

**НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КЫРГЫЗСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

**ИНСТИТУТ АВТОМАТИКИ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КЫРГЫЗСКО-РОССИЙСКИЙ СЛАВЯНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. Б. ЕЛЬЦИНА**

Диссертационный совет Д.05.16.532

На правах рукописи
УДК: 621.397.6;004.7(575.2)(043.3)

КУЦЕВ ЕВГЕНИЙ ВИТАЛЬЕВИЧ

**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ
МЕТОДОВ РАСЧЕТА СЕТИ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО
ТЕЛЕВИЗИОННОГО ВЕЩАНИЯ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ**

Специальность - 05.13.01

«Системный анализ, управление и обработка информации»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Бишкек – 2017

**Работа выполнена на кафедре «Радиоэлектроника» Кыргызского
Государственного Технического Университета им. И.Раззакова**

Научный руководитель: кандидат технических наук
Жумабаев Мыктарбек

Официальные оппоненты: доктор технических наук
Янко Дмитрий Владимирович

кандидат технических наук
Жайлообаев Нурмат

Ведущая организация: **Кыргызско-Турецкий
Университет «Манас»**

Защита состоится «23» июня 2017 г. в «13-00» на заседании диссертационного совета Д.05.16.532 при Институте автоматики и информационных технологий Национальной академии наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г. Бишкек, просп. Чуй, 265, ауд. 118.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национальной академии наук Кыргызской Республики по адресу: 720071, г. Бишкек, просп. Чуй, 265, «а» и на официальном сайте ИАИТ НАН КР по адресу: <http://www.iait.kg>

Автореферат разослан «22» мая 2017 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
Д.05.16.532, к.ф.-м.н



Г. К. Керимкулова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы диссертации. Существующая аналоговая сеть ТВ в Кыргызстане охватывает практически всю территорию республики, но развитие и доступность многопрограммного вещания для населения оставляет желать лучшего. Одной из основных причин является дефицит радиочастотного спектра для ТВ вещания. В результате происходит неравномерное распределение ТВ программ в различных населенных пунктах Кыргызстана: 1-2 ТВ программы в сельских районах и 12-15 ТВ программ в столице.

Переход на цифровое ТВ вещание способствует увеличению количества ТВ программ, поскольку в одном канале 8 МГц возможно передавать от 10 до 15 ТВ программ стандартной четкости и 1-2 ТВ программы высокой четкости, а также дополнительные сигналы радиовещания и данные. Высвобожденные частоты можно использовать для увеличения числа ТВ программ (как платных, так и бесплатных), либо использовать для нужд других служб. В результате снижается дефицит радиочастотного спектра.

Еще одной немаловажной причиной перехода КР на цифровое ТВ вещание является тот факт, что все страны мира переходят на цифровое ТВ вещание согласно плану «Женева-06».

Следующей причиной перехода на цифровое вещание является задача обеспечения максимальной помехоустойчивости при многолучевом приеме сигналов. При трансляции аналоговых ТВ сигналов по эфиру, на качество приема помимо атмосферных и промышленных помех сильно влияют переотраженные радиоволны и помехи от других радиопередатчиков, работающих в этом же частотном диапазоне в соседних местностях.

Применение цифрового телевидения снижает влияние выше перечисленных помех и обеспечивает ряд преимуществ по сравнению с аналоговым телевидением:

- Повышение помехоустойчивости трактов передачи и записи телевизионных сигналов;
- Уменьшение мощности передатчиков;
- Существенное увеличение числа ТВ программ, передаваемых в том же частотном диапазоне;
- Повышение качества изображения и звука в ТВ приёмниках;
- Создание ТВ систем с новыми стандартами разложения изображения (телевидение высокой чёткости);
- Расширение функциональных возможностей студийной аппаратуры;
- Передача в ТВ сигнале различной дополнительной информации;
- Создание интерактивных ТВ систем, при пользовании которыми зритель получает возможность воздействовать на передаваемую программу (например, видео по запросу);
- Введение дополнительных функций, таких как выбор языка и субтитров, архив ТВ-передач и запись ТВ-передач и т. д.

Все достоинства и преимущества цифрового телерадиовещания будут реализованы только при применении эффективных методик расчета напряженности электромагнитного поля в ходе проектирования сети ЦНТВ. Анализ известных методик расчета напряженности электромагнитного поля показал, что существующие методики предназначены для равнинных территорий, не имеющих сложный горный рельеф местности. Фактически отсутствуют эффективные методики расчета напряженности электромагнитного поля для полукрытых и закрытых участков распространения радиоволн, когда между передатчиком и приемником радиотелевизионных сигналов имеются горные или другие препятствия. Поэтому расчет напряженности электромагнитного поля на таких участках является очень важным для проектирования сети ЦНТВ. Для расширения зоны ЦНТВ, по результатам расчета напряженностей электромагнитного поля на данных участках, предварительно принимается решение о необходимости установки маломощных ретрансляторов радиотелевизионных сигналов с высокочувствительными приемниками.

Таким образом, задачи системного анализа и разработки эффективных методик расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания в горной местности являются актуальными.

На основании вышеизложенного можно сформулировать цель настоящей работы и определить основные задачи исследования.

Цель исследования. Целью данной работы является улучшение методов расчета напряженности электромагнитного поля при различных типах местности для обеспечения более точной оценки контролируемого показателя на основе системного анализа существующих методик, анализа возможности применения выявленных методик расчета с целью разработки эффективного алгоритма расчета напряженности электромагнитного поля в горной местности.

Основными задачами исследования являются:

- системный анализ существующих методик расчета напряженности электромагнитного поля сетей ЦНТВ с целью выявления их преимуществ и недостатков;
- анализ возможности применения выявленных методик расчета напряженности электромагнитного поля путем сравнения эмпирических и теоретических данных при их применении для ЦНТВ в условиях открытых, полукрытых и закрытых участков распространения радиоволн;
- разработка способов увеличения зоны обслуживания передатчиков ЦНТВ;
- разработка алгоритма расчета напряженности электромагнитного поля в горной местности.

Объектом исследования является цифровое наземное телевизионное вещание.

Предметом исследования являются методики расчета напряженности электромагнитного поля, способы увеличения зоны обслуживания передатчиков ЦНТВ, с целью максимального приближения теоретических и

экспериментальных значений вышеназванного параметра при проектировании сети ЦНТВ.

Научная новизна работы. В работе представлена совокупность методов расчетов электромагнитной напряженности поля, а также предложен алгоритм для эффективного расчета данного показателя в горной местности.

В диссертационной работе получены следующие новые научные результаты:

- проведен системный анализ методик расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания, на основе которого выполнена новая классификация методик расчета напряженности электромагнитного поля;

- проверена экспериментально возможность применения основных существующих методик расчета напряженности поля, определены наиболее удобные и эффективные методики;

- предложен и проверен экспериментально применительно к цифровому наземному телевизионному вещанию физический закон (закон Ламберта, оптика) для расчета напряженности электромагнитного поля при полном экранировании прямого и наличии отраженного радиосигнала;

- предложена и проверена существующая методика учета ослабления радиоволн препятствием путем его аппроксимации сферической поверхностью на полуоткрытых и закрытых трассах распространения радиоволн (для радиорелейных линий) применительно к цифровому наземному телевизионному вещанию;

- автором предложен новый способ увеличения зоны обслуживания (зоны покрытия) передатчика цифрового наземного телевизионного вещания за счет изменения угла наклона передающей антенны в вертикальной плоскости, теоретически определен коэффициент учета угла излучения антенны в вертикальной плоскости;

- автором разработан алгоритм расчета напряженности электромагнитного поля в горной местности.

