

УДК 621.396.4

А.В. Терехов, Ю.А. Шурыгин

Алгоритм оптимизации высот подвеса антенн в сетях с топологией «звезда»

Обсуждаются вопросы синтеза алгоритма расчёта оптимальных высот подвеса антенн для сети радиосвязи топологии «звезда» двумя способами: по суммарной высоте АМС и по суммарной стоимости антенно-мачтового сооружения.

Ключевые слова: сети радиосвязи топологии «звезда», оптимизация высот подвеса антенн, оптимизация по суммарной высоте и стоимости антенно-мачтового сооружения.

В настоящее время всё большее значение приобретают беспроводные средства передачи информации, такие как радиорелейные линии связи, системы УКВ, системы широкополосного доступа и транкинговой радиосвязи. При проектировании базовых и стационарных УКВ радиостанций, систем беспроводного широкополосного доступа возникает необходимость расчёта высот подвеса антенн. По издавна сложившемуся подходу расчёт высот подвеса антенн производится отдельно для каждого профиля местности с постепенным итерационным изменением высот подвеса в зависимости от закрытия зоны Френеля или величины просвета. При анализе топологии радиосети «точка-точка» проблем не возникает. Наибольшую трудность при расчёте высот подвеса антенн представляют сети с топологией «звезда», особенно при большом количестве связей, так как при раздельном анализе высот подвеса антенн происходит потеря целостности картины. В научной литературе рассматриваются алгоритмы оптимизации высот подвеса антенн для многоинтервальных РРЛ [1],[2]. При проектировании и оптимизации сетей связи с топологией «звезда», во многих современных САПР («Radio Planning System-2» [3], «Территория» [4]) оптимизация высот подвеса антенн производится автоматически для каждого профиля местности, что приводит к нахождению решений оптимальных для каждого интервала, а не сети в целом. Целью данной статьи являются синтез, создание и испытание алгоритма расчёта оптимальных высот подвеса антенн для сетей топологии «звезда».

Начальные условия

На первом этапе исследования в среде MathCAD [5] было проведено создание алгоритма по загрузке и обработке профилей местности. При этом были сделаны следующие допущения:

1. В пределах рассматриваемой радиотрассы земная поверхность является плоской.
2. Для передачи данных между радиосредствами требуется только наличие прямой видимости.

Будем считать, что антенные устройства размещаются в верхних точках антенно-мачтовых сооружений (АМС), т.е. высота подвеса антенны соответствует высоте АМС.

Математическая модель оптимизации высот подвеса антенн по суммарной высоте антенно-мачтовых сооружений

Для каждой высоты подвеса антенны h_1 слева может быть определена соответствующая минимальная высота подвеса антенны h_2 справа, из условия, что между антеннами обеспечивается прямая видимость или перекрытие зоны Френеля не более заданного.

$$h_{m2} = P_{m1,m2}(h_{m1}), \quad (1)$$

где $P_{m1,m2}(h_{m1})$ – функция высоты подвеса антенны для станции системы $m2 \in 1 \dots M$ от высоты подвеса антенны для станции системы $m1 \in 1 \dots M$; M – количество станций системы связи; h_m – высота подвеса антенны $m \in 1 \dots M$ станции системы.

Рассмотрим систему связи, состоящую из одного интервала (двух станций). Данный интервал характеризуется высотой подвеса антенны слева h_1 и справа – h_2 .

Профили местности в большинстве случаев задаются отсчётами, и аналитическая форма функции $P_{1,2}(h_1)$ неизвестна, поэтому для нахождения её значений необходимо создать циклический перебор отсчётов рельефа местности. Задав шаг изменения высоты dh_1 подвеса антенны h_1 от нуля до h_{\max} , находим соответствующие значения $h_2 = P_{1,2}(h_1)$ как проекцию наиболее значимого отсчёта.

