УДК 621.396.663

ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ СЕТЕЙ РАДИОКОНТРОЛЯ В ОВЧ/УВЧ ДИАПАЗОНЕ

О.Е. Крутова, заместитель начальника лаборатории ФГУП НИИР
А.П. Павлюк, ведущий научный сотрудник ФГУП НИИР, к.т.н.; alexander.pavlyuk@ties.itu.int
А.Ю. Плосский, студент МТУСИ

Ключевые слова: *сети радиоконтроля, планирование и оптимизация сетей радиоконтроля, радиопеленгация, местоопределение путем триангуляции, неопределенность местоопределения, шаблоны неопределенности местоопределения*

Введение. Планирование сетей радиоконтроля — как глобальных, так и локальных, заключается в оптимальном размещении стационарных станций и взаимодействии их между собой и с подвижными станциями. Здесь и ниже под станцией радиоконтроля (СРК) понимается как полностью оборудованная станция со всеми функциями радиоконтроля, так и автоматическая удаленная станция, осуществляющая только пеленгование.

В процессе планирования сети радиоконтроля обычно ставится задача охвата радиоконтролем как можно бóльшей территории при минимальном числе станций. Планирование новых и оптимизация существующих сетей радиоконтроля имеет большое экономическое значение, поскольку стоимость системы радиоконтроля обычно является доминирующей частью стоимости всей системы управления использованием спектра на национальном уровне. В результате оптимизации сети радиоконтроля экономия на каждой стационарной или подвижной станции может составлять от нескольких миллионов до десятков миллионов рублей.

Общие подходы к планированию и оптимизации сетей радиоконтроля даны в [1]. Проведенные в последние годы работы по планированию ряда национальных сетей радиоконтроля ОВЧ/УВЧ диапазона [2, 3] и анализу некоторых сетей радиоконтроля в ВЧ диапазоне [4, 5] позволили конкретизировать ряд положений методики, представленной в [1] применительно к различным диапазонам частот. Детали, касающиеся сети радиоконтроля ВЧ диапазона, приведены в [5]. Данная работа посвящена сетям радиоконтроля ОВЧ/УВЧ диапазона.

Характеристики сетей радиоконтроля в ОВЧ/УВЧ диапазоне. В условиях России с ее громадной территорией и весьма неоднородной плотностью населения наиболее характерными в ОВЧ/УВЧ диапазоне являются локальные сети радиоконтроля, состоящие из нескольких стационарных станций, которые обслуживают отдельные большие города и индустриальные центры. Планировать такие сети можно путем пробного расчета зон охвата радиоконтролем с учетом рельефа местности для различных вариантов размещения стационарных СРК и выбора для реализации наилучшего варианта по совокупности желательных признаков. По результатам расчетов с учетом необходимой инфраструктуры для организации обслуживаемых СРК можно отождествить те станции, которые должны осуществлять все виды радиоконтроля и быть обслуживаемыми, и те, которые могут быть дистанционными автоматическими пеленгаторами.

Оптимизация существующей сети радиоконтроля, особенно в процессе ее модернизации, может производиться путем пробного виртуального помещения новых стационарных СРК в различные точки территории с недостаточно высокой степенью охвата существующими станциями с последующим выбором для реализации наилучшего варианта. Точно так же, путем расчета зон охвата существующими станциями можно выявить те из них, которые, в силу тех или иных обстоятельств, не вносят существенного вклада в обеспечение требуемого охвата и могут быть кандидатами на перенос в другие пункты, обеспечивающие лучшие результаты.

Если требуется сплошной охват радиоконтролем в пределах некоторого региона, то планирование и оптимизация должны производиться исходя из функции местоопределения, как наиболее критичной к размещению станций [1], или, в крайнем случае, исходя из функции пеленгования в расчете на более интенсивное использование подвижных СРК для местоопределения, а не только допоиска передатчиков.

Для проведения расчетов необходимо выбрать наиболее подходящую модель распространения радиоволн, учитывающую реальный рельеф местности в рассматриваемом регионе, а также минимальные значения напряженности поля на границах зон охвата радиоконтролем, мощности и высоты антенн испытательных передатчиков.

В качестве модели распространения радиоволн целесообразно выбрать предложенную в Рекомендации МСЭ-Р P.1546-3 [6], заменившей используемую ранее Рекомендацию МСЭ-Р P.370. Зависимость условий распространения радиоволн от рельефа местности учитывается путем расчета эффективной высоты антенны передатчика для каждой трассы распространения и угла закрытия на приеме для той же трассы. Последняя версия данной Рекомендации [6], содержит положения (см. Приложение 5, п. 1.1), которые позволяют применить теорему взаимности, что характерно для условий радиоконтроля [1]. Расчеты для всех приводимых ниже примеров выполнены именно на этой основе. Необходимо отметить, что совсем недавно была принята новая Рекомендация МСЭ-Р P.1812 [7], которая более полно учитывает рельеф местности. Можно надеяться, что использование этой модели позволит повысить точность расчетов.

