в журнале «Вестник Воронежского государственного технического университета», в журнале «Автоматизация и современные технологии», в журнале «Омский научный вестник», в журнале «Инженерный вестник Дона».

Публикации. Основные результаты проведенных исследований опубликованы в 10 научных работах, среди которых в изданиях из перечня ВАК 5 статей.

Структура и объем диссертационной работы. Работа состоит из введения, четырех глав и заключения, изложенных на 118 страницах, и включает в себя 8 таблиц, 26 рисунков. Библиографический список содержит 125 наименований. Приложение представлено на 3 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность, сформулирована цель исследований, научная новизна, основные защищаемые положения, практическая значимость работы.

В первой главе «Обзор и сравнительный анализ средств и методов автоматизации проектирования в радиотехнической промышленности» на основании научных источников дается анализ существующих средств автоматизации проектирования беспроводных сетей.

Были проанализированы существующие системы проектирования радиорелейных линий связи (РРЛ), используемые в современной радиотехнической отрасли. Большинство из них представлено зарубежными разработками, которые отличаются высоким технологическим оснащением, большими функциональными возможностями. Используемые алгоритмы и методы проектирования зарубежных САПР наиболее полно удовлетворяют

современным тенденциям развития радиотехнической отрасли, но и они далеки от совершенства. Технический прогресс не стоит на месте, появляются новые технологии, протоколы, виды модуляции. При этом значимо, чтобы используемые средства автоматизации проектирования в полной мере соответствовали этим изменениям в радиотехнической отрасли. Использование зарубежных программных продуктов автоматизации проектирования линий связи, не соответствует стандартам, принятым на территории РФ. Это связано с особенностями используемых технических средств, рельефа местности, климата. Ввиду того, что большинство систем автоматизации проектирования предназначены для коммерческого использования, научные положения, методы и алгоритмы, положенные в основу этих систем, недоступны для изучения и дальнейшего совершенствования. Отечественные же средства автоматизации проектирования устарели и не соответствуют постоянно меняющимся технологиям. До сих пор существуют организации радиотехнической отрасли, которые при проектировании цифровых радиорелейных линий связи используют модели и методы проектирования аналоговых РРЛ, а в некоторых случаях проектирование осуществляется без использования средств автоматизации и ЭВМ. В условиях современной информатизации общества это недопустимо, поэтому очень важно развивать научную базу отечественных систем автоматизированного проектирования. В противном случае мы рискуем всецело зависеть от использования западных технологий проектирования. Уже сейчас большинство организаций радиотехнической отрасли при проектировании РРЛ отдают свое предпочтение зарубежному оборудованию таких фирм, как Nec, Huawei, Ericsson, Nokia, Motorola.

Развитие автоматизации проектирования линий связи замедляется не только отсутствием научных достижений и инженерных идей, но и сроками реализации и не всегда удовлетворительным качеством и эффективностью разработки.

Проведенный обзор отечественного и зарубежного опыта в сфере автоматизированного проектирования объектов связи и других радиотехнических устройств позволил сформировать цели и задачи диссертационного исследования.

Во второй главе «Математическая модель радиорелейных линий связи» представлено моделирование радиоканала проектируемой радиорелейной линии связи. Использование математической модели радиоканала, соответствующей современному техническому развитию в алгоритмах автоматизации проектирования объектов радиотехнической промышленности, позволяет создавать эффективно функционирующее программное обеспечение автоматизированного проектирования радиорелейных линий связи.

Моделирование радиоканала заключается в расчете качественных показателей каждого интервала проектируемой радиорелейной сети. Задача расчёта состоит в определении работоспособности радиорелейных линий (РРЛ) на местности для обеспечения заданного качества связи по линиям связи.

Расчет является самым сложным и трудоемким этапом процесса проектирования, и с появлением новых современных технологий возникает необходимость его автоматизации и использования вычислительной техники.

Для расчета качественных показателей проектируемых линий связи используются исходные данные: тип оборудования, используемый при проектировании линий связи, его технические параметры: диапазон рабочих частот $f_{\text{н}} \dots f_{\text{в}}$, мощность передающего устройства $P_{\text{пер}}$, коэффициент шума приемного устройства $\Pi_{\text{ш}}$, коэффициент усиления антенны $G_{\text{А}}$, ослабление сигнала в антенно-фидерном тракте $W_{\text{ф}}$; требуемые показатели качества линии связи; количество интервалов радиорелейной сети.

К качественным показателям радиорелейных линий связи относятся: достоверность передачи информации $Q_{\text{д}}$ и вероятность ошибки передачи радиосигналов $P_{\text{ош}} = 1 - Q_{\text{д}}$.