Стоит отметить, что наиболее значимым может быть отсчёт, имеющий не максимальное значение для заданного профиля местности. Так наиболее сильное влияние на проекцию высоты h_1 на h_2 оказывают неровности рельефа или искусственные сооружения, находящиеся в непосредственной близости от мест размещения антенн.

На основании изложенного был разработан алгоритм для нахождения значений функции $h_2 = P_{1,2}(h_1)$ и написана программа в среде MathCAD для построения зависимости $h_2 = P_{1,2}(h_1)$. В качестве примера рассмотрим профиль местности, заданный десятью значениями отсчётов (табл. 1).

Таблица 1

Профиль местности, заданный значениями отсчётов										
Номер отсчёта	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Высота, м	1	9	25	40	42	49	48	40	15	5

Профиль местности, соответствующий табл. 1, приведён на рис. 1.

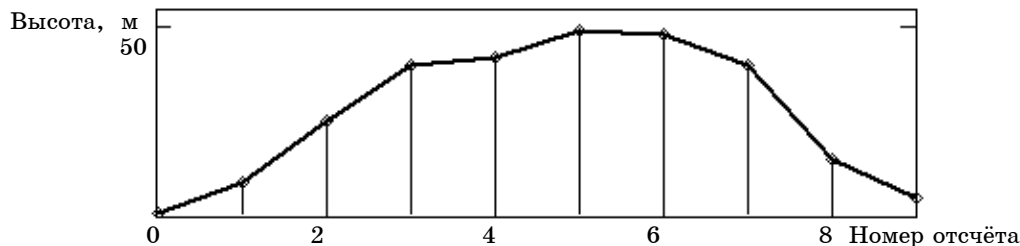


Рис. 1. Профиль местности, построенный по данным табл. 1

На основе исследований функции $h_2 = P_{1,2}(h_1)$ были сделаны следующие выводы:

1. Функция $h_2 = P_{1,2}(h_1)$ непрерывна, т.к. для каждого значения h_1 имеется только одно значение $h_2 = P_{1,2}(h_1)$.
2. Функция $h_2 = P_{1,2}(h_1)$ имеет зону определения от нуля до h_{\max} и зону значений от нуля до бесконечности.
3. Функция $h_2 = P_{1,2}(h_1)$ в общем случае имеет минимум на интервале, который в частном случае стягивается в точку.

Для оптимизации высот подвеса антенн индивидуально для каждого интервала из условия, что суммарная высота подвеса антенн слева (h_1) и справа (h_2) минимальна, необходимо найти минимум функции $P_{sum_1,2}(h_1)$:

$$P_{sum_1,2}(h_1) = h_1 + P_{1,2}(h_1). \tag{2}$$

Графики зависимостей $h_2 = P_{1,2}(h_1)$ по данным табл. 1 и график зависимости $P_{sum_1,2}(h_1)$ приведены на рис. 2.

