

**МСЭ-R**  
Сектор радиосвязи МСЭ

**Отчет МСЭ-R SM.2356-0**  
(06/2015)

**Процедуры планирования и оптимизации  
сетей контроля за использованием  
спектра в диапазоне частот ОВЧ/УВЧ**

**Серия SM**  
**Управление использованием спектра**

## Предисловие

Роль Сектора радиосвязи заключается в обеспечении рационального, справедливого, эффективного и экономичного использования радиочастотного спектра всеми службами радиосвязи, включая спутниковые службы, и проведении в неограниченном частотном диапазоне исследований, на основании которых принимаются Рекомендации.

Всемирные и региональные конференции радиосвязи и ассамблеи радиосвязи при поддержке исследовательских комиссий выполняют регламентарную и политическую функции Сектора радиосвязи.

## Политика в области прав интеллектуальной собственности (ПИС)

Политика МСЭ-R в области ПИС излагается в общей патентной политике МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК, упоминаемой в Приложении 1 к Резолюции МСЭ-R 1. Формы, которые владельцам патентов следует использовать для представления патентных заявлений и деклараций о лицензировании, представлены по адресу: <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en>, где также содержатся Руководящие принципы по выполнению общей патентной политики МСЭ-T/МСЭ-R/ИСО/МЭК и база данных патентной информации МСЭ-R.

### Серии Отчетов МСЭ-R

(Представлены также в онлайн-форме по адресу: <http://www.itu.int/publ/R-REP/en>.)

Серия	Название
<b>BO</b>	Спутниковое радиовещание
<b>BR</b>	Запись для производства, архивирования и воспроизведения; пленки для телевидения
<b>BS</b>	Радиовещательная служба (звуковая)
<b>BT</b>	Радиовещательная служба (телевизионная)
<b>F</b>	Фиксированная служба
<b>M</b>	Подвижные службы, служба радиоопределения, любительская служба и относящиеся к ним спутниковые службы
<b>P</b>	Распространение радиоволн
<b>RA</b>	Радиоастрономия
<b>RS</b>	Системы дистанционного зондирования
<b>S</b>	Фиксированная спутниковая служба
<b>SA</b>	Космические применения и метеорология
<b>SF</b>	Совместное использование частот и координация между системами фиксированной спутниковой службы и фиксированной службы
<b>SM</b>	<b>Управление использованием спектра</b>

*Примечание.* – Настоящий Отчет МСЭ-R утвержден на английском языке Исследовательской комиссией в соответствии с процедурой, изложенной в Резолюции МСЭ-R 1.

Электронная публикация  
Женева, 2015 г.

© ITU 2015

Все права сохранены. Ни одна из частей данной публикации не может быть воспроизведена с помощью каких бы то ни было средств без предварительного письменного разрешения МСЭ.

## ОТЧЕТ МСЭ-R SM.2356-0\*

**Процедуры планирования и оптимизации сетей контроля за использованием спектра в диапазоне частот ОВЧ/УВЧ**

(2015)

**Резюме**

В настоящем Отчете рассматриваются три различных метода. Первый метод объединяет результаты измерений угла прихода сигналов (АОА) от нескольких станций с использованием пеленгаторных антенных решеток для определения местонахождения источника излучения. Второй метод объединяет результаты измерений разности времени между моментами прихода сигналов (TDOA) как минимум от трех станций (для определения географического местоположения требуются две пары результатов измерения TDOA между тремя станциями). Третий метод объединяет результаты измерений АОА и TDOA для осуществления обработки данных определения географического местоположения (требуются как минимум две станции: одна должна поддерживать измерение обоих параметров: АОА и TDOA, вторая – только TDOA). Настоящий Отчет содержит три приложения.

Приложение 1. Практический пример планирования локальной сети SMN на основе АОА на относительно ровной местности.

Приложение 2. Планирование сетей SMN на основе АОА в горных и холмистых районах.

Приложение 3. Рабочие характеристики приемников и их влияние на зону охвата сети.

---

\* Настоящий Отчет должен быть доведен до сведения 1-й Исследовательской комиссии МСЭ-D.

## СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
1 Введение.....	4
2 Основные решения, принимаемые администрациями в ходе подготовки к процедуре планирования.....	5
3 Планирование и оптимизация сетей контроля за использованием спектра на основе АОА.....	7
3.1 Основные принципы существующей общей методики.....	7
3.2 Компьютерное моделирование сетей SMN.....	9
3.3 Уточнение мест расположения станций в ходе обследования площадки и приобретения участка.....	22
3.4 Планирование малых сетей SMN и локальных сетей SMN специального назначения.....	24
4 Планирование и оптимизация сетей контроля за использованием спектра на основе TDOA.....	24
5 Планирование гибридных сетей контроля.....	24
5.1 Сравнение методов определения географического местоположения.....	25
5.2 Моделирование охвата функцией определения географического местоположения и точности такого определения.....	25
5.3 Краткие характеристики гибридной системы.....	25
6 Обобщенный метод планирования малых сетей SMN и локальных сетей SMN специального назначения.....	26
6.1 Компьютерное моделирование малых SMN и локальных сетей SMN специального назначения.....	27
7 Заключение.....	33
Приложение 1 – Практический пример планирования локальной сети SMN на основе АОА на относительно ровной местности.....	33
A1-1 Введение.....	33
A1-2 Исходные данные для планирования топологии сети контроля за использованием спектра.....	34
A1-3 Оптимизация топологии простейшей сети контроля за использованием спектра.....	34
A1-4 Регулярная структура топологии крупной сети контроля за использованием спектра.....	36
A1-5 Нерегулярная структура топологии сети контроля за использованием спектра.....	37

Стр.