Практическая значимость полученных результатов. Разработаны методики планирования сети цифрового наземного телевизионного вещания для открытых, закрытых и полужакрытых участков распространения радиоволн.

Экономическая значимость полученных результатов. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании сети цифрового наземного телевизионного вещания в Кыргызской Республике и в других странах с горным рельефом местности.

С помощью предложенных методов расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания возможен более точный расчет зоны уверенного приема цифровых телевизионных программ в теневых зонах на закрытых участках распространения радиоволн. Это приводит к более точному определению зоны обслуживания передатчика, и, следовательно, к уменьшению затрат на приобретаемое оборудование. Применение предложенных методик расчета сети дает возможность местным операторам

самостоятельно проектировать сеть цифрового наземного телевизионного вещания, не прибегая к дорогим услугам иностранных компаний.

Методы исследования. В работе использованы следующие методы исследований: линейная алгебра, аналитическая геометрия, теория связи, теория распространения радиоволн.

При проведении обработки полученной информации, полученной при проведении экспериментальных измерений, использовались пакеты прикладных программ MathCAD, EXEL, VISIO, GOOGLE EARTH.

Связь темы диссертации с крупными научными программами, основными научно-исследовательскими работами, проводимыми научными учреждениями. Диссертация выполнена в соответствии с постановлением Правительства Кыргызской Республики №692 от 02.11.2011 года «О переходе на цифровое телерадиовещание в Кыргызской Республики», а также согласно плану «Женева-06».

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

Для расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания в горной местности предлагается следующее:

- новая классификация методик расчета напряженности электромагнитного поля при проектировании сети цифрового наземного телевизионного вещания, позволяющая более эффективно использовать существующие методики;

- применение ранее известной методики расчета напряженности поля радиорелейных линий, с помощью учета ослабления радиосигнала реальным препятствием, путем его аппроксимации сферической поверхностью на полуоткрытых и закрытых трассах распространения радиоволн в новой совокупности применительно к цифровому наземному телевизионному вещанию, которая дает новый результат;

- применение ранее известного физического закона (закона Ламберта) применительно к цифровому наземному телевизионному вещанию, которое дает возможность прогнозировать напряженность электромагнитного поля за экранирующим препятствием при полном экранировании прямого и наличии отраженного радиосигнала;

- способ увеличения просвета местности, увеличения дальности радиовещания, а также возможности преобразования закрытых трасс распространения радиосигналов в полузакрытые или открытые путем изменения угла наклона передающей антенны в вертикальной плоскости;

- алгоритм расчета напряженности электромагнитного поля в горной местности, с введением в него поправок, для максимального приближения теоретических и эмпирических значений.

Личный вклад соискателя. Все представленные в диссертации результаты исследований получены лично автором либо при его непосредственном участии. В работах, опубликованных единолично и в соавторстве, автором получены теоретические и практические результаты, которые подтверждены экспериментальными измерениями.

Постановка задач, поиск путей их решения и системный анализ ранее известных научных результатов исследований, а также формирование итоговых выводов осуществлены автором под руководством научного руководителя.

В работе Жумабаеву М. Ж. принадлежит постановка задачи разработки методов расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания в высокогорных местностях, а основной объем работы принадлежит автору.

В совместных работах соавтору М. Жумабаеву, в совместной работе соавтору Б. И. Исмаилову принадлежат выявление проблемы и формулировки постановок задач, а основной же объем работы выполнен лично автором.

Апробация результатов диссертации. Основные результаты диссертационной работы докладывались на следующих научных конференциях:

- международная конференция «Проблемы управления и информационных технологий», г. Бишкек, Кыргызстан. 2015 г.

- X международный симпозиум «Фундаментальные и прикладные науки» (Российская академия наук), г. Бишкек, Кыргызстан. 2015 г.

- 14-я международная конференция «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр», г. Бишкек, Кыргызстан 2015 г.

Полнота отражения результатов диссертации в публикациях. По материалам диссертации опубликовано 8 научных работ, в том числе 4 – единоличных, 5 входящих в РИНЦ (2 зарубежные), 6 опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК КР. Разработаны методические указания «Проектирование сети цифрового наземного телевизионного вещания» к курсовому проектированию для студентов направлений «Радиотехника», «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» кафедры «Радиоэлектроника» Института Электроники и Телекоммуникаций при Кыргызском Государственном техническом университете имени И. Раззакова.

Структура и объем диссертации. Диссертация включает:

- введение;
- четыре главы;
- выводы;
- приложение.

Общий объем работы составляет 139 страниц, в том числе 51 рисунок и 19 таблиц. Список используемых источников содержит 63 наименования.

Диссертант выражает глубокую признательность научному руководителю к.т.н. М. Жумабаеву за оказанное содействие и консультации при выполнении диссертационной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи, научная новизна, практическая значимость и основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе проведен системный анализ методик расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания. На рис. 1 автором предложена новая классификация методик расчета напряженности электромагнитного поля, полученная в результате системного анализа.

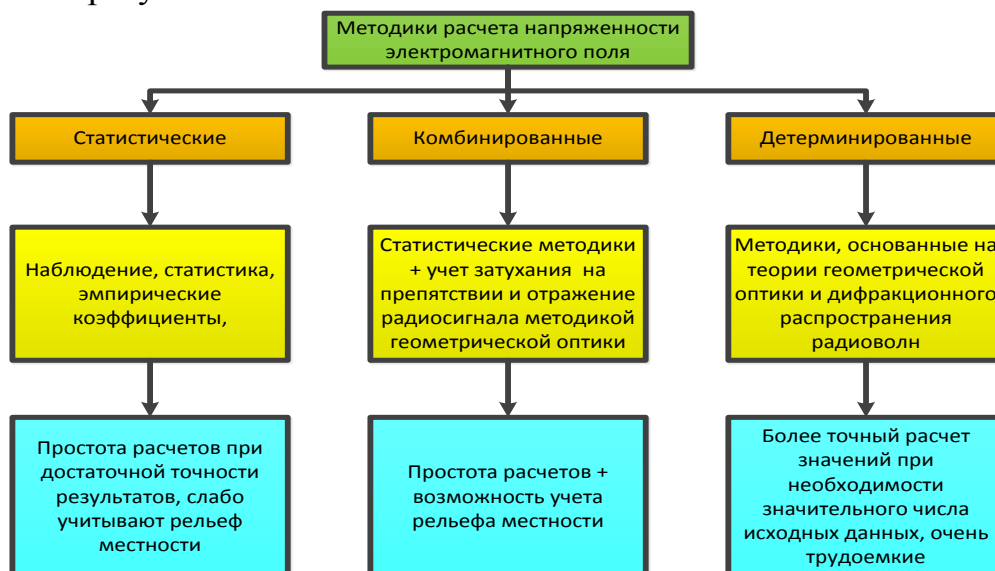


Рис.1 – Классификация методик расчета напряженности электромагнитного поля

При переходе на цифровое наземное телевизионное вещание в Кыргызской Республике остро стоит вопрос о прогнозировании зоны обслуживания на основе расчетов напряженности поля. Существуют методы расчета и прогнозирования уровней сигнала, но они не учитывают горный рельеф, либо в них используются эмпирические поправочные коэффициенты для конкретного рельефа местности и они не могут быть универсальными.