Качество линии связи связано с изменениями радиосигнала под воздействием помех на отдельном интервале линии связи. Поэтому необходимо выполнять расчет каждого отдельно взятого интервала. Расчет интервала для определения работоспособности с заданным качеством производится на основе формул, которые связывают технические параметры передающего оборудования проектируемых интервалов с качественными характеристиками этих интервалов.

Уравнение, связывающее мощность радиосигнала (см. рисунок 1) на входе приёмного устройства с энергетическими параметрами линии связи, затуханием радиоволн на радиорелейном интервале, называется уравнение передачи:

$$P_{\text{пр}}(t) = P_{\text{пер}} - W_{\text{ф пер}} + G_{\text{А пер}} + G_{\text{А пр}} - W_{\text{ф пр}} - W(t)_{\text{мед}} \quad (1)$$

где $P_{\text{пр}}(t)$ – мощность принимаемого сигнала, дБ,

$P_{\text{пер}}$ – мощность передающего устройства, дБ,

$W_{\text{ф пер(пр)}}$ – затухание радиоволн в антенно-фидерных трактах, дБ,

$G_{\text{А пер(пр)}}$ – коэффициент усиления антенны передающей/приёмной, дБ,

$W(t)_{\text{мед}}$ – медианное затухание радиоволны без учета замираний в свободном пространстве, дБ.

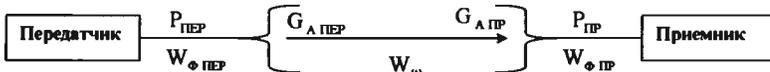


Рисунок 1. Модель радиоканала.

Для вычисления медианной мощности по формуле (1) выбирается координаты размещения проектируемых линий связи на карте местности. Профиль местности интервала радиорелейных линий связи позволяет произвести расчет ослабления сигнала, вносимого рельефом местности на заданном интервале. Профиль интервала представляет собой вертикальный разрез местности между двумя соседними радиорелейными станциями. Профиль получается путем соединения соседних высотных отметок местности,

отложенных от условно принятого нулевого уровня, вдоль линии, соединяющей станции. Затем рассчитывается медианное ослабление радиоволн $W_{\text{МЕД}}$ (без учёта замираний) на отдельном интервале радиорелейной линии, определяется значение медианной мощности сигнала на входе приёмного устройства $P_{\text{ПРМЕД}}$ отдельного интервала.

Расчёт затухания радиоволны заключается в определении ослабления в открытом пространстве $W_{\text{СВ}}$ и ослаблении, которое вносит рельеф местности $W_{\text{р}}$.

$$W_{\text{МЕД}} = W_{\text{СВ1}} + W_{\text{р1}}. \quad (2)$$

Значение затухания радиоволн в открытом пространстве $W_{\text{СВ1}}$ определяется из выражения:

$$W_{\text{СВ1}} [\text{дБ}] = 122 + 20 \lg \frac{R_{\text{КМ}}}{\lambda_{\text{СМ}}}, \quad (3)$$

где $R_{\text{КМ}}$ - длина интервала РРЛ, км,

$\lambda_{\text{СМ}}$ - длина волны интервала РРЛ, см.

Значение ослабления радиосигнала $W_{\text{р1}}$ вносимое рельефом рассматриваемой территории, определяется после построения профиля линии связи на местности:

$$W_{\text{р1}} [\text{дБ}] = -10 \lg (1 + \Phi_{\text{эф}}^2 - 2\Phi_{\text{эф}} \cos \frac{\pi}{\lambda \Delta} h^2), \quad (4)$$

где $\Phi_{\text{эф}}$ - эффективный коэффициент отражения радиосигнала от подстилающей поверхности. Коэффициент зависит от поверхности и диапазона рабочих частот.

h - относительное значение просвета в точке отражения, определяется из профиля линии связи на местности, м.

Расчет составляющей неустойчивости связи в условиях атмосферной рефракции радиоволн вычисляется:

$$P_{\text{ктерсф}} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} (a_1 t + a_2 t^2 + a_3 t^3 + a_4 t^4 + a_5 t^5) \exp \left(-0.5 \left[\frac{1-g}{\sigma} \right]^2 \right), \quad (5)$$

где $t = 1/(1 + 0,23n)$,

n - число резервных каналов проектируемой линии связи,

$a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, \sigma$ - табличные значения климатической зоны региона,

g, σ - табличные значение эффективного градиента диэлектрической проницаемости воздуха выбранной климатической зоны.