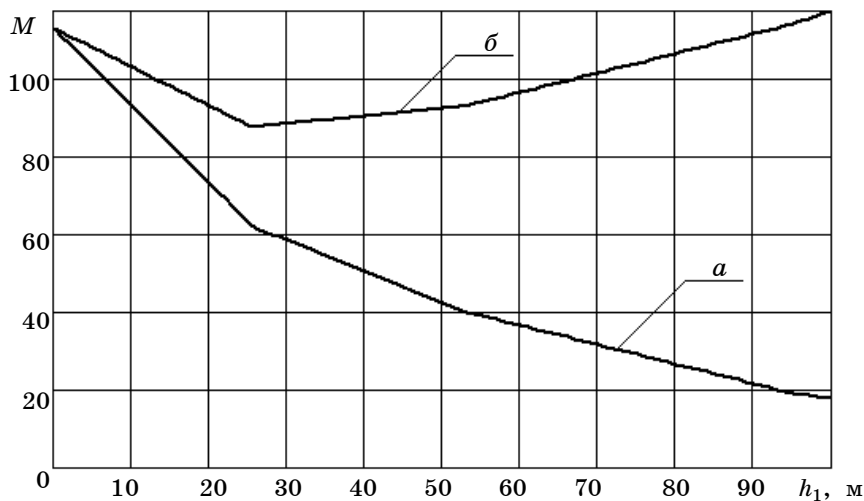


Рис. 2. Графики: а - $h_2 = P_{1,2}(h_1)$; б - $P_{sum_1,2}(h_1)$

Из рис. 2 следует, что функция $P_{sum_1,2}(h_1)$ имеет минимум 87,6 м при значении h_1 , равном 26 м. Следовательно, при оптимизации высот подвеса антенн по суммарной высоте для рассматриваемого примера высота слева (h_1) будет равна 26 м, высота справа (h_2) будет равна 61,6 м. Рассмотрим общий случай оптимизации высоты подвеса антенн в сети топологии «звезда». Пусть система состоит из M станций, где $m \in 1 \dots M$. Узловая станция имеет номер $m=1$, тогда для каждого профиля местности может быть построена зависимость

$$h_k = P_{1,k}(h_1),$$

где $k \in 2 \dots M$.

Для нахождения оптимальных высот подвеса антенн, при которых суммарная высота подвеса всех антенн минимальна, необходимо найти минимум функции $P_{sum_1,2 \dots M}(h_1)$:

$$P_{sum_1,2 \dots M}(h_1) = h_1 + \sum_{k=2}^M P_{1,k}(h_1).$$

Рассмотрим достоинства и недостатки оптимизации высот подвеса антенн по суммарной высоте. К недостаткам этого способа оптимизации относится привязанность зоны значений функции $P_{sum_1,2 \dots M}(h_1)$ к метрам, а в реальности компании, занимающиеся проектированием, монтажом и эксплуатацией антенно-мачтовых сооружений, стремятся оптимизировать не их высоты, а их стоимости. То есть при оптимизации по суммарной высоте АМС не учитывается удельная стоимость метра мачтового сооружения. К достоинствам такого способа оптимизации можно отнести его стабильность, так как функция $P_{sum_1,2 \dots M}(h_1)$ никак не привязана к переменной величине стоимости АМС.

Введём понятие целевой функции. Пусть функция $S(h)$ является функцией от высоты подвеса антенн, имеет область определения от нуля до h_{max} . В качестве целевой функции может быть использована функция стоимости АМС от их высоты; уровня сигнала от высоты подвеса антенн и др.

Математическая модель оптимизации по суммарной стоимости антенно-мачтовых сооружений

Рассмотрим способ оптимизации высот подвеса антенн по суммарной стоимости АМС.

Таблица 2

Стоимости антенно-мачтовых сооружений

Высота АМС, м	Устройство фундамента	Приобретение и монтаж АМС	Монтаж молниезащиты и сигнального освещения	Итого	Удельная стоимость метра, тыс. руб.
0*	1,537	0	1,102	2,639	0,2639
10	1,537	4,45524	1,102	7,09424	0,7094
21	82,871	156,703	5,833	245,407	11,686
42	127,098	346,098	23,916	497,112	11,836
60	220,753	496,977	32,939	750,669	12,511
97,5	224,568	1017,225	43,686	1285,469	13,180

* – Значение взято для точности интерполяции.

Для составления табл. 2 была сделана выборка стоимостей строительства АМС на территории Томской области в течение 2000–2009 гг. в ценах 2001 г. Стоимости строительства АМС приведены без учёта транспортных расходов. Статистические данные собраны с территориально разнесённых объектов, следовательно, транспортные расходы слабо коррелированы с высотами АМС и поэтому не учитываются.

Из данных табл. 2 следует:

1. Наиболее выгодно строить АМС высотой до 10 м. Так как при этом нет необходимости в сигнальном освещении, АМС может быть выполнено в виде трубостойки с лёгким фундаментом и простым контуром заземления.
2. От изменения высот АМС от 10 до 20 м стоимость быстро возрастает, что связано с усилением металлоконструкций, более мощным фундаментом, контуром заземления, огнями сигнального освещения.
3. В интервале 20–100 м удельная стоимость метра АМС постепенно возрастает.