Приложение 2 – Планирование сетей SMN на основе АОА в горных и холмистых районах....	39
A2-1 Предисловие .....	39
A2-2 Зоны охвата функциями радиопеленгации и определения местоположения для антенн станций, расположенных на возвышенностях .....	40
A2-3 Снижение вероятности эффектов отражения .....	42
A2-4 Заключительные замечания.....	44
Приложение 3 – Рабочие характеристики приемников и их влияние на зону охвата сети.....	45
A3-1 Влияние рабочих характеристик приемника на пространственное разнесение станций сети определения географического местоположения.....	45
A3-2 Мгновенный динамический диапазон.....	45
A3-3 Фазовый шум.....	45
A3-4 Влияние на зону охвата .....	46
A3-5 Заключение .....	46
Справочные документы .....	47

## 1 Введение

Основной целью планирования и оптимизации сетей контроля за использованием спектра (SMN) является обеспечение необходимых функций контроля на территориях с высокой плотностью передатчиков при использовании минимального количества станций контроля. Этого можно достичь, применяя антенные мачты, имеющие минимально возможную высоту, и поддерживая при этом высокое качество радиочастотных (РЧ) измерений. К территориям, представляющим интерес, могут относиться центры густонаселенных районов или районов промышленного развития.

Для такого рода планирования и оптимизации в диапазонах частот ОВЧ/УВЧ (на основе измерения угла прихода сигнала (АОА)) применяется компьютерная методика, разработанная в последние годы и представленная в разделе 6.8 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.). По сравнению с предыдущими процедурами, основанными исключительно на экспертных оценках разработчиков сетей, эта методика является огромным шагом вперед. В Рекомендации МСЭ-R SM.1392-2 приводится ссылка на раздел 6.8 и подчеркиваются потенциальные технические и экономические преимущества эффективного планирования и оптимизации сетей SMN в развивающихся странах. Эти преимущества могут быть реализованы только при использовании компьютерных методов и также могут в полной мере применяться в развивающихся странах.

Практика показывает, что с помощью подходящих компьютерных моделей и соответствующих расчетов можно сократить количество стационарных станций контроля, требуемых для охвата заданного района, относительно количества сетей SMN, запланированных на основе экспертных оценок. Этого можно добиться, выбирая наиболее подходящие места расположения для станций и оптимальные значения высоты антенн с учетом особенностей окружающей местности.

С другой стороны, практический опыт внедрения данной методики с использованием подходящего программного обеспечения<sup>1</sup>, применительно к сетям SMN различного состава и развертываемым в различных географических условиях при различных уровнях финансовых возможностей администраций, показывает, что планирование и оптимизация – достаточно сложный процесс. Он состоит из множества различных этапов и определяется основными требованиями планируемой сети SMN, которые должны быть заданы заранее. Кроме того, на самом этапе планирования возникает необходимость в принятии ряда административных решений для оптимизации этого процесса. В существующем руководстве все указанные аспекты рассматриваются не полностью.

В связи с этим целесообразно было бы дополнить принятую в настоящее время методику более подробным руководством и пошаговым алгоритмом внедрения. Это позволит повысить эффективность процесса в целом и минимизировать трудозатраты. Данный вопрос является основной темой настоящего Отчета.

Как один из вариантов, можно использовать сочетание нескольких методов определения географического местоположения при разработке сетей SMN. Для обработки результатов определения географического местоположения существуют разнообразные методы. В настоящем Отчете рассматриваются три различных метода. Первый метод объединяет результаты измерений угла АОА для сигналов от нескольких станций с использованием пеленгаторных антенных решеток для определения местонахождения источника излучения. Второй метод объединяет результаты измерений разности времени между моментами прихода (TDOA) сигналов как минимум от трех станций (для определения географического местоположения требуются две пары результатов измерения TDOA между тремя станциями).

Третий метод объединяет результаты измерений АОА и TDOA для выполнения обработки данных определения географического местоположения (требуются как минимум две станции; одна должна поддерживать измерение обоих параметров: АОА и TDOA, вторая – только TDOA). Для упрощения эти методы получили следующие названия:

- АОА;
- TDOA; и

---

<sup>1</sup> Программное обеспечение подобного рода описано в Приложении 5 Справочника МСЭ по компьютерным методам управления использованием спектра (CAT) (издание 2015 г.).

- гибридный метод АОА/TDOA.

Наконец, следует принимать во внимание эксплуатационные параметры приемника, такие как коэффициент шума/чувствительность к шуму, фазовый шум и т. д. Приемники с более высокими эксплуатационными характеристиками позволяют добиться большего разнесения, благодаря которому для покрытия определенной территории потребуется меньшее количество станций контроля. Настоящий Отчет содержит три приложения.

Приложение 1. Практический пример планирования локальной сети SMN на основе АОА на относительно ровной местности.

Приложение 2. Планирование сетей SMN на основе АОА в горных и холмистых районах.

Приложение 3. Рабочие характеристики приемников и их влияние на зону охвата сети.