Величина запаса селективного замирания определяется из выражения:

$$F_{\text{сма}} = -20 \lg \left(\frac{\pi \cdot C}{\sqrt{12} f} F(M) \right), \quad (6)$$

где C - скорость передачи, Мбит/с,

f - частота радиосигнала, ГГц,

$F(M)$ - функция, зависящая от вида модуляции и числа уровней модуляции M :

$$F(M) = \frac{\sqrt{M} - 1}{\log_2 M}, \text{ для цифровых систем с решетчато-кодовой модуляцией,}$$

$$F(M) = \frac{1}{\text{tg}(\pi/M) \log_2 M}, \text{ для цифровых систем с фазовой модуляцией.}$$

Значение мощности сигнала на входе приёмного устройства необходимое для обеспечения качества связи на линии, называемое реальной чувствительностью приёмного устройства $P_{рч}$, зависит от выбора режима работы линии связи, типа сигнала, передаваемого по радиотракту. Реальная чувствительность $P_{рчпр}$ определяется с учётом исходных данных, таких как: вероятность появления ошибки $P_{оми}$; требований к стабильности связи по замиранию H %; наибольшего числа интервалов в линии M .

При согласованном приёме сигнала реальная чувствительность $P_{рч}$ определяется для отдельного интервала с учетом требований к достоверности передачи. При заданном типе манипуляции несущего сигнала и заданному значению вероятности ошибки $P_{оми}$ на интервале линии связи можно определить отношение сигнал-шум (SNR) на входе приемника по графику зависимости $P_{оми} = f(\text{SNR})$ (рисунок 2).

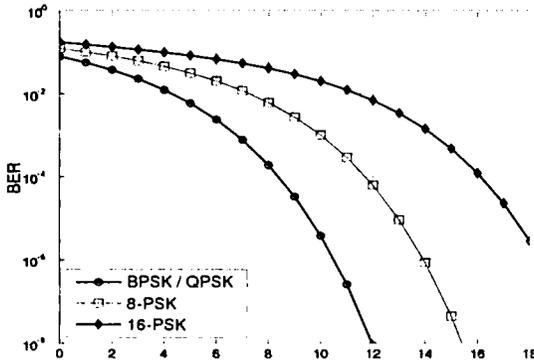


Рисунок 2. График зависимости вероятности ошибки от соотношения сигнал-шум.

Суммарное накопление ошибок в линии связи:

$$P_{оми\Sigma} = \sum_{i=1}^M P_{оми} \quad (7)$$

где $P_{оми}$ - вероятность ошибок на отдельном интервале.

SNR - отношение сигнал-шум на входе приемного устройства. Определяется по формуле:

$$\text{SNR} = \frac{P_{рч}}{N_m k T \Delta f_{np}}, \quad (8)$$

$P_{рч}$ - реальная чувствительность приёмного устройства, Вт,

$\Delta f_{\text{пр}}$ - номинальная полоса пропускания приёмного устройства, Гц,

$\Pi_{\text{ш}}$ - коэффициент шума приёмного устройства,

Заданный уровень сигнала на входе приёмного устройства, т. е. его реальная чувствительность $P_{\text{рч}}$ определяется из выражения:

$$P_{\text{рч}} = K_n \text{SNR} \Pi_{\text{ш}} k T \Delta f_{\text{пр}}, \quad (9)$$

где K_n - поправочный коэффициент.

Запас уровня высокочастотного сигнала q_i на отдельном интервале:

$$q_i = P_{\text{прмед}i} - P_{\text{рч}i}. \quad (10)$$

В математической модели радиоканала проектируемой радиорелейной линии при расчете реальной чувствительности приемника радиорелейного интервала используется поправочный коэффициент K_n . Коэффициент был получен экспериментально, путем многократных измерений уровней принимаемого сигнала на различном оборудовании, с различными частотами, модуляциями, пропускной способностью и вычислением соотношения полученных данных к расчетным. Измерение уровня принимаемого сигнала осуществлялось при помощи вольтметра и данных блоков управления радиорелейным оборудованием в различные периоды времени суток в течение года. Для каждого эксперимента было произведено не менее 30 измерений. Наличие ошибок в радиотракте контролировалось прибором тестирования транспортных сетей «Астеп» путем постановки шлейфов на кроссе конечного оборудования. Для определения средних значений полученных данных использовались методы первичной статистической обработки результатов эксперимента.

В таблице 1 приведены основные технические характеристики тестируемого радиорелейного оборудования.

Таблица 1. Технические характеристики используемого радиорелейного оборудования.