Рассмотрим целевую функцию $S(h)$ как функцию стоимости АМС от высоты. При оптимизации высот подвеса антенн по суммарной стоимости АМС на первом этапе необходимо найти зависимость $h_2 = P_{1,2}(h_1)$ формула (1). Функция стоимости АМС от высоты задаётся на основе статистических данных (рис. 3).

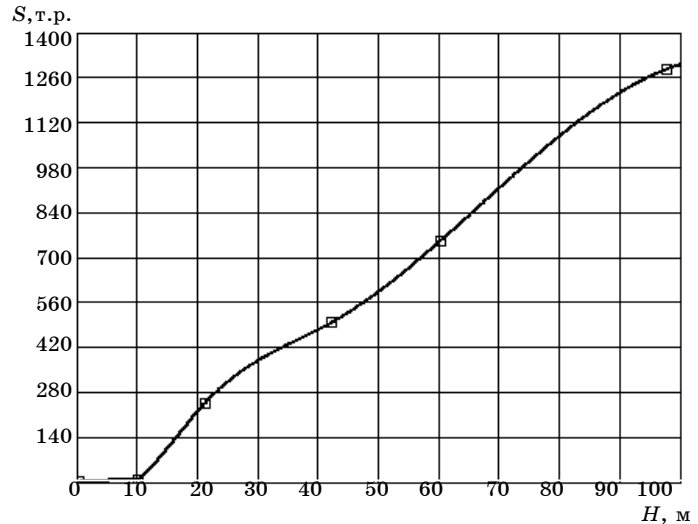


Рис. 3. График функции стоимости антенно-мачтовых сооружений от высоты в ценах 2001 г.

$$S_{sum_1,2} = S_1 + S_2; \tag{3}$$

$$S_1 = S(h_1);$$

$$S_2 = S(h_2) = S(P_{1,2}(h_1)). \tag{4}$$

С учётом (3) и (4) получим:

$$S_{sum_1,2} = S(h_1) + S(P_{1,2}(h_1)).$$

Графики зависимостей $S(h_1)$, $S(P_{1,2}(h_1))$ и $S_{sum_1,2}(h_1)$ по данным табл. 1 приведены на рис. 4:

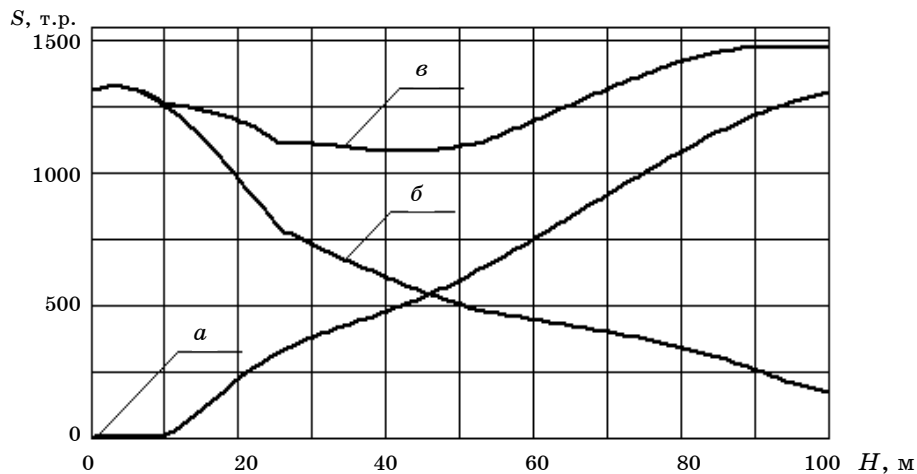


Рис. 4. Графики зависимостей: $a - S(h_1)$; $b - S(P_{1,2}(h_1))$; $v - S_{sum_1,2}(h_1)$

Из рис. 4 следует, что функция $S_{sum_1,2}(h_1)$ имеет минимум 1076,93 тыс. руб. при значении h_1 , равном 42 м. Следовательно, при оптимизации высот подвеса антенн по суммарной стоимости АМС для рассматриваемого примера высота слева (h_1) будет равна 42 м, высота справа (h_2) будет равна 48,8 м.