Что касается параметров планирования сети радиоконтроля, определяющих границы зон охвата, то на основе опыта работы Центральной станции радиоконтроля в Бутово (ныне район Москвы) были предложены [1] следующие величины граничных значений напряженности поля зон охвата:

— минимальная напряженность поля от испытательного передатчика в точке размещения антенны станции радиоконтроля для прослушивания: $E_{\min}(l) = 0$ дБ/мкВ/м;

— минимальная напряженность поля для измерения характеристик сигналов передатчиков $E_{\min}(m) = 12$ дБ/мкВ/м;

— минимальная напряженность поля в случае пеленгования $E_{\min}(df) = 20$ дБ/мкВ/м.

Практика [2, 3] показала приемлемость этих значений, по меньшей мере, для проведения сравнительных расчетов.

В качестве испытательного в [1] был предложен передатчик сухопутной подвижной связи мощностью 10 Вт с антенной высотой 1,5 м, установленный в легковом автомобиле. Проведенный в последнее время анализ показал, что одна градация показателя «мощность — высота антенны» передатчика является недостаточной. Контролируемые передатчики ОВЧ/УВЧ диапазона имеют чрезвычайно большой раз-

брос мощностей и высот антенн — от 10 Вт и 1,5 м до 40 кВт и 500 м (ТВ передатчики). Размеры соответствующих зон охвата радиоконтролем также меняются в весьма широких пределах. Использование только одной градации показателя «мощность — высота антенны» может создать ложное впечатление, что зоны охвата радиоконтролем очень малы (при малых значениях показателя) или очень велики (при больших значениях показателя). Более наглядным представляется использование испытательных передатчиков нескольких категорий, что позволяет проследить динамику изменения зон охвата радиоконтролем от изменения показателя «мощность — высота антенны».

Для планирования сетей и проведения сравнительных расчетов целесообразно определить следующие три категории маломощных передатчиков с относительно низкими антеннами, полагая, что более мощные передатчики с более высокими антеннами будут заведомо обслуживаться этими сетями:

— категория I. Мощность 10 Вт, высота антенны 1,5 м (передатчик сухопутной подвижной связи, установленный в легковом автомобиле);

— категория II. Мощность 10 Вт, высота антенны 20 м (базовая станция сухопутной подвижной связи, маломощный вещательный передатчик, ТВ транспондер);

— категория III. Мощность 20 Вт, высота антенны 40 м (те же виды передатчиков, что и в категории II).

Эти и другие параметры, которые могут быть использованы в качестве критериев при планировании и оптимизации сетей радиоконтроля в ОВЧ/УВЧ диапазоне (и в приводимых ниже расчетах), сведены в табл. 1, где СКО — среднеквадратичное отклонение.

Таблица 1

Параметр	Значение
Высота антенны испытательного передатчика категории:	
I	1,5 м
II	20м
III	40 м
Мощность испытательного передатчика категории:	
I и II	10 Вт
III	20 Вт
Вероятность нахождения испытательного передатчика в эллипсе неопределенности местоопределения (НМО) [1]	0,5
Высота антенны стационарной СРК	10 — 50 м (в зависимости от места установки)
Высота антенны подвижной СРК:	
смонтированной на крыше автомобиля	2,5 м
полустационарной выдвижной	10 м
Системная неопределенность пеленгования СРК:	
стационарной	1° СКО
подвижной	2° СКО
Минимальная напряженность поля на границе зоны охвата:	
прослушиванием	0 дБ/мкВ/м
измерениями характеристик сигналов	12 дБ/мкВ/м
пеленгованием	20 дБ/мкВ/м

При необходимости с помощью программного обеспечения [8, 9] можно проводить расчеты и для других значений параметров, указанных в табл. 1, в широких пределах их изменений.

Планирование локальной сети радиоконтроля для параметров, указанных в табл. 1, проведем на примере, который иллюстрируется рис. 1—7.