Выходная мощность, мВт	21dBm (126 мВт)					
Частотный диапазон, МГц	7912-8395, 12751-13241, 21224-23578					
Шаг каналов, МГц	266, 266, 1232					
Дуплексный метод	с частотным разделением каналов					
Чувствительность, dBm	75	71	67	63	60	55
Скорость модуляции, Mbps	20	40	40	60	80	155
Модуляция	QPSK	QPSK	16QAM	16QAM	32QAM	128QAM

В процессе проведения эксперимента была получена диаграмма зависимости скорости передачи информации от расстояния между элементами интервалов РРЛ на частотах 8, 13, 23 ГГц. (рисунок 3).

Из множества полученных измерений для выбранной модуляции и полосы пропускания выбиралось медианное значение поправочного коэффициента. На основе результатов эксперимента были получены значения поправочного коэффициента от пропускной способности интервала РРЛ (таблица 2).

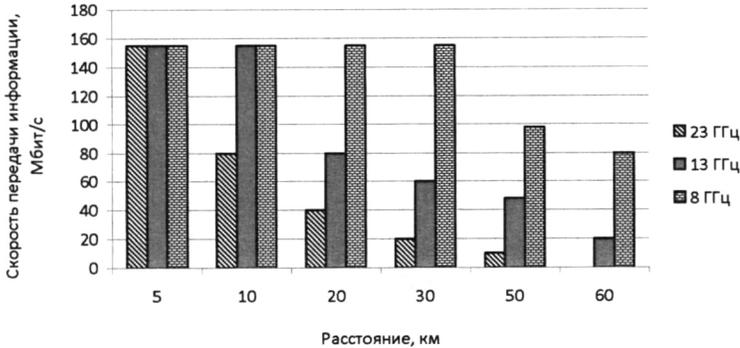


Рисунок 3. Диаграмма зависимости скорости передачи информации от расстояния между элементами интервала РРЛ.

Таблица 2. Экспериментальные значения поправочного коэффициента.

Тип модуляции	QPSK	16QAM	32QAM	128QAM
Максимальная скорость модуляции, Mbps	40	60	80	155
Поправочный коэффициент	0,975	0,925	0,815	0,746

Данная зависимость показывает, что с увеличением уровней модуляции, а, следовательно, и с увеличением пропускной способности радиорелейных интервалов, уменьшается уровень принимаемого сигнала, снижается помехоустойчивость. Это негативно сказывается на качественных показателях интервалов радиорелейных линий связи. Полученные экспериментальные данные позволяют учесть данный фактор в алгоритме программного модуля автоматизированного проектирования интервалов РРЛ, тем самым обеспечивая расчетное значение уровня принимаемого сигнала близким к измеренному значению на радиорелейном оборудовании. Существующие математические модели в полной мере не учитывают влияние различных уровней модуляции на качественные характеристики проектируемых интервалов.

Использование данной математической модели радиоканала проектируемой РРЛ увеличивает точность производимых расчетов качественных показателей интервалов РРЛ. Это позволяет размещать проектируемые объекты радиотехнической промышленности оптимально, исключая риск неверного размещения узлов связи, что, в свою очередь, снижает ошибки, связанные с проектированием РРЛ интервалов, их пусконаладкой, интеграцией, эксплуатацией, тем самым увеличивая эффективность их функционирования.

В третьей главе «Алгоритмы автоматизации проектирования радиорелейных линий связи» представлен обобщенный алгоритм, включающий в себя алгоритм расчета интервала радиорелейной линии связи, алгоритм анализа структуры и емкости интервалов радиорелейной сети, алгоритм преобразования данных проектирования в конфигурационные файлы и исполнительную документацию.

В основе эффективно функционирующей системы автоматизации проектирования радиорелейных линий связи должен лежать алгоритм, удовлетворяющий современному техническому развитию радиотехнической отрасли. Существующие алгоритмы автоматизированного проектирования в силу отсутствия достаточной научной базы не дают возможности должным образом проектировать линии связи.

Данный алгоритм позволяет автоматизировать самый трудоемкий процесс проектирования - расчет качественных показателей радиоканала радиорелейных линий связи. Положенная в основу усовершенствованная математическая модель радиоканала моделирует изучаемый радиорелейный интервал. Анализ радиоканала выявляет закономерности и особенности проектирования радиорелейных интервалов. Наиболее полно последовательность операций разработанных алгоритмов отражена в блок-схеме (рисунок 4).