## **2 Основные решения, принимаемые администрациями в ходе подготовки к процедуре планирования**

На первом этапе планирования сети SMN необходимо принять основные решения, касающиеся поставленных задач, конфигурации и характеристик системы с учетом имеющихся и предполагаемых финансовых ресурсов. Помимо пунктов, указанных в Рекомендации МСЭ-R SM.1392-2, должны быть решены следующие вопросы.

- **Размер контролируемой территории**

Под этим подразумевается общая площадь территории, охватываемой системой контроля.

- **Сплошной или локальный охват территории фиксированными станциями**

Каким – сплошным или локальным – должен быть охват заданной территории и будет ли это обеспечиваться отдельными локальными вспомогательными сетями, предоставляющими сплошной охват только в пределах границ своего сегмента общей контролируемой территории?

- **Технология: АОА, TDOA или гибридная АОА/TDOA**

Учитывая информацию Отчета МСЭ-R SM.2211-1, необходимо изучить требования к определению географического местоположения, чтобы выяснить, какие из технологий являются наиболее подходящими для разработки конкретной сети SMN.

- **Выбор между созданием новой сети SMN и модернизацией существующей сети**

Конкретная администрация должна принять решение, в какой мере следует повторно использовать действующие фиксированные станции в новой сети SMN и нуждается ли их оборудование в замене или модернизации с целью расширения охвата.

- **Категории испытательных (проверяемых) передатчиков и основные задачи контроля: прослушивание, измерение характеристик излучения, радиопеленгация (DF) и расчет местоположения источника излучения**

В зонах сплошного (или близкого к сплошному) охвата важно определить требуемые зоны охвата для четырех указанных функций контроля применительно к категориям различных испытательных передатчиков (см. ниже раздел 3.1) и контрольным частотам. Возможно применение комбинированных методов. Например, можно определить требования к сплошному охвату функцией определения местоположения для испытательных передатчиков более высокой категории (например, категории II) и к сплошному охвату только функцией радиопеленгации для передатчиков более низкой категории (например, категории I).

- **Относительные пропорции количества станций фиксированной и подвижной связи**

При условии, что для радиопеленгаторного наведения на источник излучения требуется подвижная станция, необходимо определить соответствующую пропорцию количества фиксированных и подвижных станций. Это будет зависеть от ряда факторов, включая функцию контроля, используемую для обеспечения сплошного (или близкого к сплошному) охвата. При наличии сплошного охвата функцией определения местоположения вероятные координаты источника излучения будут получены исходя из точки пересечения линий

пеленга фиксированных станций. В этом случае понадобится меньшее количество подвижных станций, и радиопеленгаторное наведение будет выполнено быстро. При наличии сплошного охвата только функцией радиопеленгации наведение потребует больших усилий и времени. В связи с этим возникнет необходимость в большем количестве подвижных станций. Для районов с большой территорией, в которых отсутствует охват функцией радиопеленгации фиксированными станциями, потребуется использование дополнительных подвижных станций.

Решения, принятые на первых этапах процедуры планирования, могут быть изменены с учетом сведений, полученных в процессе планирования, а также имеющихся финансовых ресурсов.

Кроме того, на начальной стадии планирования необходимо собрать как можно больше информации о соответствующем районе (административной, социально-экономической и т. д.), в том числе:

- подробные карты с обозначением населенных пунктов, существующих дорог, железнодорожных путей и т. д.;
- распределение плотности населения и экономических зон по всему району;
- распределение плотности передающих систем в районе;
- данные из национального реестра частот о расположении и технических характеристиках передатчиков большой мощности и высоте их антенн;
- карты с обозначением высоковольтных линий электропередачи и относящихся к ним электрических подстанций;
- данные о расположении мачт СВЧ-антенн и прочих высоких металлических конструкций (при их наличии).

Кроме того, при принятии решения необходимо учитывать нижеперечисленное.

– **Определение требований к аппаратуре радиоконтроля**

Для определения граничных значений напряженности поля необходимо задать требования к эксплуатационным характеристикам оборудования станции контроля, в частности коэффициент усиления приемной антенны, затухание сигнала в кабеле, чувствительность приемника и т. д.

– **Выбор модели распространения радиоволн**

Используемая модель распространения радиоволн на РЧ в значительной степени влияет на процесс планирования сетей SMN. Следовательно, необходимо выбирать модель, подходящую для зоны обслуживания станции контроля. Информация о моделях распространения приведена в разделе 6.4 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.). Например, могут применяться модели распространения, которые основаны на методике, описываемой в Рекомендации МСЭ-R P.1546-5 или P.1812-3. Как показывает практика, расчеты на основе Рекомендации МСЭ-R P.1546-5 зачастую дают более точный прогноз для квазиплоского рельефа, в то время как Рекомендация МСЭ-R P.1812-3 больше подходит для холмистой и горной местности. Однако эти модели не всегда точны, поскольку каждый прогноз существенно зависит от конкретной ситуации.

Для городских районов следует использовать модели распространения, разработанные специально для данных условий, например модель Окумура-Хата или модель Уолфиш-Икегами 231 COST. Разработаны новые детерминистские модели распространения, в которых используются трехмерные цифровые карты городов и зданий. Многие из этих моделей основаны на методах геометрической оптики (например, модели с трассировкой лучей) и потенциально дают более точные результаты, нежели классические методы.