Предположим, что имеется город, расположенный на холмистой местности, как показано на рис. 1. Поставлена задача осуществить радиоконтроль этого города и прилегающих пригородов, которые в данном случае достаточно плотно заселены, применив испытательный передатчик категории I. Ввиду примерно круговой конфигурации данного города тре-

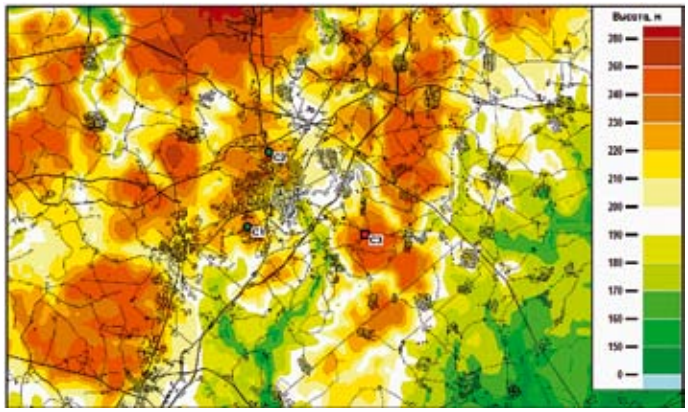

Рис. 1

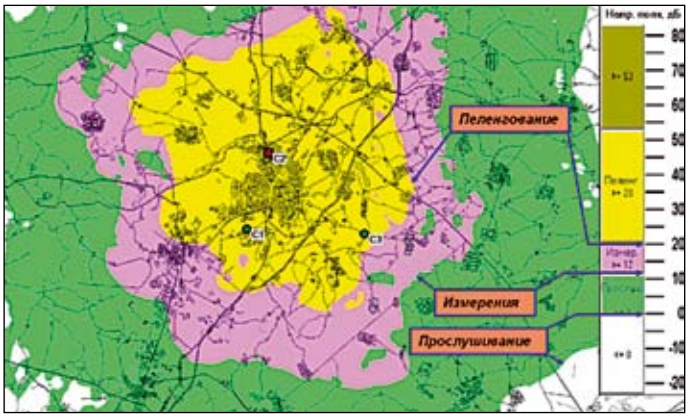

Рис. 2

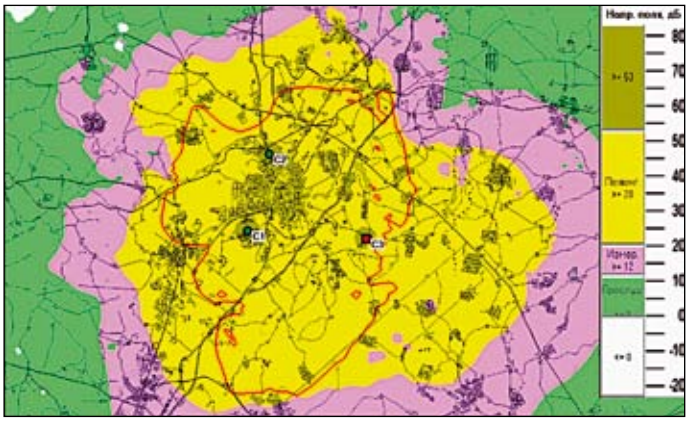

Рис. 3

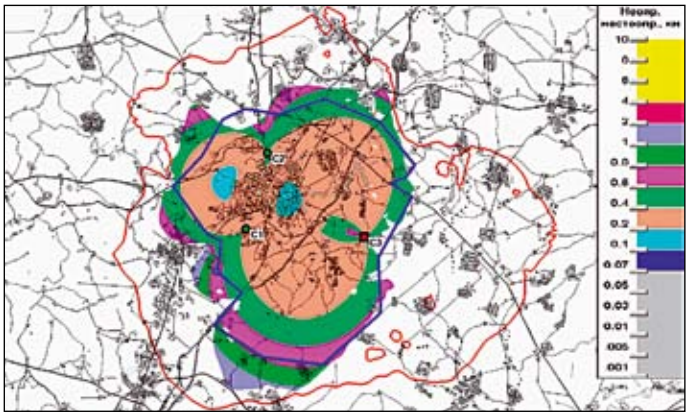

Рис. 4

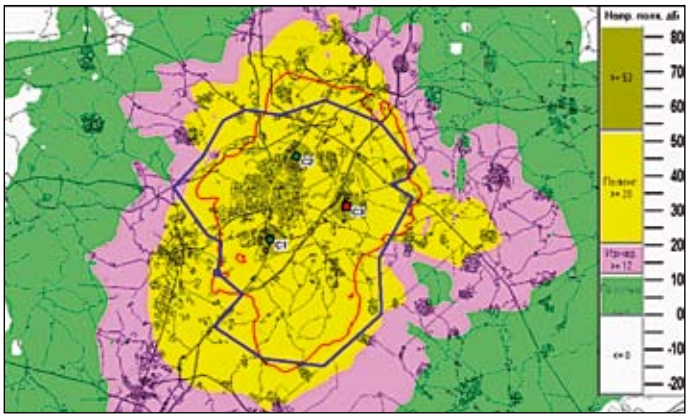

Рис. 5

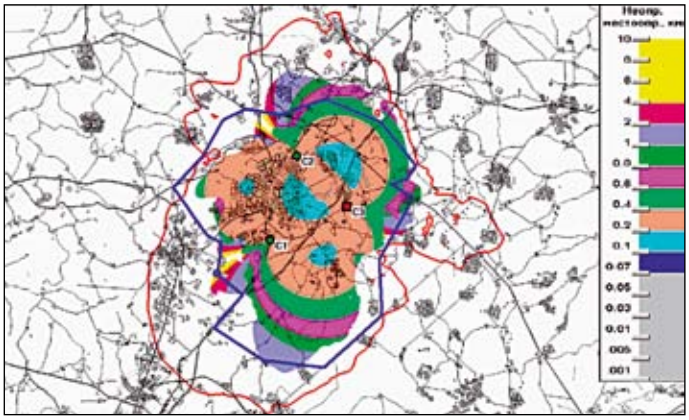

Рис. 6

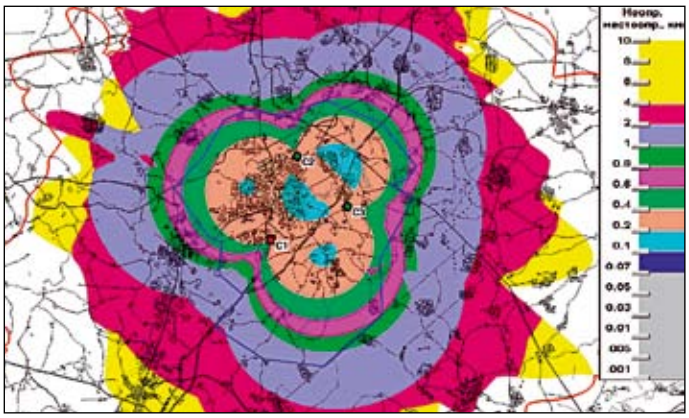

Рис. 7

буемое обслуживание может быть обеспечено тремя стационарными СРК.

Первый пробный план составляем, расположив станции (*С1* — *С3*) на вершинах холмов (см. рис. 1). Поэтому высоту антенны станций можно выбрать, равной 10 м. Зоны охвата радиоконтролем станции *С2* приведены на рис. 2. Зоны отождествляются по цветной палитре, приведенной справа. Граничные значения различных цветовых зон, определяющих различные зоны охвата, установлены равными 0, 12 и 20 дБ для прослушивания, измерения характеристик сигналов и пеленгования соответственно, как указано в табл. 1.

На рис. 3 представлены общие зоны охвата радиоконтролем для всех трех станций. Замкнутым красным контуром в пределах общей зоны охвата пеленгованием указана граница зоны охвата местоопределением путем триангуляции [1], которая соответствует перекрывающимся зонам охвата пеленгованием по меньшей мере от двух станций. Как видно из рис. 3, зона охвата местоопределением в данном случае заметно меньше общей зоны охвата пеленгованием.