От точности прогнозирования напряженности поля полезного сигнала, а также отношений сигнал/шум, сигнал/интерференция на границе зоны обслуживания напрямую зависит цена на приобретаемое оборудование и качество работы всей сети ЦНТВ.

При снижении уровня полезного радиосигнала ниже минимального значения в цифровом телевизионном вещании резко происходит срыв приема цифрового сигнала, что характеризуется рассыпанием изображения на квадратики. В результате вышесказанного процент вероятности в месте приема на границе зоны обслуживания с минимальным уровнем радиосигнала необходимо выбрать не менее 70%.

Главным принципом определения зоны обслуживания является определение среднего значения и стандартного отклонения напряженности поля полезного сигнала и напряженности поля мешающих сигналов. Определение зоны обслуживания производится в большом количестве

местоположений в предполагаемой зоне обслуживания. Это позволяет вычислить процент обслуживаемых местоположений.

На рис. 2-4 показаны алгоритмы основных методик расчета напряженности электромагнитного поля.

Академиком Б. А. Введенским было доказано, что напряженность поля радиосигнала в месте расположения приемной антенны можно рассматривать как результат интерференции прямого (свободно распространяющегося в воздухе) и луча, отраженного от поверхности Земли и попадающего в приемную антенну. Из множества отраженных от поверхности Земли лучей только малая часть попадает в приемную антенну.

$$E_d = \frac{2,18 \cdot \sqrt{P \cdot D} \cdot H \cdot h}{\lambda \cdot R^2}, \text{ В/м} \quad (1)$$

где E_d – действующая напряженность поля, В/м;

P – мощность передатчика, Вт;

D – коэффициент усиления передающей антенны;

λ – длина волны, м;

R – расстояние между передающей антенной и точкой расчета, м.

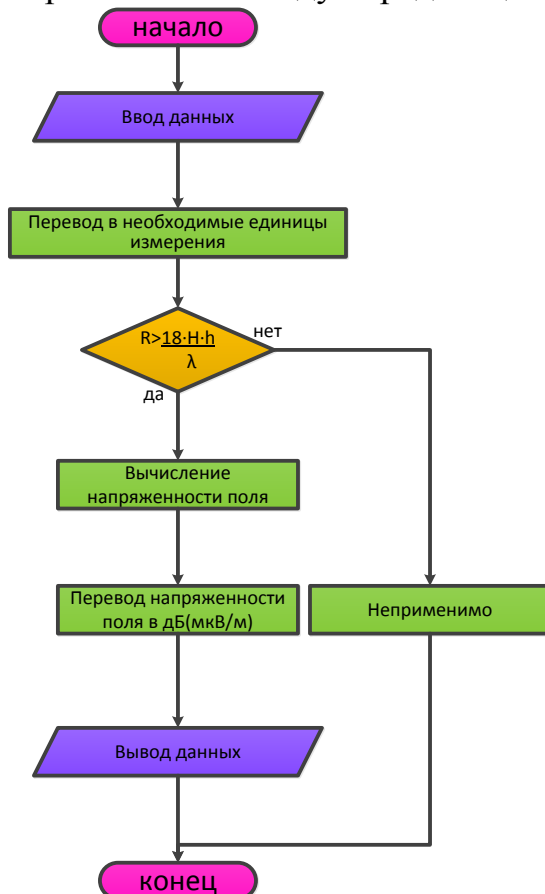


Рис. 2 – Алгоритм методики Введенского

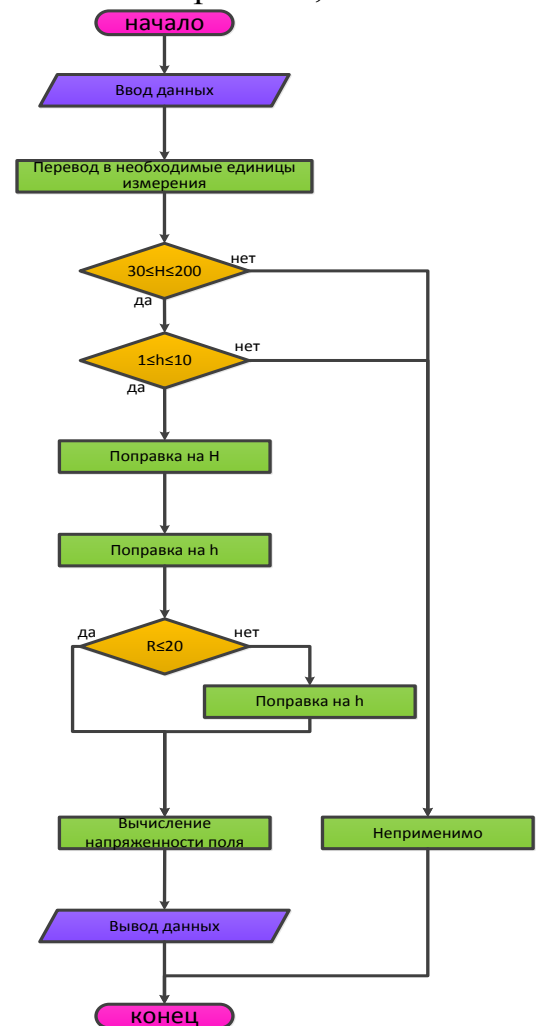


Рис. 3 – Алгоритм методики Окумура-Хата

Методика определения напряженности поля Окумура-Хата является статической методикой прогнозирования, которая не учитывает рельеф местности. В данной методике используются статические формулы затухания сигналов для разных типов застройки местности, такие как городская, пригородная, сельская.

$$E = 39,82 + P_{\text{эиим}} - 6,16 \log f + 13,82 \log H + a(h) - (44,9 - 6,55 \log H) \cdot (\log R)^b, \quad (2)$$

где E – напряженность поля, дБ(мкВ/м);

$P_{\text{эиим}}$ – эквивалентная изотропная излучаемая мощность, дБВт;

f – частота излучаемого сигнала, МГц;

H – высота подвеса передающей антенны над земной поверхностью, м;

h – высота подвеса приемной антенны над земной поверхностью, м;

$a(h)$ – поправочный коэффициент на высоту приемной антенны, дБ;

R – радиус зоны покрытия, км;

b – коэффициент, расширяющий действие модели для протяженной трассы.

На практике данная методика применяется в основном для расчета напряженности поля на небольшом расстоянии (10-15 км) в пределах города.

Рекомендация МСЭ-R P.1546 представляет приемлемый метод прогнозирования для сетей цифрового наземного телевизионного вещания. Но стоит отметить, что Рекомендация МСЭ-R P.1546 использует статический метод прогнозирования и не может прогнозировать участки радиотени, которые образуются в результате нахождения препятствия на пути распространения радиоволн.

$$E = E_{inf} + \frac{(E_{sup} - E_{inf}) \log \frac{f}{f_{inf}}}{\log \frac{f_{sup}}{f_{inf}}}, \quad (3)$$

где f – частота прогнозируемого радиосигнала;

f_{inf} – 100 МГц, при $f < 600$ МГц. В других случаях – 600 МГц;

f_{sup} – 600 МГц, при $f < 600$ МГц. В других случаях – 2000 МГц;

E_{inf} – напряженность поля для f_{inf} на необходимом расстоянии;

E_{sup} – напряженность поля для f_{sup} на необходимом расстоянии.

В методике прогнозирования по Рекомендации МСЭ-R P.1546 используется интерполяция и экстраполяция кривых напряженности поля, которые получены экспериментальным путем, для различных высот подвеса передающей антенны и расстояния.