Помимо расчета качественных характеристик проектируемых объектов радиотехнической промышленности, алгоритм позволяет автоматизировать процесс пуско-наладочных работ и ввода в эксплуатацию линий связи. Большинство алгоритмов построены на принципе проектирования одного радиорелейного интервала. Данный же алгоритм позволяет проектировать радиорелейные линии связи в целом с анализом структуры, вводимых данных, целостности элементов, соединений. Анализ и синтез полученных результатов дают возможность описать всю радиорелейную сеть в целом. На основе имеющихся данных формируется необходимая проектно-исполнительная документация на проектируемую радиорелейную сеть. В базу данных выгружаются необходимые конфигурации проектируемых элементов радиорелейной линии связи. В последующем база данных конфигурационных настроек используется для эксплуатации проектируемых радиорелейных интервалов, что позволяет автоматизировать процесс настройки оборудования радиотехнической отрасли и перейти на электронные носители информации. Сокращается необходимое время запуска в эксплуатацию проектируемых радиорелейных интервалов, затраты, квалификация рабочего персонала.

Для практической реализации предложенного алгоритма разработано программное обеспечение автоматизированного проектирования, которое успешно применяется организациями радиотехнической отрасли сибирского региона. С использованием данного алгоритма спроектировано и успешно эксплуатируется 63 радиорелейных интервала.

Для практической реализации предложенного алгоритма разработано программное обеспечение автоматизированного проектирования, которое успешно применяется организациями радиотехнической отрасли сибирского региона. С использованием данного алгоритма спроектировано и успешно эксплуатируется 63 радиорелейных интервала.

В четвертой главе «Программное обеспечение автоматизации проектирования радиорелейных линий связи» рассмотрены вопросы

практического применения математической модели и алгоритма автоматизации проектирования радиорелейных линий связи.

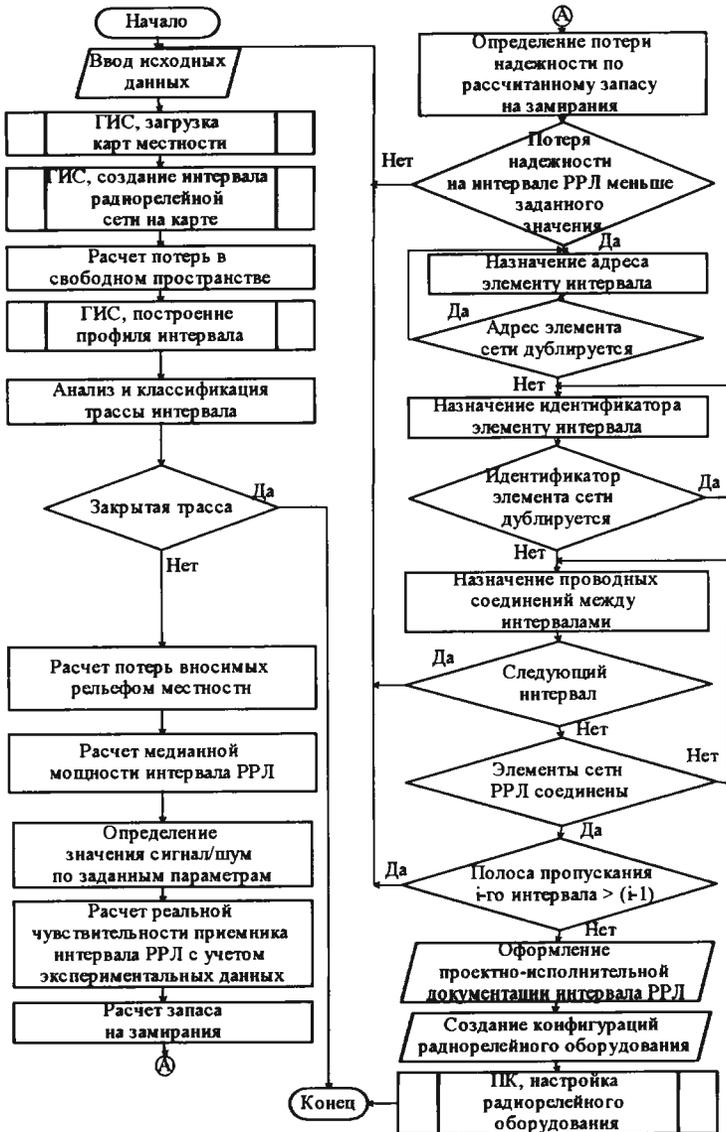


Рисунок 4. Блок-схема алгоритма автоматизации проектирования радиорелейных линий связи.

Программное обеспечение проектирования линий связи представляет собой комплекс средств автоматизации проектирования радиорелейных линий

связи, используемых техническими специалистами радиотехнической отрасли. Примерами таких систем являются широко распространенные в сфере радиотехнической промышленности комплексы Radio Planning System2 (RPS2), Omega RPLS. Эти программные комплексы в своих расчетах получают лишь приближенные значения, и в большинстве своем носят чисто условный характер. Кроме того, они позволяют лишь автоматизировать расчет проектируемых интервалов, используя в своих алгоритмах устаревшие математические модели (рисунок 5).