Рассмотрим общий случай оптимизации высоты подвеса антенн в сети топологии «звезда» по суммарной стоимости АМС. Пусть система состоит из M станций, где $m \in 1 \dots M$. Узловая станция имеет номер $m = 1$, тогда для каждого профиля местности может быть построена зависимость:

$$S(h_k) = S(P_{1,k}(h_1)),$$

где $k \in 2 \dots M$.

Для нахождения оптимальных высот подвеса антенн, при которых суммарная высота подвеса всех антенн минимальна, необходимо найти минимум функции $S_{sum_1,2}(h_1)$:

$$S_{sum_1,2 \dots M}(h_1) = S(h_1) + \sum_{k=2}^M S(P_{1,k}(h_1)).$$

Рассмотрим достоинства и недостатки оптимизации высот подвеса антенн по суммарной стоимости АМС. К достоинствам этого способа оптимизации относится привязанность зоны значений функции $S_{sum_1,2}(h_1)$ к стоимости, которая в большинстве случаев является целевой функцией, которую стараются минимизировать при строительстве, монтаже и эксплуатации. Недостатком такого способа оптимизации является необходимость использования статистических данных, отражающих стоимости строительства АМС различных высот. Также стоит отметить, что для организаций, работающих в области проектирования, монтажа и эксплуатации АМС, получение этих данных не является проблемой.

Динамическая библиотека

На основе выполненных исследований была создана динамически подключаемая библиотека LibProfil.dll. Динамическая библиотека реализует возможность создания модульных приложений, когда код приложения распределяется между различными динамическими библиотеками dll. Такое разделение позволяет оперативно изменять необходимые части программного кода. Динамическая библиотека также имеет возможность подключения к разнотипным приложениям.

В динамической библиотеке реализованы четыре класса функций:

1. Функции загрузки профилей местности:
 - А. Из внешних файлов (.txt).
 - Б. Из программных приложений.
2. Функции обработки данных профилей местности:
 - А. Расчёт дальности радиогоризонта.
 - Б. Расчёт радиуса первой зоны Френеля.
 - В. Создание и редактирование буфера для хранения профилей местности.
 - Г. Оптимизации высот подвеса антенн (по суммарной высоте и по суммарной стоимости АМС).
3. Функции вывода данных:
 - А. Во внешние файлы картинок (*.bmp).
 - Б. В программные приложения (в виде отдельных переменных и массивов данных).
 - Г. Внутренние функции.

Рассмотрим ключевые особенности программной реализации динамической библиотеки LibProfil.dll.

Стоит отметить, что разрабатываемый алгоритм рассчитан на широкий спектр радиосредств, что приводит к невозможности выбора единого способа расчёта и оценки вероятностных характеристик связи. Поэтому в общем случае после проведения расчётов оптимальных высот подвеса антенн необходимо провести расчёты вероятностных характеристик наличия связи в специализированном программном обеспечении для используемого типа связи с установленными оптимальными высотами подвеса антенн.

В реальности сделанные допущения, что земная поверхность является плоской и для передачи данных между радиосредствами требуется наличие прямой видимости, требуют уточнения.