– **Определение зон, в которых следует избегать размещения станций контроля**

Необходимо определить зоны, в которых следует избегать размещения станций контроля. Такими зонами могут быть закрытые или секретные места либо районы с высоким уровнем напряженности поля. Во втором случае уровень граничной напряженности поля (квадратный корень из суммы квадратов) для сигналов в пределах полосы пропускания контрольного приемника составляет 30 мВ/м (то есть 90 дБ (мкВ/м) согласно разделу 2.6



Справочника МСЭ. Рекомендация МСЭ-R SM.575-2 может использоваться для расчета граничной напряженности поля, необходимой для защиты фиксированных станций контроля от помех, создаваемых близко расположенными или мощными передатчиками.

– **Погрешность определения местоположения (для сетей SMN на основе AOA/TDOA)**

При планировании станций на основе AOA/TDOA необходимо определить максимально допустимую погрешность местоположения источника излучения. Эта погрешность определяет основные требования к эксплуатационным характеристикам сети контроля. Здесь стоит отметить, что для метода AOA требуются как минимум две станции контроля, а для метода TDOA – три станции.

Для рассматриваемого района необходимо также получить статистические данные (за несколько лет) о запросах на услуги контроля, которые могут быть предоставлены только подвижными станциями (например, поиск нелегальных передатчиков, разрешение случаев создания помех и т. д.). Такие статистические данные могут использоваться для определения оптимального соотношения между фиксированными и подвижными станциями.

### **3 Планирование и оптимизация сетей контроля за использованием спектра на основе AOA**

#### **3.1 Основные принципы существующей общей методики**

Методика, представленная в разделе 6.8 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.), основана на расчете и последующем анализе четырех отдельных зон охвата функциями контроля. Для каждой из них требуется свой уровень чувствительности контрольных приемников. Первые три функции:

- прослушивание (максимальная чувствительность приемника – наибольшая зона охвата);
- измерение характеристик излучения (меньший уровень чувствительности приемника – меньшая зона охвата);
- радиопеленгация – DF (минимальный уровень чувствительности приемника – наименьшая зона охвата). Для сравнения: в таблице 6.8-1 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.) предполагаются следующие пороговые значения напряженности поля на границах соответствующих зон охвата:
  - 0 дБ (мкВ/м) для прослушивания;
  - 12 дБ (мкВ/м) для измерения характеристик излучения; и
  - 20 дБ (мкВ/м) для радиопеленгации.

Для целей планирования могут быть приняты другие граничные значения напряженности поля, зависящие от характеристик оборудования и методики измерения характеристик излучения, которые планируется использовать в сети SMN. Эти зоны охвата для каждой станции SMN независимы, и при их объединении формируются общие зоны охвата, соответствующие каждой функции контроля.

Размеры зон фактически определяются топографией района, в котором создается сеть SMN, высотой антенн станций, а также мощностью и высотой антенн передатчиков, подлежащих контролю. Подходящая модель распространения радиоволн приведена в Приложении 5 Рекомендации МСЭ-R P.1546-5. В разделе 1.1 этой Рекомендации описывается специальный метод расчета, рекомендуемый для применения в целях контроля. Кроме того, может использоваться Рекомендация МСЭ-R P.1812-3, а также ряд других моделей распространения радиоволн (см. выше раздел 2).

В таблице 6.8-1 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.) предлагаются три категории маломощных "испытательных передатчиков" с относительно невысокими антеннами, которые могут использоваться для моделирования, имитации и планирования сетей SMN.

Эти категории разделяются по э.и.и.м. следующим образом:

- категория I:  
мощность 10 Вт, высота антенны 1,5 м (передатчики частных подвижных радиостанций (PMR), размещенные в легковых автомобилях);
- категория II:  
мощность 10 Вт, высота антенны 20 м (базовые станции PMR, маломощные радиовещательные передатчики, ТВ-ретрансляторы);
- категория III:  
мощность 20 Вт, высота антенны 40 м (передатчик того же типа, что и категория II, но обладающий несколько большей мощностью и высотой антенны).

Очевидно, что с более высокими антеннами сеть SMN будет более эффективно осуществлять контроль мощных передатчиков.