Шаблон охвата местоопределением, представляющий собой отображение распределения НМО в пределах общей зоны охвата местоопределением [1], представлен на рис. 4. Границы градаций различных подзон НМО, указанных различными цветами, определяются палитрой, приведенной с правой стороны рис. 4. Красный контур на рис. 4 соответствует границам общей зоны охвата пеленгованием, указанной на рис. 3 подзоной желтого цвета.

Как видно из рис. 4, при данном расположении станций местоопределение передатчиков категории I обеспечивается в пределах всего города и его ближайших пригородов. Большая часть города и его ближайшие пригороды обслуживаются с НМО в пределах 0,2—0,4 км (зона светло-коричневого цвета), однако имеются два «пятна» с НМО 0,1—0,2 км (зоны бирюзового цвета). В полном соответствии с теорией эти «пятна» лежат там, где линии пеленгов от станций *С1* и *С2* пересекаются под углами, близкими 90°. К периферии общей зоны охвата местоопределением НМО увеличивается до 1—2 км (зона голубого цвета). В пределах шаблона имеется несколько небольших «пятен» белого цвета, которые при данном рельефе местности и выбранных параметрах не обслуживаются не только местоопределением, но и пеленгованием, что также видно из рис. 3.

Пусть синий контур на рис. 4 представляет собой границу административного района, который находится в зоне ответственности рассматриваемого города. Тогда можно рассчитать численные значения охвата данного района местоопределением в подзонах с разными градациями НМО. Эти данные указаны в табл. 2 в столбце «Первый вариант» (все величины в табл. 2 округляются программой расчетов до 1%). Из табл. 2 следует, что данный район обслуживается местоопределением передатчиков категории I на 97% при наличии только четырех градаций НМО, причем доминируют две градации: 0,2—0,4 км (63%) и 0,4—0,6 км (24%).