Основными преимуществами существующих методик является простота расчетов при достаточной точности полученных результатов.

Основными недостатками являются:

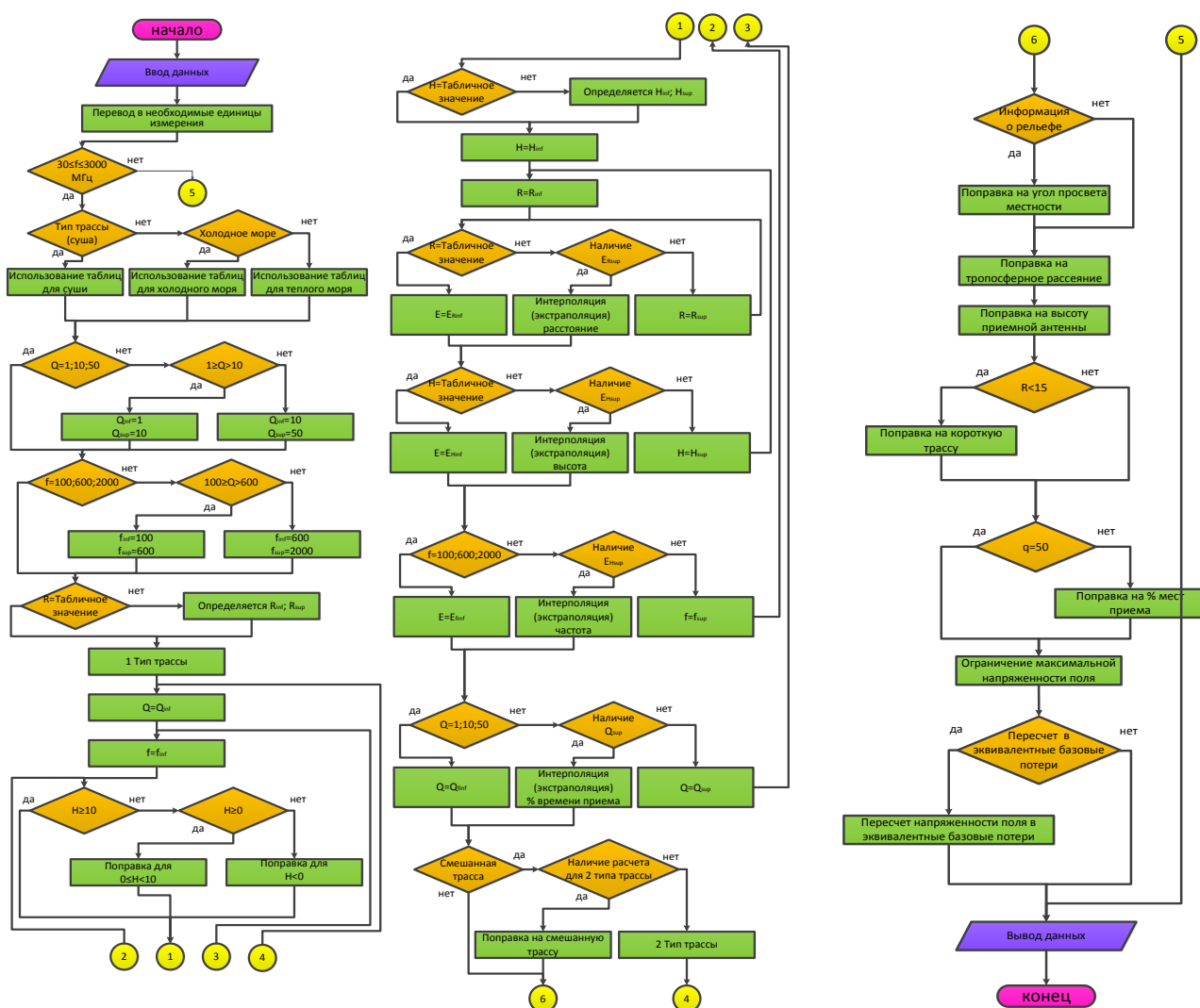
1. недостаточность учета рельефа местности;
2. невозможность прогнозирования уровня сигнала в теневых зонах;

3. отсутствие сравнения теоретических расчетных данных с результатами экспериментальных измерений.

При проектировании сети цифрового наземного телевизионного вещания возникает необходимость прогнозирования напряженности в точке приема, где отсутствует прямая видимость между передающей и приемной антеннами.

На практике часто возникают случаи, когда имеется уверенный прием радиотелевизионных сигналов даже при наличии препятствия между передающей и приемной антеннами.

Методика расчета напряженности поля с учетом затухания на препятствии путем аппроксимации реального препятствия сферической поверхностью на полуоткрытых и закрытых трассах распространения радиоволн позволяет вычислить затухание радиосигнала, которое вносит препятствие путем его аппроксимации сферической поверхностью.



рассчитать напряженность поля радиосигнала на закрытых участках распространения радиоволн при наличии отражающей поверхности.

Для расчета уровня принимаемого радиосигнала существуют различные методы прогнозирования, основанные как на теоретических вычислениях, так и на результатах практических измерений. Существующие методы расчета напряженности поля слабо учитывают или не учитывают рельеф местности и, следовательно:

Необходимо проверить возможность применения вышеописанных методов расчета напряженности поля для расчета сети ЦНТВ путем сравнения расчетных данных с данными, полученными в результате измерений.

Необходимо определить наиболее эффективные методы расчета напряженности поля для конкретных случаев на основе сравнения теоретических и экспериментальных результатов.

Необходимо экспериментально проверить возможность использования метода аппроксимации реального препятствия сферическим (рис. 5) и метода

отражения УКВ от препятствия с использованием закона Ламберта.

Во второй главе проведен расчет напряженности поля для открытых участков распространения радиоволн в горной местности с использованием основных существующих методик, а также сравнение с измеренными значениями.

От точности расчета напряженности поля зависит определение зоны покрытия ТВ передатчика, стоимость передающего оборудования и качество работы сети ЦНТВ. Поэтому при проектировании наземной сети ТВ вещания необходимо точно рассчитать напряженность поля на границе зоны обслуживания, внутри зоны обслуживания.

Из рис. 6 видно, что расчеты напряженности поля по методике Введенского, по методике Окумура-Хата, по Рекомендации МСЭ-R 1546 в условиях горной местности на открытых трассах имеют завышенные значения относительно измеренных.

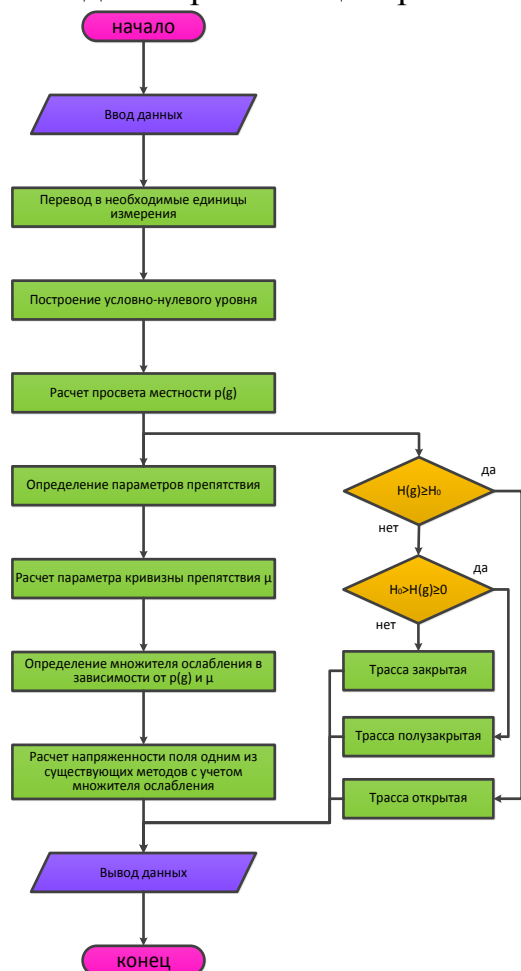


Рис. 5 – Алгоритм метода аппроксимации реального препятствия сферическим

В табл. 2 приведены сравнения значений напряженностей поля, измеренных и рассчитанных с помощью вышеприведенных методик с введением предложенных поправок для открытых трасс.