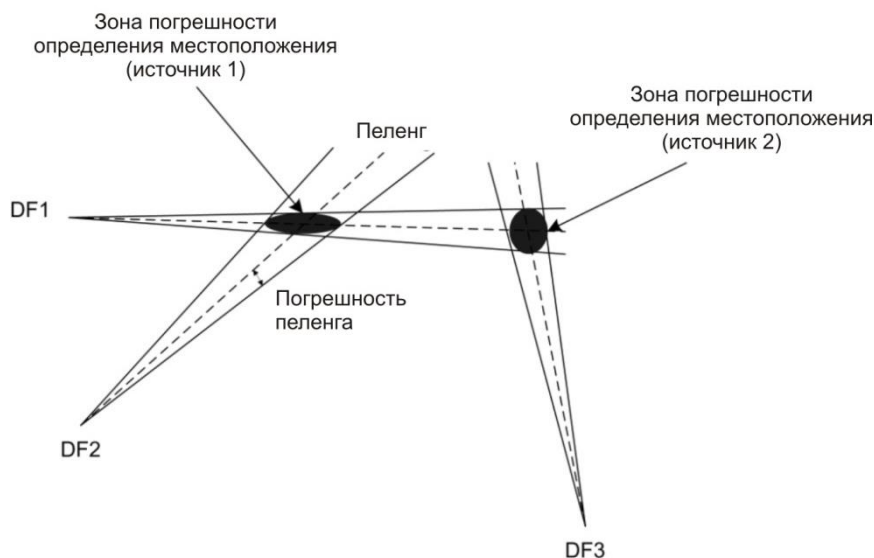
Четвертая функция контроля – определение местоположения. Зона охвата функцией определения местоположения, критически важная для топологии фиксированных станций в сети SMN, основана на методе триангуляции и соответствует пересекающимся зонам охвата функцией радиопеленгации как минимум двух станций в сети SMN. По мере увеличения расстояния между станциями размер пересекающихся зон радиопеленгации (то есть зона охвата функцией определения местоположения) быстро сокращается до нуля. Особенностью зоны охвата функцией определения местоположения является то, что погрешность (или точность) определения местоположения в пределах данной зоны может в значительной степени меняться, что не характерно для трех других функций контроля. Эти изменения погрешностей (временами существенные) в пределах зоны формируют так называемый шаблон охвата функцией определения местоположения (LCT), подробно описанный в 4.7.3.1.4 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.).

В любой точке шаблона LCT погрешность определения местоположения зависит от ряда факторов, основными из которых являются следующие (см. рисунок 1):

- значения погрешности радиопеленгации для радиопеленгаторов, используемых в методе триангуляции, в результате чего появляются секторы, в которых отдельные линии пеленгов распределяются по углу;
- расстояния от радиопеленгаторов до зон пересечения секторов распределения линий пеленга;
- углы пересечения секторов распределения линий пеленга.

РИСУНОК 1

**Факторы, влияющие на погрешность определения местоположения источников радионизлучения**



Таким образом, шаблон LCT крайне важен для многих факторов, и это необходимо учитывать в процессе планирования сети SMN. Кроме того, LCT является наилучшим показателем качества как всей сети SMN, так и различных ее частей.

Большое значение в планировании имеет общая зона охвата функцией радиопеленгации от фиксированных станций, которые дают пеленги в данном районе, упрощая тем самым радиопеленгаторное наведение на источники излучения подвижными станциями, взаимодействующими с фиксированными станциями.

Согласно разделу 6.8 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.) в тех случаях, когда требуется сплошной охват функциями контроля на значительной территории с большим количеством фиксированных станций, планирование подходящей сети SMN может осуществляться на основе теории регулярных сетей, как изложено в Отчете МСЭ-R BS.944. Подобный подход позволяет создавать сети SMN с достаточно большими расстояниями между станциями в сельских районах и меньшими расстояниями в городских или промышленных районах с высокой плотностью передатчиков, подлежащих контролю.

### 3.2 Компьютерное моделирование сетей SMN

Основные этапы:

- 1) постановка задачи;
- 2) оценка охвата действующих станций функцией контроля;
- 3) создание первичной регулярной сети;
- 4) оценка охвата функцией контроля станциями первичной регулярной сети, а также оптимизация количества и характеристик станций;
- 5) разбиение отдельных ячеек первичной сети и дополнительная оптимизация количества и параметров станций;
- 6) уточнение мест расположения и характеристик отдельных станций в компьютерной модели.

Рассмотрим подробнее каждый из указанных этапов.

#### 3.2.1 Постановка задачи

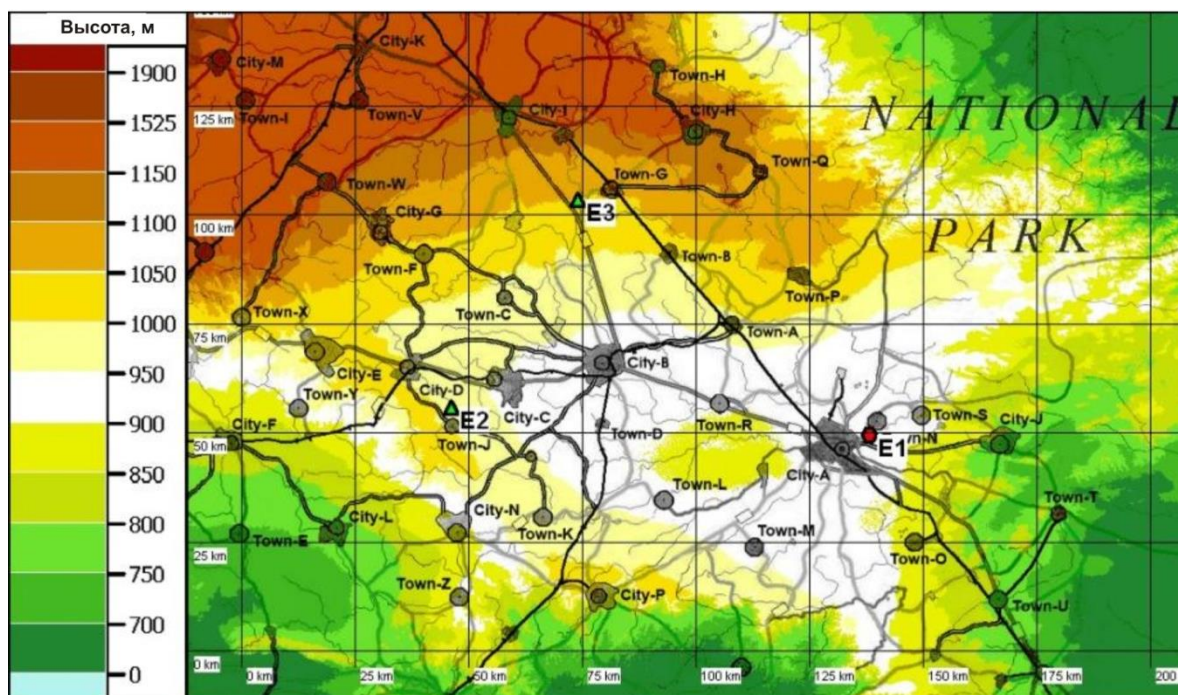
Как только будут, хотя бы предварительно, приняты ключевые решения и собраны необходимые данные, можно приступать к компьютерному моделированию будущей сети SMN. Рассмотрим этапы процесса планирования заданной сети SMN на конкретном примере.