Из сравнения рис. 2 и 4 видно, что станция *С2* одна обеспечивает прослушивание и измерение характеристик сигналов в пределах всей зоны охвата местоопределением. Поэтому ее можно сделать полностью оборудованной и обслуживаемой, а две другие могут быть необслуживаемыми автоматическими пеленгаторами. Однако для обеспечения бóльшей надежности полностью оборудовать можно еще одну станцию, хотя она может быть и необслуживаемой.

На практике может оказаться, что вершины холмов, на которых предполагается разместить антенны стационарных СРК, уже заняты антеннами мощных передатчиков, напри-

Таблица 2

Градации НМО, км	Процент площади очерченного района	
	Первый вариант	Второй вариант
0,001—0,07	—	—
0,07—0,1	—	—
0,1—0,2	3	7
0,2—0,4	63	44
0,4—0,6	24	14
0,6—0,8	7	6
0,8—1	—	4
1—2	—	5
2—4	—	1
4—10	—	1
Суммарный %	97	82

мер вещательных, и нужно искать другие варианты расположения СРК с тем, чтобы выполнить условия их защиты от мощных излучений в соответствии с требованиями, приведенными в [10]. Это легко сделать, повторив расчеты для других ситуационных планов размещения станций.

В качестве примера на рис. 5 показаны общие зоны охвата радиоконтролем при втором варианте расположения станций ближе к городу, а на рис. 6 — соответствующий шаблон охвата местоопределением. Поскольку в данном случае антенны станций располагаются на склонах холмов в точках, имеющих меньшие высоты местности, что видно из сравнения рис. 5 и 1, их высоты увеличены до 30 м. Из-за меньшего расстояния между пеленгаторами число и размеры «пятен», имеющих значения НМО в пределах 0,1—0,2 км, увеличились. Однако НМО на периферии общей зоны охвата местоопределением также увеличилась до 2—4 км (коричневая подзона) и даже до 4—10 км (желтая подзона) в пределах небольших участков, где линии пеленгов от станций *С3 — С2* и *С3 — С1* проходят под углами, близкими к 0°. Это подтверждается результатами расчетов, указанными в табл. 2 (второй вариант). Территория рассматриваемого района, обслуживаемая местоопределением передатчиков категории I, для второго варианта расположения стационарных станций радиоконтроля уменьшилась до 82% в основном за счет уменьшения площади подзон с НМО в пределах 0,2—0,4 км и 0,4—0,6 км.

Приведенные выше примеры показывают, что в каждом случае можно выполнить несколько пробных расчетов и по их результатам выбрать вариант, являющийся лучшим по совокупности желательных признаков. При этом не исключено, что после обследования планируемых площадок и уточнения точек расположения антенн СРК, необходимо будет провести уточняющие расчеты.

Для сравнения на рис. 7 приведен шаблон охвата местоопределением станциями *С1—С3* при втором варианте их расположения и применительно к контролируемым передатчикам категории II. Как видно из рис. 7, зоны охвата радиоконтролем и шаблон охвата местоопределением значительно расширяются, обеспечивая 100%-ный охват местоопределением территории, значительно превышающей границы административного района, очерченного синим контуром. Вместе с тем минимальные величины НМО в центральной части шаблона остаются теми же, что и применительно к передатчикам категории I. Шаблон расширяется за счет появления подзон с большими величинами НМО, поскольку на периферии общей зоны охвата местоопределением линии пеленгов от станций *С1—С3* по мере приближения к границам зоны пересекаются под все более острыми углами.

В большинстве случаев для эффективного функционирования локальных сетей требуется минимум три станции, чтобы обеспечивался взаимный охват территорий, не обслуживаемых только двумя станциями и расположенных вдоль соединяющих их линий. Однако имеются случаи, когда линии, соединяющие две станции, могут быть расположены в пределах местности, где не может быть большого числа контролируемых передатчиков, например в случае двух близлежащих городов, разделенных относительно малонаселенной сельской местностью, или городов, разделенных поймами рек. Тогда достаточно эффективными могут быть и сети, состоящие только из двух станций.

Отметим, что описанная методика расчета шаблонов охвата местоопределением не учитывает возможности возникновения в реальных условиях дополнительных погрешностей пеленгования и ложных пеленгов [11]. Поэтому значения НМО, рассчитанные по данной методике, являются минимально возможными и обеспечиваемыми только в некоторых идеализированных условиях. Тем не менее знание этих потенциальных возможностей сетей радиоконтроля является важным для их оптимального планирования.