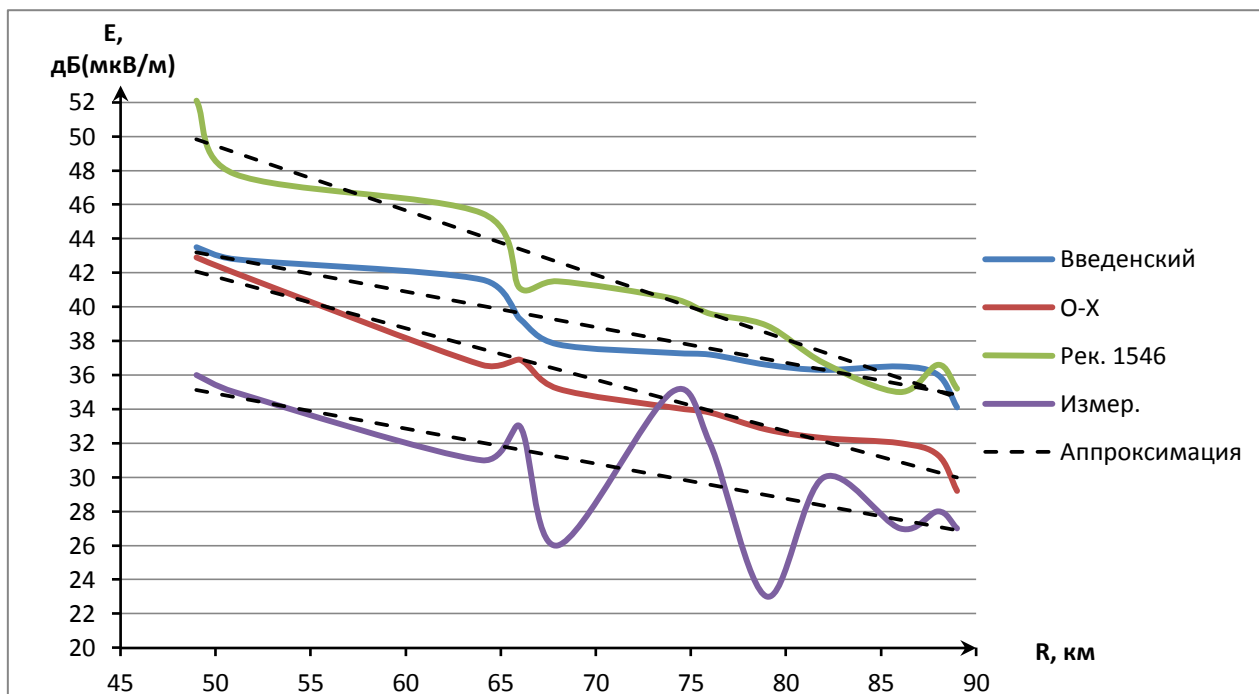


Рис. 6 - Зависимости напряженности поля от расстояния

Методика Введенского и методика Окумура-Хата менее трудоемки для расчета напряженности поля по сравнению с Рекомендацией МСЭ-R 1546, при этом расчетные значения мало отличаются друг от друга. На основании анализа расчетных значений напряженности поля сделан вывод о том, что методика Введенского наиболее проста и, поэтому, удобна для проведения расчетов напряженности поля.

Установлено, что при линейной аппроксимации расчетных и измеренных значений для открытых трасс для частот передатчика $f_{cp1} = 642$ МГц и $f_{cp2} = 682$ МГц, которые используются для вещания цифровых телевизионных программ в Чуйской области, расчетные значения по методике Введенского наиболее точно совпадают с измеренными.

Для расчета напряженности поля, и, как следствие, расчета зоны уверенного приема телевизионного сигнала следует использовать вышеприведенные методы с учетом разницы аппроксимированных рассчитанных и измеренных значений напряженности поля. Разница линейной аппроксимации измеренных и рассчитанных значений напряженности поля составляет:

- по методике Введенского - 8 дБ;
- по методике Окумура-Хата – $(0,1R - 11)$ дБ;
- по Рекомендации МСЭ-R 1546 – $(0,17R - 23)$ дБ.

В третьей главе произведен расчет напряженности поля цифрового телевизионного передатчика для полузакрытых и закрытых участков распространения радиоволн, сравнение теоретических и экспериментальных результатов.

В горных условиях имеются множество случаев, когда наблюдается стабильный прием радиосигналов на закрытых и полузакрытых участках распространения радиоволн. В этом случае наличие радиосигнала на таких

участках связано рефракцией и дифракцией при его распространении по сложному рельефу горной местности.

Проведя анализ полученных данных, сделан вывод о том, что расчет напряженности поля на полузакрытых и закрытых трассах распространения радиоволн можно осуществлять с помощью методик, приведенных в Главе 2. При этом автор предлагает учесть затухание радиоволн на препятствии методом аппроксимации реального препятствия сферической поверхностью.

В табл. 3 приведено сравнение рассчитанных и измеренных значений напряженности поля.

При полном экранировании основного сигнала, прием может осуществляться лишь отраженного сигнала. Расчет напряженности поля на закрытых участках распространения радиоволн можно осуществлять с помощью методик, приведенных в Главе 2. При этом при наличии отражающей поверхности автор предлагает учесть отражение радиоволн от препятствия по закону Ламберта.

Автор предлагает использовать данные методики для расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания в горной местности. При этом проведено сравнение теоретически рассчитанных значений напряженности поля с эмпирическими.

Предлагаемый автором алгоритм расчета напряженности электромагнитного поля приведен на рис. 7

1. При проектировании сети цифрового наземного телевизионного вещания расчет напряженности поля на полузакрытых и закрытых трассах распространения радиоволн можно осуществлять с помощью методик, приведенных в Главе 2. При этом необходимо учесть затухание радиоволн на препятствии методом аппроксимации реального препятствия сферической поверхностью.
2. При проектировании сети цифрового наземного телевизионного вещания расчет напряженности поля на закрытых участках распространения радиоволн при наличии отражающей поверхности можно осуществлять с помощью методик, приведенных в Главе 2. При этом необходимо учесть отражение радиоволн от препятствия по закону Ламберта.