Предположим, что администрация намеревается с учетом имеющихся финансовых ресурсов разработать новую сеть SMN в населенной части рассматриваемой территории, изображенной на рисунке 2 (включая топографические данные). Предположим, что в рассматриваемом районе уже работают три фиксированные станции (E1–E3) с весьма современным оборудованием (среднеквадратичная погрешность радиопеленгации составляет  $1^\circ$ ). Эти станции должны быть включены в состав планируемой сети SMN, не подвергаясь какой-либо модернизации. Высота антенн станций E1 и E2 составляет 30 м, станции E3 – 20 м, и изменение этих значений не предусмотрено.

Кроме того, предполагается, что принято решение обеспечить сплошной охват для всех функций контроля (включая определение местоположения) населенной части рассматриваемой территории с использованием испытательных передатчиков категории II (мощность 10 Вт, высота антенны 20 м). Помимо этого, наиболее экономически развитая часть территории, расположенная между городами А и Е, должна иметь сплошной охват как минимум для функции радиопеленгации с использованием передатчиков категории I (мощность 10 Вт, высота антенны 1,5 м). Согласно расчетам среднеквадратичная точность пеленгации планируемого оборудования составит  $1^\circ$ .

РИСУНОК 2

## Рассматриваемая территория с тремя действующими станциями



Таким образом, мы имеем следующие исходные данные для целей компьютерного моделирования (см. рисунки 2 и 3):

- 1) действующая сеть SMN – три фиксированные станции (E1–E3):
  - станция E1 – высота антенны 30 м;
  - станция E2 – высота антенны 30 м;
  - станция E3 – высота антенны 20 м;
  - среднеквадратичная погрешность пеленгации –  $1^\circ$ ;
- 2) новые требования к сети SMN:
  - сплошной охват населенной части территории всеми функциями контроля, включая определение местоположения с использованием передатчиков категории II (мощность 10 Вт, высота антенны 20 м);
  - сплошной охват территории между городами А и Е как минимум для радиопеленгации с использованием передатчиков категории I (мощность 10 Вт, высота антенны 1,5 м);
  - среднеквадратичная погрешность пеленгации –  $1^\circ$ .

### 3.2.2 Первый этап моделирования сети SMN

#### 3.2.2.1 Оценка охвата действующих станций функциями контроля

Зоны охвата действующих станций рассчитываются для различных функций контроля при помощи компьютерных программ, обеспечивающих (как минимум) функциональные возможности, описываемые в Главе 5 Справочника МСЭ по компьютерным методам управления использованием спектра (издание 2015 г.).

В рассматриваемом примере зоны охвата всех действующих станций для функций прослушивания, измерения характеристик излучения и радиопеленгации показаны на рисунке 3, а для функции определения местоположения (то есть LCT) – на рисунке 4. Расчеты выполнены для частоты 450 МГц и испытательных передатчиков категории II. Данная частота используется по умолчанию во всех последующих расчетах. Зоны зеленого цвета на рисунке 3 соответствуют охвату наиболее чувствительной функцией (прослушивание), зоны розового цвета – менее чувствительной функцией измерения параметров излучения, а зоны желтого цвета обозначают охват наименее чувствительной

функцией радиопеленгации. Шаблон LCT (распределение погрешностей определения местоположения, изображенное на рисунке 4 цветовыми оттенками) рассчитан для 50%-й вероятности определения местоположения искомого передатчика в соответствующем эллипсе вероятности (см. п. 4.7.3.1.4 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра, издание 2011 г.).

Границы объединенной зоны охвата функцией радиопеленгации (изображенной желтым цветом на рисунке 4) обозначаются красной линией. На рисунке 3 красной линией обозначены границы шаблона LCT, обозначенного совокупностью цветовых зон на рисунке 4.

На рисунке 4 показано, что охват функцией определения местоположения, обеспечиваемый действующими станциями, весьма далек от соответствия заданным требованиям даже при использовании испытательных передатчиков категории II.

Выводы в данном конкретном случае очевидны и не требуют каких-либо подробных расчетов. Однако в других случаях, если поставлена задача оптимизации действующей, оптимально плотной сети SMN, такие расчеты являются критически важными и могут служить основой для последующих этапов компьютерного моделирования.