Планирование и оптимизация сети, состоящей из большого числа станций. В тех случаях, когда нужно охватить сплошным радиоконтролем достаточно большие регионы, на что требуется большое число станций, планирование может быть

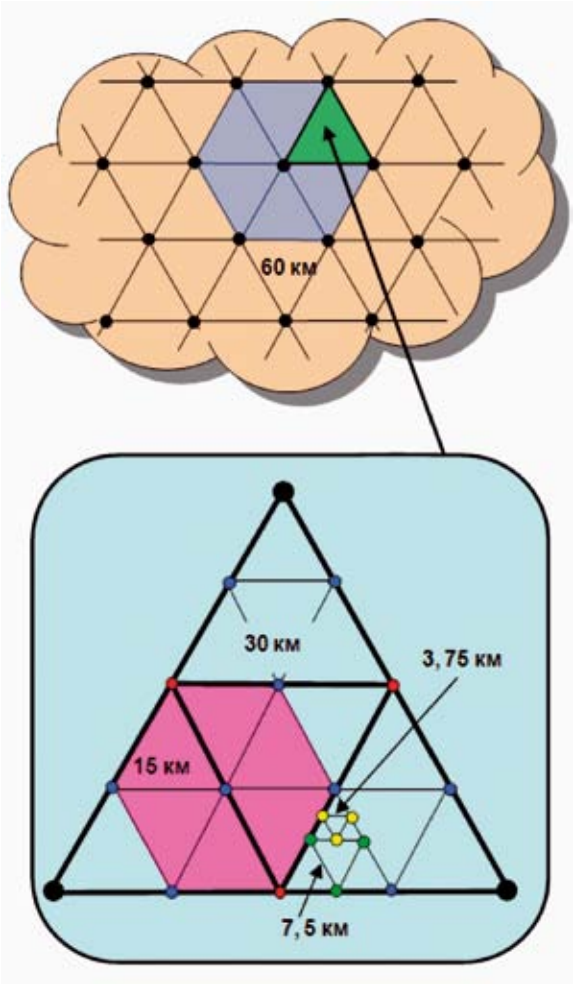

Рис. 8

осуществлено на базе теории регулярных сетей [12]. Такой подход позволяет реализовать сеть с бо́льшими расстояниями между станциями (включая дистанционные необслуживаемые пеленгаторы) в сельской местности и с меньшими расстояниями в пределах городов или больших промышленных зон с большой плотностью контролируемых передатчиков, когда неопределенность пеленгования в значительной степени увеличивается за счет отражений от зданий и металлических конструкций [11]. Если в данном регионе уже сформировано некоторое подобие регулярной сети стационарных СРК, существующие станции предпочтительно «вписать» во вновь проектируемую сеть.

Сеть с переменной плотностью СРК реализуется на базе ячеек в виде равносторонних шестиугольников, которые, в свою очередь, состоят из шести элементарных равносторонних треугольников с расположением станций во всех узлах сети (см. рис. 8). Как видно из рис. 8, возможно последовательное дробление элементарных треугольников первичной сети на три более мелких равносторонних треугольника с расстояниями между станциями $L/2$, $L/4$, $L/8$ и т. д. По-видимому, в больших городах и промышленных зонах наименьшие расстояния между стационарными СРК на практике могут составлять величины порядка $L/8 = 7{,}5$ км или даже $L/16 = 3{,}75$ км. В такой сети СРК с их переменной плотностью любую стационарную станцию, расположенную в произвольной точке, можно рассматривать как принадлежащую к существующей или будущей сплошной регулярной сети радиоконтроля переменной плотности с неопределенностью, не превышающей 2,17 км. Это облегчает «вписывание» существующих станций в новую большую сеть.

Расчеты для ОВЧ/УВЧ диапазона с использованием специализированного программного обеспечения [8, 9] показали, что для среднепересеченной местности максимальное расстояние между стационарными станциями L в первичной сети может составлять $L_m = 60$ км применительно к контролируемым передатчикам категории III. Взяв такую первичную сеть за исходную, рассмотрим параметры этой сети применительно к контролируемым передатчикам категорий I—III, а также параметры уплотненных участков сети с расстояниями между станциями 30, 15 и 7,5 км.