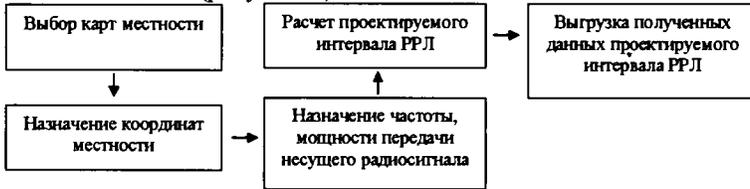


Рисунок 5. Маршрут проектирования типового программного продукта проектирования радиорелейных линий связи, на примере RPS2.

Создание математического описания радиоканала проектируемой радиорелейной сети и алгоритма автоматизированного проектирования является базой для разработки программного обеспечения автоматизированного проектирования линий связи по критериям качества. Усовершенствованная математическая модель радиоканала с использованием экспериментальных данных позволяет производить расчет качественных характеристик радиорелейного интервала максимально точно.

Разработанное программное обеспечение помимо расчета проектируемых радиорелейных линий связи позволяет представить радиорелейную сеть в целом, а также автоматизировать жизненный цикл «проектирование-производство-эксплуатация» за счет создания единой электронной информационной среды проектирования и эксплуатации радиорелейного оборудования (рисунок 6).

Программное обеспечение написано на объектно-ориентированном языке программирования Java. В разработанном алгоритме большая часть используемой и полученной информации хранится в базе данных, которая может пополняться по мере обновления используемого оборудования. Также для информационного обеспечения проектирования используются данные геоинформационных систем.

Результатом работы программного обеспечения является формирование рабочей документации радиорелейных линий связи. Использование математического и информационного обеспечения позволяет создавать и выводить на требуемый носитель в необходимом для проектировщика формате проектно-исполнительную документацию и паспорт проектируемого радиорелейного интервала.

Для использования характеристик местного ландшафта в расчетах радиорелейных интервалов, в частности, ослабления уровня сигнала, вносимого

рельефом местности, используется привязка проектируемого объекта к географическим координатам местности. В настоящее время представлено большое количество географических информационных систем (ГИС), поэтому целесообразно использовать в алгоритме базу данных уже существующих ГИС. По этой причине собственной географической информационной системы в алгоритме не предусмотрено. Проектируемые элементы интервалов РРЛ схематично размещаются и соединяются условными линиями связи, указываются все необходимые технические данные для данных объектов.

Программное обеспечение позволяет производить расчеты качественных характеристик радиоканала проектируемого интервала РРЛ, анализировать полученные результаты, сравнивать с допустимыми нормируемыми показателями и, в случае успешно выполненной операции, сохранять все данные об объекте проектирования.

После успешного размещения элементов проектируемой радиорелейной сети производится анализ размещения каждого элемента сети, целостность указанных линий связи и целесообразность выбора оборудования данного типа. В случае наличия ошибок проектирования, допущенных оператором, в программном обеспечении предусмотрена возможность их исправления. После всех этих операций на основе полученной информации проектировщика, баз данных и расчетов создается проект радиорелейной сети.

Отличительной особенностью данного программного обеспечения является возможность проведения анализа всех элементов РРЛ, а не только расчет качественных характеристик одного конкретного интервала РРЛ, что позволяет говорить о проекте радиорелейной сети, а не одного интервала.

Использование результатов расчета позволяет не только оформить проектно-исполнительную документацию, но и автоматизировать пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию проектируемых линий связи. Современное оборудование радиотехнической отрасли имеет интегрированные интерфейсы, которые можно использовать для автоматизации жизненного цикла «проектирование-производство-эксплуатация» объектов связи. Для этого выходные данные результатов работы программного обеспечения при проектировании линий связи преобразуются в конфигурационные файлы каждого элемента РРЛ и используются для настройки оборудования радиорелейных линий связи, что существенно снижает время, расходы на интеграцию объектов проектирования. Кроме того, конфигурации проектируемых элементов РРЛ содержат информацию, необходимую в системе управления радиорелейной сетью. При интеграции объектов связи данные конфигурационные файлы загружаются в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) оборудования, тем самым производя его настройку в соответствии с проектом радиорелейной сети. Поскольку в алгоритме проектирования радиорелейная сеть представлена, как единая информационная среда, каждый элемент радиорелейной сети после загрузки конфигурации в ПЗУ содержит уникальное имя и адрес в локальной вычислительной сети. По

этому адресу и осуществляется мониторинг, контроль, управление радиорелейным оборудованием со стороны оператора системы управления.