В четвертой главе автором предложен способ увеличения зоны покрытия передатчика цифрового наземного телевизионного вещания за счет изменения угла наклона антенны в вертикальной плоскости, а также теоритически определен коэффициент:

$$R_{\text{PBZ}} = \sqrt{2a_3} \cdot (1 + \sin(z_0 - 90^\circ)) \cdot (\sqrt{N} + \sqrt{h}), \quad (1)$$

где R_{PBZ} – расстояние радиовидимости с учетом угла излучения антенны, м;

a_3 – эквивалентный радиус Земли, м.

z_0 – угол излучения антенны (рис. 8), градусы, $87^\circ \leq z_0 \leq 93^\circ$.

$$a_3 = \frac{a}{1 + \frac{a_g}{2}}. \quad (2)$$

Таблица 2 – Сравнение расчетных значений с измеренными для открытых трасс

| Населенный пункт | Измер дБ(мкВ/м) | Введенский дБ(мкВ/м) | до | | О-Х дБ(мкВ/м) | до | | после | | Рек. 1546 дБ(мкВ/м) | до | | после | |
|------------------|-------------------------------|----------------------|------|------|---------------|------|------|-------|------|---------------------|------|------|-------|------|
| | | | % | дБ | | % | дБ | % | дБ | | % | дБ | % | дБ |
| с. Акматбек | 35,0 | 42,8 | 22,3 | 7,8 | 42,0 | 20,0 | 7,0 | 3,1 | 1,1 | 47,8 | 36,6 | 12,8 | 4,4 | 1,5 |
| с. Алмалу | 32,0 | 37,2 | 16,3 | 5,2 | 33,8 | 5,6 | 1,8 | 5,0 | 1,6 | 39,6 | 23,8 | 7,6 | 7,7 | 2,5 |
| с. Быстровка | 28,0 | 36,0 | 28,6 | 8,0 | 31,3 | 11,8 | 3,3 | 3,9 | 1,1 | 36,6 | 30,7 | 8,6 | 2,0 | 0,6 |
| с. Жарбаш | 43,0 | 34,1 | 20,7 | 8,9 | 29,2 | 32,1 | 13,8 | 37,0 | 15,9 | 35,2 | 18,1 | 7,8 | 36,4 | 15,7 |
| с. Кайырма | 26,0 | 37,8 | 45,4 | 11,8 | 35,2 | 35,4 | 9,2 | 19,2 | 5,0 | 41,5 | 59,6 | 15,5 | 15,6 | 4,1 |
| с. Кызыл-Суу | 35,0 | 37,3 | 6,6 | 2,3 | 34,1 | 2,6 | 0,9 | 12,9 | 4,5 | 40,5 | 15,7 | 5,5 | 14,1 | 4,9 |
| с. Орду | 23,0 | 36,6 | 59,1 | 13,6 | 32,8 | 42,6 | 9,8 | 29,1 | 6,7 | 38,9 | 69,1 | 15,9 | 27,5 | 6,3 |
| с. Орловка | 30,0 | 36,3 | 21,0 | 6,3 | 32,3 | 7,7 | 2,3 | 1,7 | 0,5 | 36,7 | 22,3 | 6,7 | 7,9 | 2,4 |
| с. Отогон | 36,0 | 43,5 | 20,8 | 7,5 | 42,9 | 19,2 | 6,9 | 2,2 | 0,8 | 52,1 | 44,7 | 16,1 | 4,0 | 1,4 |
| с. Прогресс | 33,0 | 39,3 | 19,1 | 6,3 | 36,9 | 11,8 | 3,9 | 1,5 | 0,5 | 41,1 | 24,5 | 8,1 | 11,2 | 3,7 |
| с. Садовое | 31,0 | 41,6 | 34,2 | 10,6 | 36,6 | 18,1 | 5,6 | 3,2 | 1,0 | 45,5 | 46,8 | 14,5 | 7,7 | 2,4 |
| с. Уларник | 27,0 | 36,5 | 35,2 | 9,5 | 32,0 | 18,5 | 5,0 | 9,6 | 2,6 | 35,0 | 29,6 | 8,0 | 1,4 | 0,4 |
| | Средняя арифметическая ошибка | | 27 | 8 | | 17 | 6 | 11 | 4 | | 35 | 11 | 12 | 4 |

Таблица 3 – Сравнение рассчитанных и измеренных значений напряженности поля с учетом аппроксимации реального препятствия сферическим

| | формула Введенского дБ(мкВ/м) | формула Окумура-Хата дБ(мкВ/м) | измеренное значение дБ(мкВ/м) | значение, рассчитанное с поправкой дБ(мкВ/м) |
|-------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|---|
| с. Арпа | 33,7 | 31,5 | 5 | 0 |
| с. Боз-Бармак | 53,6 | 54,8 | 31 | 36,4 |
| с. Дон-Арык | 42,2 | 41,4 | 15 | 16,7 |
| с. Жаны-Жол | 43,4 | 42,5 | 22 | 27 |
| с. Маданият | 37,5 | 34,6 | 22 | 27,4 |
| с. Онбир-Жылга | 37,2 | 34,5 | 7 | 14,5 |
| с. РотФронт | 41,9 | 41,5 | 27 | 12,1 |
| с. Советское | 40,5 | 39,4 | 22 | 16,9 |
| с. Юрьевка (южная сторона) | 44,7 | 45 | 5 | 0 |

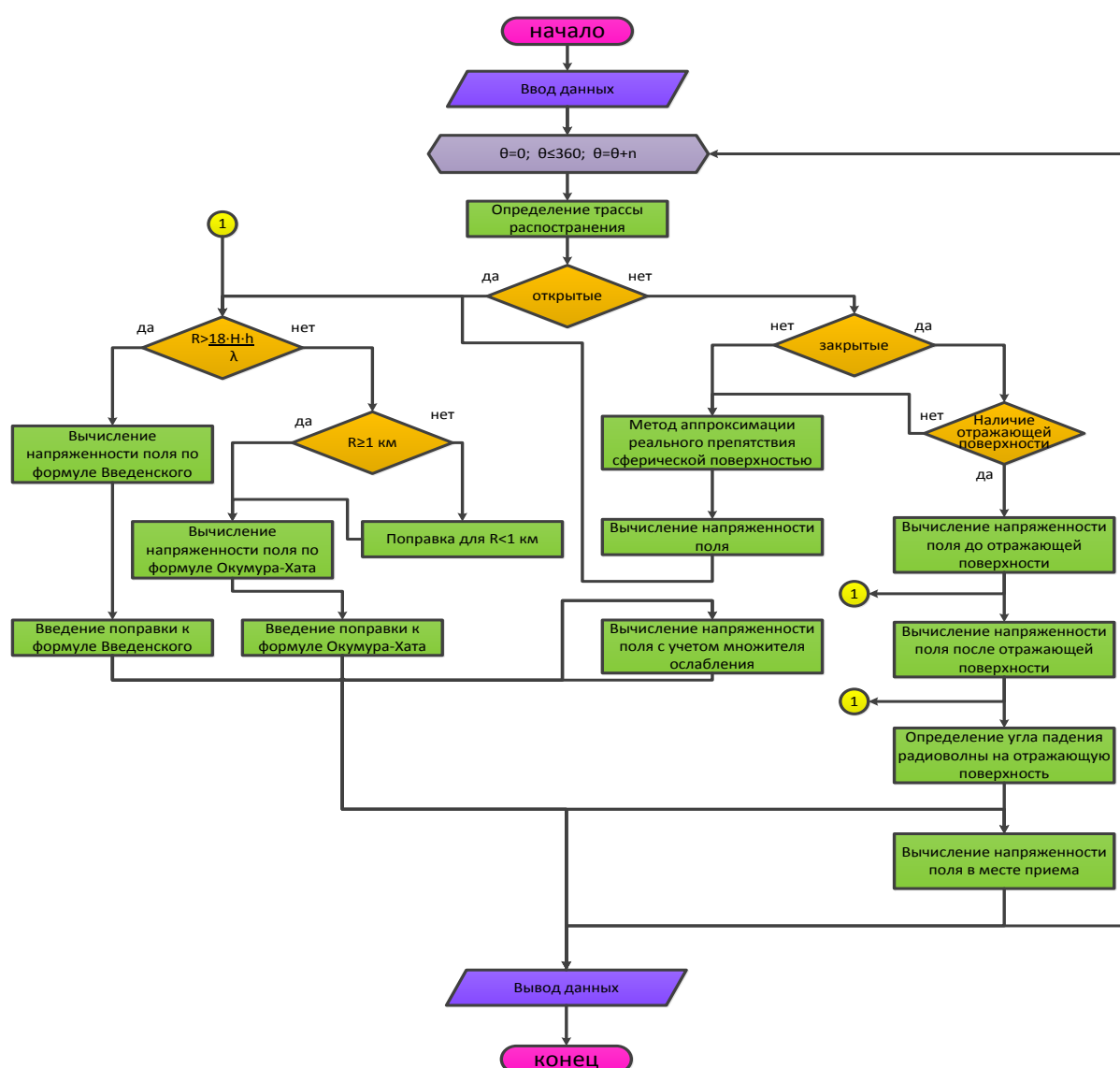
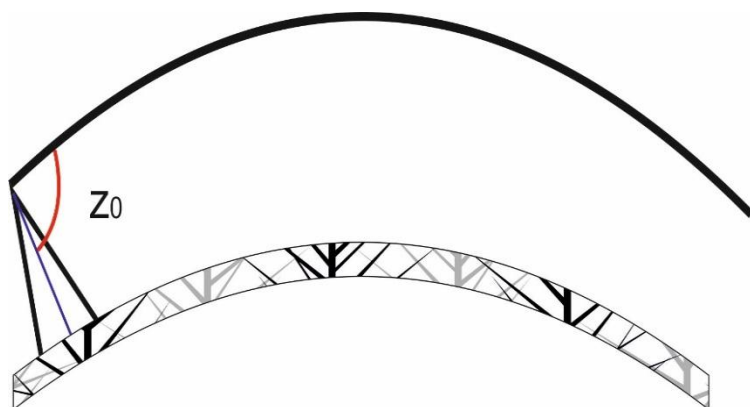