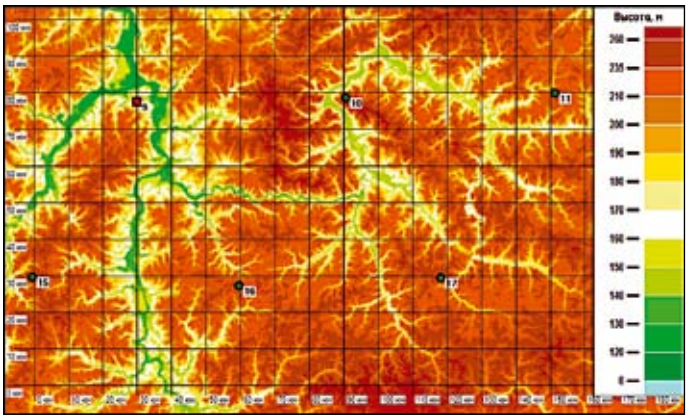

Рис. 9

Для этого в пределах умеренно пересеченной местности (Среднерусская возвышенность к югу от Москвы) были сформированы соответствующие гипотетические сети, состоящие из 42 станций (шесть рядов из семи станций в регулярной сети) с указанными выше расстояниями между станциями. Местоположение станций варьировалось в пределах до $\pm 0{,}07L$, чтобы станции по возможности приходились на возвышенности, как это показано на рис. 9 применительно к сети с $L_m = 60$ км, для увеличения эффективных высот их антенн. Физические высоты антенн были выбраны равными 30 м, однако если станция все же попадала в низину, высота ее антенны принималась равной 50 м.

Для каждой сети проводились расчеты общих зон охвата прослушиванием, измерениями, пеленгацией и местоопределением, а также шаблоны охвата местоопределением при неопределенности пеленгования всех станций, равной 1° СКО отклонения, и вероятности 0,5 нахождения искомого передатчика в эллипсе НМО. По этим данным определялась статистика зон охвата территории и подзон НМО в пределах четырех различных участков сети, содержащих семь станций и отстоящих от краев сети примерно на $L/2$ с тем, чтобы исключить неполный охват местоопределением на этих краях. Левый верхний участок сети с $L_m = 60$ км, содержащий семь станций, показан на рис. 9 (станция 18 скрыта палитрой вы-

Таблица 3

L, км	Категория пердатчика	Статистика зон охвата территории, %				Статистика НМО: НМО, км/охват, %
		Прослушиванием	Измерениями	Пеленгованием	Местоопределением	
60	I	94—100	50—69	26—36	0	—
	II	100	100	98—100	64—88	0,6—0,8/0—2; 0,8—1,0/20—34; 1,0—2,0/22—33; > 2,0/15—21
	III	100	100	100	98—100	0,6—0,8/1—3; 0,8—1,0/33—50; 1,0—2,0/47—62; > 2,0/0—2
30	I	100	97–100	77–88	8–15	0,2—0,4/0—3; 0,4—0,6/2—6; 0,6—0,8/2—4; > 0,8/4—7
	II	100	100	100	100	0,2—0,4/3—6; 0,4—0,6/82—88; 0,6—0,8/8—13; > 0,8/0—1
15	I	100	100	100	95–96	0,1—0,2/0—1; 0,2—0,4/80—85; 0,4—0,6/4—7; > 0,6/6—7
	II	100	100	100	100	0,1—0,2/0—1; 0,2—0,4/99—100; > 0,4/0—1
7,5	I	100	100	100	100	0,07 — 0,1/1—2; 0,1—0,2/97—98; 0,2—0,4/0—1; >0,4/0

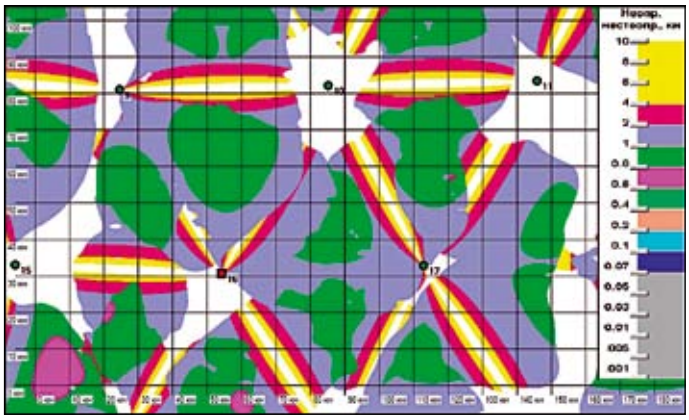

Рис. 10

сот). Затем по четырем выборкам данных определялись границы изменения тех или иных расчетных величин. Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Из табл. 3 видно, что в первичной сети с L_m = 60 км достаточно полный охват местоопределением обеспечивается только для передатчиков категории III. Доминирующими величинами НМО передатчиков этой категории являются 0,8—1,0 км (33—50% территории) и 1—2 км (47—62% территории). Для передатчиков категории II обеспечивается 98—100%-ный охват территории пеленгованием, что облегчает их поиск с помощью подвижных контрольных станций. Однако местоопределение стационарными станциями обеспечивается лишь в пределах 64—88% территории, как показано на рис. 10. На этом рисунке видны необслуживаемые участки, расположенные вдоль линий, соединяющих станции, а также расположенные вокруг станций. Участки вокруг станций хорошо охватываются пеленгованием собственными станциями, но являются наиболее удаленными от других станций, поэтому пеленгование другими станциями здесь может не обеспечиваться и в результате не может быть осуществлено местоопределение путем триангуляции.