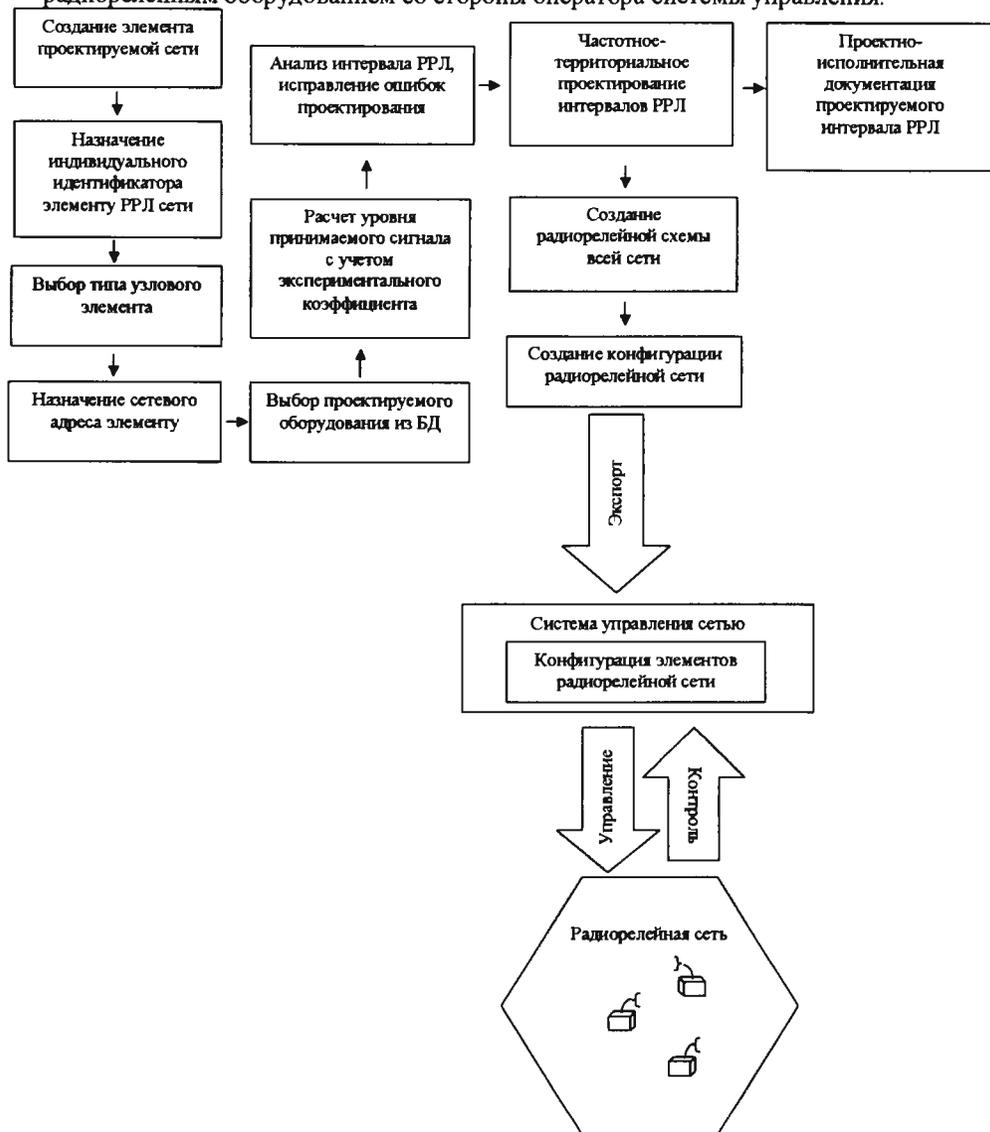


Рисунок 6. Маршрут проектирования.

В заключении приведены основные результаты диссертационной работы:

1) усовершенствована математическая модель радиорелейной сети, учитывающая различные виды модуляции несущего радиосигнала за счет использования полученных экспериментальных значений поправочного коэффициента. Получены следующие значения коэффициента: для модуляции QPSK при скорости передачи в радиоканале до 40 Мбит/с значение коэффициента 0,975, для модуляции 16QAM при скорости передачи до 60 Мбит/с – 0,925, для модуляции 32QAM при скорости передачи до 100Мбит/с – 0,815, для модуляции 128QAM при скорости передачи до 155Мбит/с – 0,746;

2) разработан и исследован алгоритм, включающий технологические решения систем автоматизации проектирования и научные основы реализации жизненного цикла «проектирование-производство-эксплуатация» линий связи в радиотехнической промышленности;