Рис. 7 – Алгоритм расчета напряженности электромагнитного поля в горной местности

где g – вертикальный градиент диэлектрической проницаемости воздуха, 1/м.



При увеличении угла z_0 излучения радиосигнала на 1° при $87^\circ \leq z_0 \leq 93^\circ$ при высоте подвеса передающей и приемной антенн $H = 120$ м, $h = 10$ м, вертикальном градиенте диэлектрической проницаемости воздуха $g = -9 \cdot 10^{-8}$ 1/м зона радиовидимости увеличивается на 1 километр.

Рис. 7 – К определению угла излучения антенны

Это равносильно увеличению высоты подвеса передающей антенны на 5-7 м. При увеличении угла z_0 излучения радиосигнала необходимо учитывать диаграмму направленности антенны в вертикальной плоскости, чтобы в ближней зоне прием был гарантированным.

Практически всегда, даже при тщательном проектировании сети цифрового наземного телевизионного вещания, внутри зоны уверенного приема будут иметься участки, где уровень принимаемого сигнала ниже порогового или практически отсутствует.

Охват сетью цифрового наземного телевизионного вещания таких населенных пунктов решается с помощью применения ретрансляторов небольшой мощности (gap-fillers).

Для ретрансляторов, работающих в одночастотном режиме, накладывается ограничение - должен обеспечиваться пространственный разнос (изоляция) между передающей и приемной антеннами.

Так как при мощности передатчика более 1 Вт происходит самовозбуждение. Пространственный разнос передающей и приемной антенны ретранслятора в условиях гор Кыргызской Республики можно обеспечить путем расположения приемной антенны на склоне горы, где есть уверенный прием радиосигнала, а передающую антенну на другом склоне.

При невозможности выполнения данного ограничения возможна установка ретранслятора, работающего в двух частотном режиме. При этом принимаемый сигнал должен быть демодулирован, а затем заново модулирован на той частоте, на которой вещает ретранслятор. Этот вид ретрансляторов является регенерирующим. В таких ретрансляторах изоляция передающей и приемной антенны обеспечивается за счет разнесения частот.

Регенерирующие ретрансляторы обеспечивают высокое качество излучающего сигнала. Главными недостатками регенерирующих ретрансляторов является высокая стоимость и необходимость использовать дополнительную полосу частот для трансляции радиосигнала.

1. Увеличивать или уменьшать зону обслуживания передатчика цифрового наземного телевизионного вещания возможно за счет изменения

угла наклона передающей антенны в вертикальной плоскости. При этом необходимо учитывать диаграмму направленности передающей антенны в вертикальной плоскости для того, чтобы в ближней зоне сохранился уверенный прием радиосигнала.

2. Для того чтобы учесть рельеф местности необходимо изменять угол наклона передающей антенны в вертикальной плоскости в соответствии со средним изменением высот местности.

3. Для охвата населенных пунктов ЦНТВ, в которых отсутствует радиосигнал, в зоне покрытия основного передатчика необходимо использовать маломощные ретрансляторы сигнала.

ВЫВОДЫ

В данной диссертационной работе получены следующие результаты:

1. Проведен анализ цифрового наземного телевизионного вещания, системный анализ основных существующих методик расчета напряженности поля. Даны рекомендации по применению каждой методики.

2. Разработан алгоритм расчета напряженности электромагнитного поля в горной местности.

3. Проверена на практике возможность применения основных существующих методик расчета напряженности электромагнитного поля для цифрового наземного телевизионного вещания на открытых участках распространения радиоволн в горной местности. Определена разница между рассчитанными и измеренными значениями.

4. Предложен и проверен способ расчета напряженности электромагнитного поля путем учета ослабления радиоволн препятствием с помощью его аппроксимации сферической поверхностью на полуоткрытых и закрытых трассах распространения радиоволн (существующий способ для радиорелейных линий) применительно к цифровому наземному телевизионному вещанию;

5. Предложен новый метод увеличения зоны обслуживания передатчика за счет изменения угла наклона передающей антенны в вертикальной плоскости. Теоретически определена зависимость дальности радиовидимости от угла наклона передающей антенны.

6. Предложено и проверено методом сравнения теоретически рассчитанных и измеренных значений применение расчета напряженности поля радиоволны при отражении от препятствия для цифрового наземного телевизионного вещания IV и V диапазонов с использованием закона ламберта на закрытых участках распространения радиоволн.