РИСУНОК 3

Общие зоны охвата трех действующих станций функциями контроля

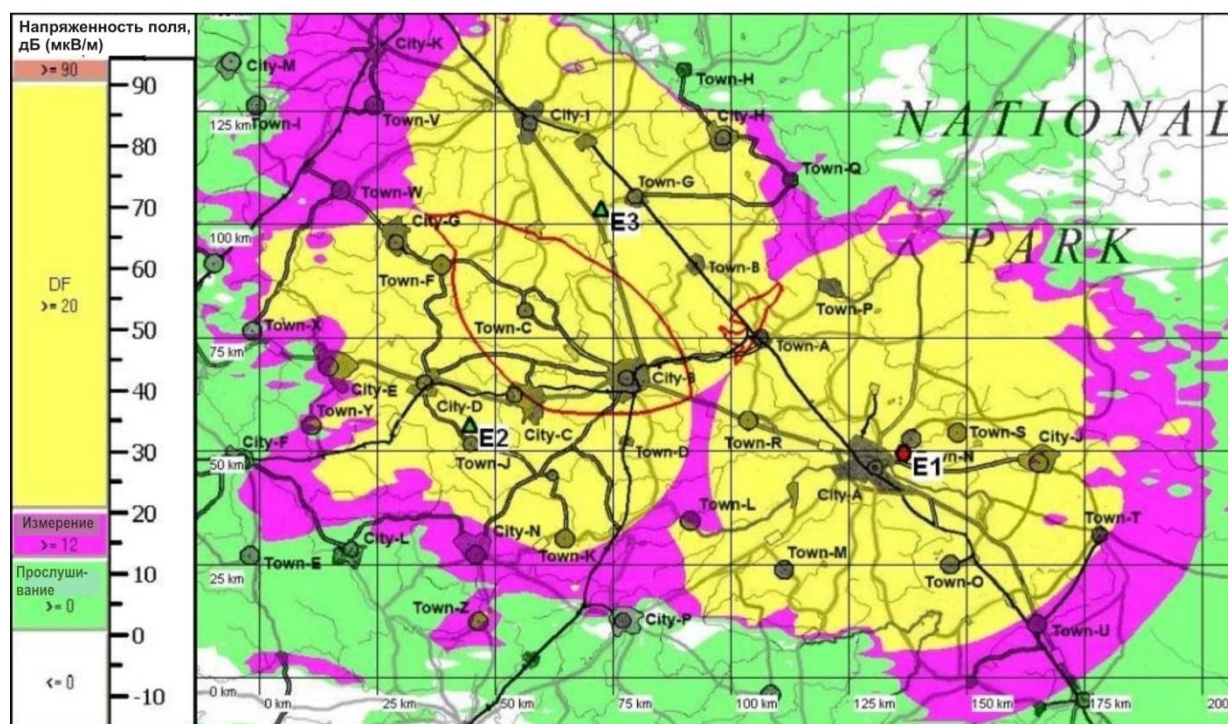
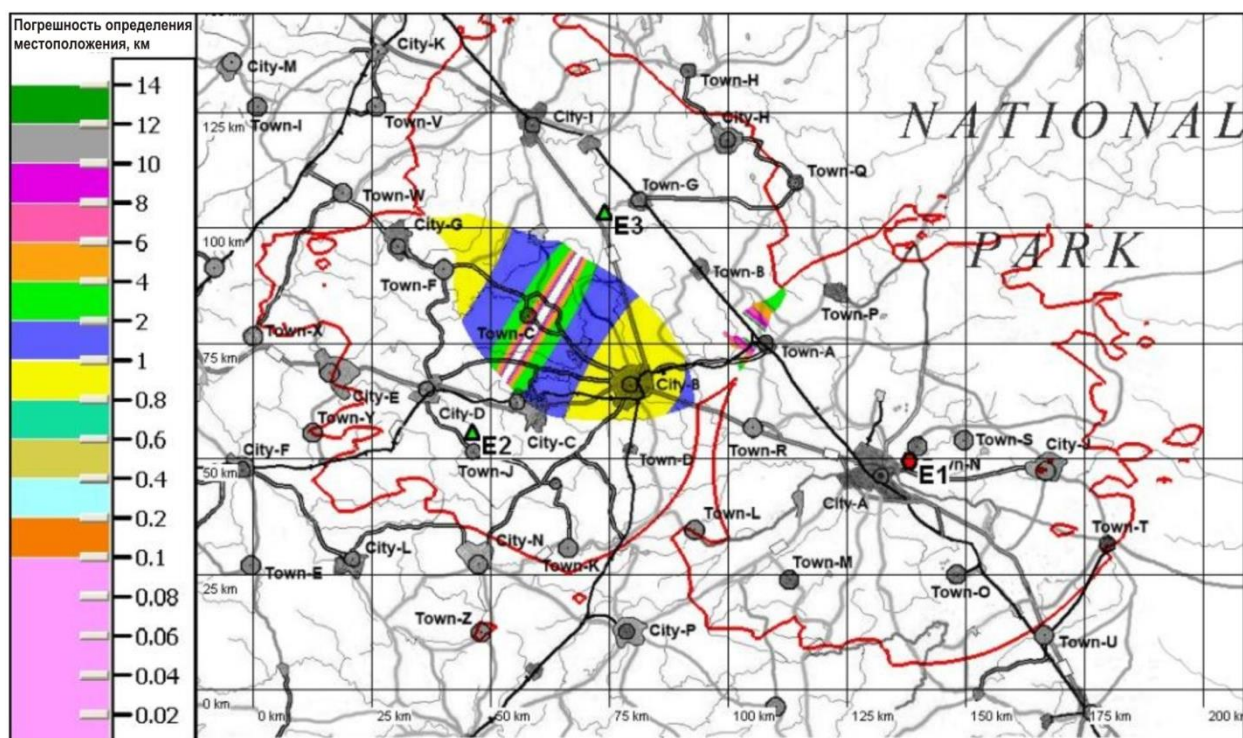