Дальность радиосвязи определяется как вероятностными характеристиками радиосвязи, так и дальностью радиогоризонта. Понятие радиогоризонта тесно связано с влиянием рефракции на распространение радиоволн в атмосфере. Рефракция радиоволн – явление искривления траектории распространения радиоволн, происходящее при переходе их из одной среды в другую (вследствие различия скорости распространения в этих средах) и при распространении радиоволн в неоднородной среде (из-за изменения скорости распространения от точки к точке). Явление нормальной рефракции в тропосфере приводит к тому, что УКВ начинают огибать поверхность Земли, это приводит к увеличению дальности радиогоризонта, на СВЧ данным явлением можно пренебречь [6–8].

Для учёта сферичности земной поверхности была использована формула

$$D = K \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \quad (5)$$

где D – дальность радиогоризонта, км; h_1 и h_2 – высоты подвеса антенн, м; K – коэффициент, характеризующий эквивалентный радиус Земли (в зависимости от частоты изменяется от 3,54 до 4,12).

На основе формулы (5) и предположения, что земная поверхность имеет форму сферы для СВЧ эквивалентным радиусом 6378,245 км, а для УКВ – эквивалентным радиусом 8500 км, была получена формула 6 для расчёта кривизны Земли в любой точке трассы.

$$H_{искривления}(D) = \Psi \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} + \Phi + D \cdot d\Phi\right) - R_{Земли}, \quad (6)$$

где $H_{\text{искривления}}(D)$ – кривизна земной поверхности, м; D – расстояние, на котором рассчитывается кривизна земной поверхности, м; $\Psi, \Phi, d\Phi$ – углы, характеризующие границы вырезки дуги из окружности и шаг движения по ней.

При распространении радиоволн в пространстве различные области неодинаково влияют на формирование электромагнитного поля в удаленной от излучателя точке приема. При этом можно выделить некоторую область пространства, в которой распространяется основная часть передаваемой в заданном направлении энергии электромагнитных волн. Ее размеры и конфигурацию определяют исходя из принципа Гюйгенса–Френеля [6, 7]. Согласно принципу Гюйгенса–Френеля, каждая точка фронта распространяющейся волны является источником новой сферической волны. Использование данного принципа позволяет определить размеры и форму области пространства распространения прямой электромагнитной волны.

Зона Френеля – это часть поверхности фронта электромагнитной волны, охватывающая вторичные источники, элементарные волны которых в точке приёма расходятся по фазе не более чем на 180° , при этом соседние зоны Френеля создают в точке приёма противозональные поля.

Математически размер зоны определяется выражением

$$\rho(n) = \sqrt{\frac{n \cdot D_1 \cdot D_2 \cdot \lambda}{D_1 + D_2}}, \quad (7)$$

где $\rho(n)$ – радиус n -й зоны Френеля; D_1 и D_2 – расстояние до точки наблюдения справа и слева, м; λ – длина волны, м; n – номер зоны Френеля.

Подставив в формулу (7) значения расстояний в километрах, взамен длины волны частоту в гигагерцах получим:

$$\rho(n) = 17,32 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot D_{1(\text{км})} \cdot D_{2(\text{км})} \cdot 1}{D_{1(\text{км})} + D_{2(\text{км})} \cdot f_{\text{ГГц}}}}.$$

Вследствие взаимной компенсации противозональных полей соседних зон Френеля результирующее поле в точке приёма определяется действием лишь вторичных излучателей, расположенных в пределах первой зоны Френеля, поэтому в расчетах будем учитывать, только первую зону Френеля. Кроме того, наличие второй зоны Френеля, по опыту строительства и эксплуатации радиосредств, вносит в принимаемый сигнал дополнительные замирания, поэтому при возможности будем отсекалть вторую зону Френеля на препятствиях рельефа.