7. Проведен анализ и даны рекомендации по охвату цифровым наземным телевизионным вещанием населенных пунктов, в которых отсутствует радиосигнал, находящихся в зоне покрытия основного передатчика.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

1. **Куцев Е. В.** Анализ свойств распространения ультрокоротких волн для Кыргызской Республики [Текст]/ Куцев Е. В., Жумабаев М. Ж. // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова №1(34), - Бишкек, 2015.-С.14-17
2. **Куцев Е. В.** Методы определения зоны покрытия цифрового наземного телевизионного вещания для Кыргызской Республики [Текст]/ Куцев Е. В.// Современные научные исследования и инновации. 2015. № 10 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/10/58204>.
3. **Куцев Е. В.** Методы расчета трасс распространения радиоволн цифрового телевизионного вещания на примере Чуйской области [Текст]/Куцев Е. В.// Современные научные исследования и инновации. 2015. № 11 [Электронный ресурс]. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/11/59191>.
4. **Куцев Е. В.** Определение и сравнение зоны обслуживания цифрового телевизионного вещания в Чуйской долине при различных методах проектирования [Текст]/ Жумабаев М. Ж., Куцев Е. В., Урдалетова С. Б. //Инженер №7, 8, - Бишкек, 2014.-С.72-78
5. **Куцев Е. В.** Определение критической частоты и критического угла отражения радиосигнала от ионосферы[Текст]/Куцев Е.В.//Вестник Кыргызско-Российского славянского университета, 2015. Т. 15, № 9. С. 124-127.
6. **Куцев Е. В.** Определение условия применимости формулы Введенского для расчета сети цифрового телевизионного вещания[Текст]/Куцев Е. В.//Проблемы автоматики и управления: Материалы II международной конференции «Проблемы управления и информационных технологий»/Национальная Академия Наук Кыргызской Республики, Бишкек, ИАИТ, 2015.-С.254-260
7. **Куцев Е. В.** Стандарты ЦНТВ: выбор для Кыргызстана [Текст]/ Куцев Е. В., Урдалетова С. Б., Жумабаев М. Ж.// Известия Кыргызского государственного технического университета им. И.Раззакова №29,- Бишкек, 2013.-С.193-198
8. **Куцев Е. В.** Увеличение зоны покрытия цифрового телевизионного вещания за счет рефракции радиоволн в атмосфере в зависимости от видимого зенитного угла излучателя в IV и V диапазонах [Текст]/ Исмаилов Б. И., Куцев Е. В., Джылышбаев М. Н. // Фундаментальные и прикладные проблемы науки, Материалы Кыргызской секции X Международного симпозиума, посвященного 70-летию Победы/ Российская академия наук, Международный совет по науке и технологиям, Национальная академия наук Кыргызской Республики Институт автоматики и информационных технологий, Т.3, Москва, - 2015. – С.23-29

РЕЗЮМЕ

диссертации Куцева Евгения Витальевича на тему «Системный анализ и разработка эффективных методов расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания в горной местности» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности – 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации»

Ключевые слова: системный анализ, цифровое наземное телевизионное вещание, напряженность электромагнитного поля, распространение радиоволн, эквивалентная изотропно излучаемая мощность, горная местность, электромагнитная совместимость, зона обслуживания, радиовидимость.

Объект исследования: цифровое наземное телевизионное вещание.

Цель исследования: Основная цель работы заключается в разработке эффективных методов расчета напряженности электромагнитного поля для сети цифрового наземного телевизионного вещания в горной местности, в том числе на закрытых и полужакрытых участках распространения радиоволн.

Полученные результаты и их новизна: Проведен системный анализ основных существующих методик расчета напряженности поля. Разработана новая классификация данных методик. Предложены методики расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания для её открытых, закрытых и полужакрытых участков распространения радиоволн. Предложен новый метод увеличения зоны обслуживания передатчика за счет изменения угла наклона его антенны в вертикальной плоскости.

Рекомендации по использованию: С помощью предложенных методов расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания возможен более точный расчет зоны уверенного приема цифровых телевизионных программ на её закрытых и полужакрытых участках распространения радиоволн. Алгоритм расчета напряженности электромагнитного поля, разработанный в диссертационной работе, может быть использован для расчета сети цифрового наземного телевизионного вещания как в Кыргызской Республике, так и в других странах с горным рельефом местности.

Куцев Евгений Витальевичтин 05.13.01 – «Системалуу анализ, башкаруу жана маалыматты иштеп чыгуу» адистиги боюнча «Жердин тоолуу аймагындагы санариптик телеберүү тармагын эсептөөнүн системалык анализи жана анын эффективдүү методдорун иштеп чыгуу» деген темада техникалык илимдердин кандидаты окумуштуу даражасын изденип алуу боюнча жазылган диссертациясынын

РЕЗЮМЕСИ

Ачкыч сөздөр: Системалуу анализ, жердеги санарип телеберүүсүн таратуу, электромагниттик талаа чыңалышы, радиожыштыктын таралышы, изотроптук эквиваленттүү нурлануунун кубаттуулугу, тоолуу аймак, электромагниттик биргелештик, тейлөө чөлкөмү, радиокөрүнүш.

Изилдөөнүн объектиси: Жердеги санарип телеберүүсүн таратуу.

Изилдөөнүн максаты: Изилдөөнүн максаты бул тоолуу аймактарга санариптик телеберүү тармагын эсептөөнүн эффективдүү методдорун табып чыгуу жана радиотолкундар үчүн жабык, жарымы жабык чектерге иштеп чыгуу.

Алынган жыйынтыктары жана жаңылыгы: Жердеги санарип телеберүү тармагын эсептөөнүн белгилүү методикалары анализделди. Радиотолкундар үчүн жабык, жарымы жабык чектерге санарип телеберүү тармагын эсептөө боюнча методикалары иштелип чыкты. Бергичтин антеннасынын вертикалдык бургун жантайтуу жолу менен санариптик телеберүү тармагын кеңейтүүнүн методикалары сунушталды.

Пайдалануу рекомендациясы: Сунушталган методикалардын жардамы менен радиотолкундар үчүн жабык, жарымы жабык чектерге санарип телеберүү тармагын тагыраак эсептөөгө болот. Диссертациялык жумушта иштелип чыккан эсептөөнүн алгоритми санариптик телеберүү тармагын эсептөө үчүн Кыргыз Республикасында мамлекеттерде колдонулууга болот.

SUMMARY

Of the Evgeniy Kutsev's thesis on "Systematic analysis and development of effective calculation methods of the digital terrestrial television broadcasting network in the highlands," on competition of a scientific degree of technical Sciences candidate on the specialty 05.13.01 "System analysis, management and information processing"

Key words: system analysis, digital terrestrial television broadcasting, the intensity of an electromagnetic field, radio wave propagation, the equivalent isotropic radiated power, mountainous terrain, electromagnetic compatibility, service area, radio visibility.

The object of study: Digital terrestrial television broadcasting.

The purpose of the study: the main objective of this work is to develop efficient methods of electromagnetic field strength's calculation for digital terrestrial television

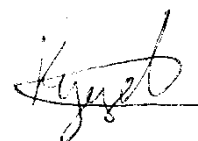
broadcasting in the mountainous area, including closed and semi-enclosed areas of radio wave propagation.

The results obtained and their novelty: have done the systematic analysis of the main existing methods of field strength's calculation. Developed a new classification of these methods. Proposed the calculation methods of digital terrestrial television broadcasting network for its open, closed and semi-closed areas of radio wave propagation. Proposed a new method of increasing the transmitter service area by changing the angle of its antenna in a vertical plane.

Recommendations for use: using the proposed methods for the calculation digital terrestrial television broadcasting network, possible a more accurate calculation of the reliable reception area of digital television signal on its closed and semi-closed areas of radio wave propagation.

The algorithm for calculating the electromagnetic field developed in this dissertation can be used to calculate the digital terrestrial television broadcasting network in the Kyrgyz Republic and in other countries with mountainous terrain.

Куцев Евгений Витальевич



**СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ
РАСЧЕТА СЕТИ ЦИФРОВОГО НАЗЕМНОГО ТЕЛЕВИЗИОННОГО
ВЕЩАНИЯ В ГОРНОЙ МЕСТНОСТИ**

Автореферат диссертации

Подписано в печать 19.05.2017

Формат 60x84 1/16. Объем 1,25 п.л.

Бумага офсетная. Печать офсетная.

Тираж 100 экз. Заказ