Для передатчиков категории I пеленгованием охватывается только 26 — 36% территории, а местоопределение не обеспечивается ни в одной точке сети. Таким образом, первичная сеть стационарных станций с L_m = 60 км практически не обеспечивает радиоконтроль маломощных передатчиков с низкими антеннами, представленными категорией I, а также имеет большие ограничения в местоопределении передатчиков категории II.

Технические характеристики сети значительно улучшаются при изменении расстояния между станциями с 60 км до 30 км, хотя затраты на построение такой сети возрастают как минимум в 2 раза. Полный охват территории местоопределением уже обеспечивается применительно к передатчикам категории II с доминирующими значениями НМО в пределах 0,4—0,6 км (82—88% территории). Однако применительно к передатчикам категории I все еще не обеспечивается 100%-ный охват территории пеленгованием, а местоопределение стационарными станциями осуществляется лишь в пределах 8 — 15% территории. Исходя из этого, можно сделать вывод, что и сети с $L = L_m/2$ = 30 км не обеспечивают эффективное пеленгование и местоопределение передатчиков категории I.

Стопроцентный охват пеленгованием передатчиков категории I обеспечивается сетями с $L = L_m/4$ = 15 км, когда 95—96% территории охватывается и местоопределением с доминирующими значениями НМО в пределах 0,2—0,4 км (80—85% территории). Еще лучшие технические показатели имеют сети с $L = L_m/8$ = 7,5 км, где обеспечивается 100%-ный охват местоопределением передатчиков категории I с доминирующими значениями НМО в пределах 0,1—0,2 км (97—98% территории). Но это достигается за счет существенного увеличения числа стационарных СРК, т. е. затрат на построение сети. Однако при этом снижаются требования к числу подвижных СРК.

Данные табл. 3 позволяют оптимизировать конфигурацию развертываемой сети, исходя из поставленных задач и имеющихся в наличии и планируемых ресурсов.

Таким образом, предложенные принципы, показатели, критерии и учитывающее их программное обеспечение позволяют проводить эффективное планирование новых глобальных и локальных сетей радиоконтроля в ОВЧ/УВЧ диапазоне, а также оптимизацию существующих сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Kogan V.V., Pavliouk A.P.** Methodology of spectrum monitoring networks planning // Proc. of the 17th International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility. — Wroclaw, Poland, 2004.
2. **Нурматов Б.Н., Павлюк А.П., Титов А.В.** Использование новейших научно-технических достижений для проектирования сети радиоконтроля Кыргызской Республики // Материалы 6-го Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии. — СПб, 2005.
3. **Bondarenko K.V., Krutova O.E., Pavlyuk A.P.** Experience in planning of local spectrum monitoring networks of the Republic of Tajikistan based on advanced planning tools // Proc. of the 19th International Wroclaw Symposium on Electromagnetic Compatibility. — Wroclaw, Poland, 2008.
4. **Krutova O.E., Luther W., Pavlyuk A.P.** Location characteristics of the USA HF international spectrum monitoring network using new software // Proc. of the 18th International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility. — Wroclaw, Poland, 2006.
5. **Крутова О.Е., Павлюк А.П., Плосский А.Ю.** Улучшение показателей российской сети радиоконтроля ВЧ диапазона // Электросвязь. — 2008. — №9.
6. Recommendation ITU-R.R.1546-3. 11 — 2007. Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz.
7. Recommendation ITU-R.R.1812. 11 — 2007. A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF band.
8. **Krutova O.E., Kogan V.V., Pavliouk A.P.** Advanced software for planning and optimization of spectrum monitoring networks // Proc. of the 6th International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology. — Saint-Petersburg, Russia, 2005.
9. Международный союз электросвязи. Справочник по компьютерным методам управления использованием радиочастотного спектра. — Женева, Бюро радиосвязи. — 2005.
10. Международный союз электросвязи. Справочник по радиоконтролю. — Женева, Бюро радиосвязи. — 2002.
11. **Быховский М.А. и др.** Управление радиочастотным спектром и электромагнитная совместимость радиосистем. — М.: Эко-Трендз, 2006.
12. Отчет МСЭ-Р BS.944 (1982). Theoretical network planning.

Получено 3.12.08