Важным моментом является достижение компромисса между закрытием зоны Френеля и высотой АМС. Разрабатываемый алгоритм рассчитан на широкий спектр радиосредств, имеющих различные технические характеристики, что, в свою очередь делает невозможным точный технический расчёт допустимого процента закрытия зоны Френеля для выбранного радиосредства. Поэтому введём коэффициент $\rho_{\text{закр}}$, который будет характеризовать максимально допустимое закрытие первой зоны Френеля. Значение коэффициента $\rho_{\text{закр}}$ должно выбираться инженером согласно технической документации на выбранное средство связи либо на основе опыта практической эксплуатации. Тогда для любой точки профиля значение максимально допустимого закрытия первой зоны Френеля составит

$$\rho_{\Phi}(\rho_{\text{закр}}) = 17,32 \cdot \rho_{\text{закр}} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot D_{1(\text{км})} \cdot D_{2(\text{км})} \cdot 1}{D_{1(\text{км})} + D_{2(\text{км})} \cdot f_{\text{ГГц}}}},$$

где ρ_{Φ} – значение максимально допустимого значения закрытия первой зоны Френеля в точке профиля; $D_{1(\text{км})}$ и $D_{2(\text{км})}$ – расстояние до точки наблюдения справа и слева, км; $f_{\text{ГГц}}$ – частота, ГГц.

Учёт влияния первой зоны Френеля накладывает необходимость введения дополнительного условия оптимизации: препятствия на интервале оптимизации должны быть ниже первой зоны Френеля или перекрывать её не более заданного значения.

Библиотека LibProfil.dll построена таким образом, что данные загруженных профилей в процессе оптимизации не изменяются. Данный подход позволяет при необходимости дописывать дополнительные способы оптимизации высот подвеса антенн без изменения существующих функций.

Программная реализация

Для тестирования разработанного алгоритма была создана компьютерная программа по оптимизации высот подвеса антенн. Данная программа позволяет:

1. Производить оптимизацию высот подвеса антенн по суммарной высоте требуемых АМС либо по суммарной стоимости требуемых АМС.
2. Задавать любое количество станций сети связи, выполненной по топологии «звезда».
3. Создавать и удалять связи между различными станциями с загрузкой соответствующих профилей из внешних файлов.
4. Выводить промежуточные и окончательные результаты работы во внешние файлы.
5. Рассчитывать дальность радиогоризонта на основе заданной частоты радиосредств.

Выводы

В рамках данной статьи была произведена разработка алгоритма расчёта оптимальных высот подвеса антенн для сети топологии «звезда» двумя способами: по суммарной высоте АМС и по суммарной стоимости АМС. Применение разработанных алгоритмов позволит при заданных позициях размещения станций сети радиосвязи рассчитать высоты подвеса антенн для каждой станции таким образом, что их суммарная высота или суммарная стоимости окажутся минимальными.

Рассмотрим основные достоинства и недостатки разработанных алгоритмов. Рассмотрим достоинства и недостатки алгоритма оптимизации высот подвеса антенн по суммарной высоте. К недостаткам этого алгоритма оптимизации относится привязанность зоны значений оптимизируемой функции к метрам. В то же время компании, занимающиеся проектированием, монтажом и эксплуатацией антенно-мачтовых сооружений, стремятся оптимизировать не высоты АМС, а их стоимости, т.е. при оптимизации по суммарной высоте АМС не учитывается удельная стоимость метра мачтового сооружения. К достоинствам такого способа оптимизации можно отнести его стабильность, так как оптимизируемая функция никак не привязана к переменной величине стоимости АМС.

Рассмотрим достоинства и недостатки алгоритма оптимизации высот подвеса антенн по суммарной стоимости АМС. К достоинствам этого алгоритма оптимизации относится привязанность зоны значений оптимизируемой функции к стоимости, которая в большинстве случаев является целевой функцией, которую стараются минимизировать при строительстве, монтаже и эксплуатации. Данный алгоритм устраняет один из главных недостатков алгоритма оптимизации по суммарной высоте АМС, который заключается в том, что часто при наличии преобладающего препятствия в середине профиля оптимизируемая функция имеет минимум на интервале, что приводит к неопределённости определения высот подвеса антенн, так как для разных высот подвеса антенн слева можно найти разные высоты подвеса антенн справа, при которых значение оптимизируемой функции минимально. Недостатком данного алгоритма оптимизации является необходимость использования статистических данных, отражающих стоимости строительства АМС различных высот. Также стоит отметить, что для организаций, работающих в области проектирования, монтажа и эксплуатации АМС, получение этих данных не является проблемой.