3) разработано программное обеспечение для автоматизации проектирования радиорелейных линий связи, позволяющее повысить эффективность проектирования за счет увеличения точности рассчитываемых качественных показателей, а также сокращение затрат на трудовые и материальные ресурсы проектирования и пуско-наладки объектов связи радиотехнической промышленности путем реализации жизненного цикла «проектирование-производство-эксплуатация» линий связи. Точность полученных качественных показателей проектируемых радиорелейных линий, таких как уровень принимаемого сигнала, увеличилась на 13 % и составляет 95 %. Это позволило при необходимости увеличивать расстояние между проектируемыми станциями связи без изменения значения помехоустойчивости до 14 км;

4) предложена объединяющая среда для организации информационного пространства, позволяющая совместить средства автоматизации проектирования со средствами эксплуатации радиорелейного оборудования. Это позволило реализовать жизненный цикл «проектирование-производство-эксплуатация» линий связи, что сократило трудовые ресурсы на 54 %, материальные затраты на проектирование и эксплуатацию радиорелейного оборудования на 45 %. Экономический эффект применения данной разработки составил 409690 руб.;

5) выполнена апробация автоматизированного проектирования радиорелейных линий связи на объектах связи и в учебном процессе. Данная разработка с 2009 года применяется при проектировании линий связи компании ОАО «МегаФон». В настоящее время спроектировано и успешно эксплуатируется 63 радиорелейных интервала.

Предложенные в работе решения на основе методов моделирования и инженерного анализа соответствуют современному развитию автоматизации проектирования линий связи радиотехнической промышленности. На основании полученных заключений можно сделать вывод о необходимости применения полученных результатов исследования на объектах связи и в учебном процессе.

Список публикаций по теме работы

В изданиях из списка ВАК:

1. Иволгин, А. А. Модернизация структуры сетей сотовой связи / А. А. Иволгин, А. Г. Янишевская // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 2. С. – 32 – 39 (соискатель – 80%).
2. Иволгин, А. А. Модуль транспортной сети / А. А. Иволгин // Омский науч. вест. – Омск. – 2011. – № 1. – С. 168 – 171.
3. Иволгин, А. А. Повышение производительности сетей сотовой связи / А. А. Иволгин // Вест. Воронеж. гос. техн. ун-та. – 2010. – № 3. – С. 92 – 98.
4. Иволгин, А. А. Транспортная составляющая сотовой связи третьего поколения / А. А. Иволгин, А. Г. Янишевская // Автоматизация и современные технологии. – 2010. – № 8. – С. 32 – 37.
5. Иволгин, А. А. Алгоритм автоматизированного проектирования радиорелейных линий связи в радиотехнической промышленности [Электронный ресурс] // Инженерный вестник Дона: Электронный журнал. – 2012. – Режим доступа: <http://www.ivdon.ru/magazine/archive/n1y2012/695/>.

В других изданиях:

1. Алгоритм автоматизации проектирования радиорелейных линий связи в радиотехнической промышленности / А.А. Иволгин, Янишевская А.Г. // свидетельство о регистрации электронного ресурса. М: ИНИПИ РАО ОФЭРНИО, 2012. - №18476 (соискатель – 80%).
2. Иволгин, А. А. Измерение и анализ параметров цифровых транспортных сетей физического уровня сетевой модели / А. А. Иволгин // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: тез. докл. XI Междунар. науч.-техн. конф. – Пенза. – 2010. – С. 80 – 83.
3. Иволгин, А. А. Оптимизация сетей сотовой связи с помощью автоматизированной системы / А. А. Иволгин, Янишевская А. Г. // Молодежь и современные информационные технологии: тез. докл. VII Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов, и молодых ученых. – Томск, 2009. – С. 31 – 33 (соискатель – 65%).
4. Использование программных продуктов при проведении практики у студентов по специальности САПР / А. А. Иволгин [и др.] // Графические коммуникации в технике и дизайне: сб. матер. Всерос. науч.-практ. конф. – Тюмень, 2006. – С. 83 – 85.
5. Программный модуль автоматизации проектирования радиорелейных линий связи в радиотехнической промышленности / А.А. Иволгин, Янишевская А.Г. // свидетельство о регистрации электронного ресурса. М: ИНИПИ РАО ОФЭРНИО, 2012. - №18477 (соискатель – 80%).

Подписано в печать 04.03.2013

Бумага офсет.

Оперативный способ печати.

Заказ №8226. Тираж 100 эк.з

Отпечатано в полиграфия «LIFE», ИП Кузьмин В.В.
г. Владимир, ул. 850-летия Владимира, т.: (4922)37-03-49

10 2