На основе разработанных алгоритмов была создана динамически подключаемая библиотека LibProfil.dll. Динамическая библиотека реализует возможность создания модульных приложений, когда код приложения распределяется между различными динамическими библиотеками dll.

На основе динамически подключаемой библиотеки LibProfil.dll была разработана компьютерная программа по оптимизации высот подвеса антенн. Данная программа позволяет:

1. Производить оптимизацию высот подвеса антенн по суммарной высоте требуемых АМС либо по суммарной стоимости требуемых АМС.
2. Задавать любое количество станций сети связи, выполненной по топологии «звезда».
3. Создавать и удалять связи между различными станциями с загрузкой соответствующих профилей из внешних файлов.
4. Выводить промежуточные и окончательные результаты работы во внешние файлы.

Компьютерная программы была использована для оптимизации высот подвеса антенн при проектировании сети технологической УКВ-связи.

В процессе проектирования сетей связи в некоторых случаях вместо увеличения высот подвеса антенн имеет смысл сменить место размещения антенно-мачтового сооружения. Изменение места положения АМС может позволить серьёзно изменить профиль местности. Разработанные алгоритмы никак не учитывают возможность изменения положения АМС. Поэтому они должны использоваться итерационно или на последнем этапе, когда уже места размещения АМС чётко определены.

Литература

1. Данилович О.С. Комплексная оптимизация выбора антенн и высоты подвеса на многоинтервальных цифровых РРЛ / О.С. Данилович, Д.А. Сартбаев, А.Ю. Гумбианс // Электросвязь. – 2003. – № 6. – С. 35–37.
2. Данилович О.С. Оптимизация высот подвеса антенн на многоинтервальных цифровых РРЛ / О.С. Данилович, М.А. Сиверс, С.П. Зайцев // Электросвязь. – 2008. – № 7. – С. 36–38.
3. Система планирования радиосвязи RPS-2. Руководство пользователя. – М.: ЦКТ Силикон Телеком Софт, 2001. – 80 с.
4. Программный комплекс «Территория». Руководство пользователя. – СПб.: ЗАО «Информационный космический центр «Северная корона», 2009. – 72 с.
5. Гурский Д.А. Вычисления в MathCAD. – Минск: Новое знание, 2003. – 813 с.
6. Благовещенский Д.Н. Радиосвязь и электромагнитные помехи: учеб. пособие. – СПб.: СПбГУАП, 2002. – 70 с.
7. Тимищенко М.Г. Проектирование радиорелейных линий: учеб. пособие – М.: Связь, 1976. – 240 с.
8. Мелихов С.В. Модели предсказания уровня сигнала для определения зон обслуживания в сотовых системах подвижной связи: учеб. пособие. – Томск: ТУСУР, 2005. – 25 с.

Терехов Александр Викторович

Аспирант каф. компьютерных систем в управлении и проектировании (КСУП) ТУСУРа
Тел.: 8-960-973-58-24
Эл. почта: LexT@sibmail.com

Шурыгин Юрий Алексеевич

Д-р техн. наук, проф., ректор, зав. каф. КСУП,
директор НИИ автоматики и электромеханики ТУСУРа
Тел.: (382-2) 51-05-30 / факс: (382-2) 51-32-62
Эл. почта: office@tusur.ru

Terekhov A.V., Shurygin Yu.A.

An optimization algorithm of antennas heights in the star topology networks

The synthesis problems of an algorithm intended for the optimum antennas heights calculation in the star topology radio communication networks are discussed in two ways: by total height of the antenna construction and by its total cost.

Keywords: star topology radio communication networks, optimization of antennas heights, total height optimization, total cost of the antenna construction.