РИСУНОК 4

**Шаблон охвата функцией определения местоположения  
для трех действующих станций**



### 3.2.2.2 Наложение первичной регулярной сети

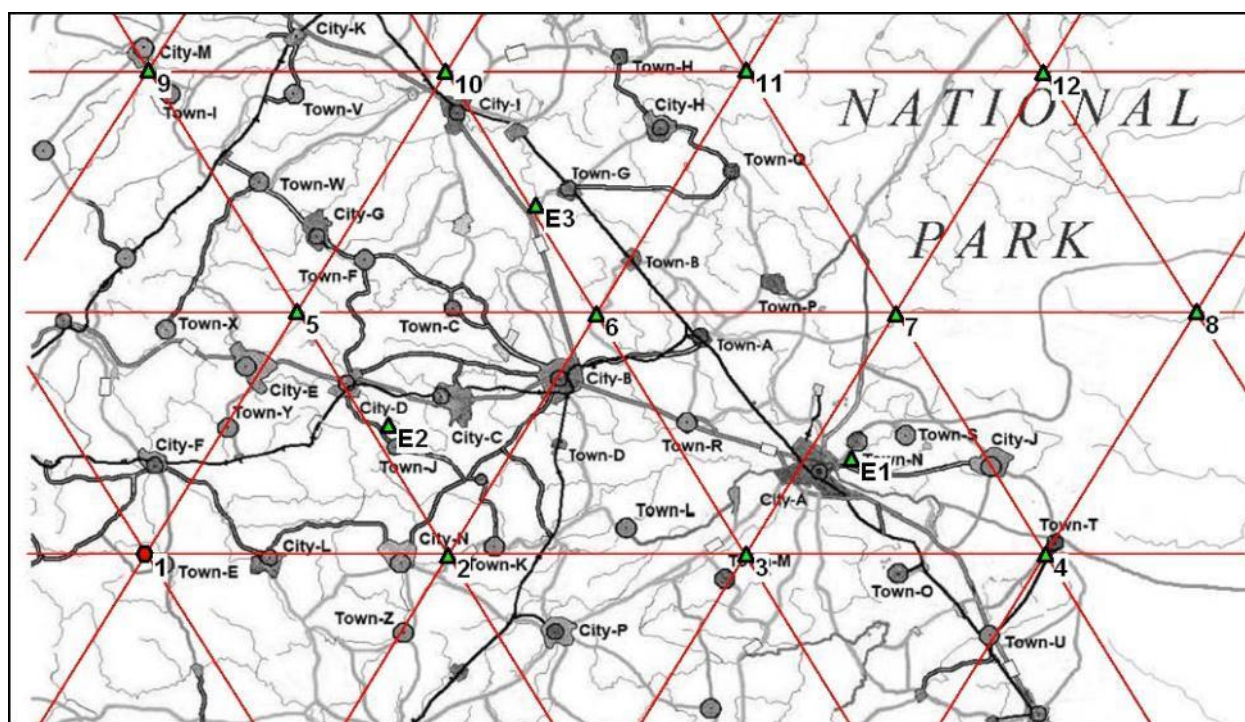
Первичная регулярная сеть накладывается на рассматриваемую территорию, при этом расстояние между узлами составляет 60 км. Станции контроля фактически располагаются в узлах сети. Существует бесчисленное множество разнообразных вариантов размещения узлов в регулярной сети данного типа по отношению к населенным пунктам и другим географическим объектам. К примеру, узлы могут совпадать с действующими станциями или размещаться вблизи них либо располагаться вокруг территории, представляющей наибольший интерес в плане контроля.

Предположим, что принято решение о размещении узлов сети по второму из вышеуказанных вариантов, то есть вокруг территории, включающей в себя города от А до Е, как показано на рисунке 5, при этом 12 дополнительных станций фактически располагаются в узлах сети. Действующие станции располагаются вблизи узлов элементов вторичной регулярной сети, расстояние между узлами составляет 30 км. Данный вариант рассматривается в п. 3.2.2.4.

Глядя на рисунок 5, можно увидеть, что станции 8 и 12 в целях экономии могут быть исключены из дальнейшего рассмотрения, поскольку они находятся на территории Национального парка, на которой отсутствуют населенные пункты, и, следовательно, не требуют контроля со стороны фиксированных станций.

РИСУНОК 5

## Первичная регулярная сеть



### 3.2.2.3 Оценка охвата функциями контроля станциями первичной регулярной сети; оптимизация количества и характеристик станций

Перейдем к следующему этапу – расчету зон охвата для различных функций контроля со стороны станций, расположенных в узлах первичной регулярной сети совместно с действующими станциями. Результаты этой процедуры используются для дальнейшей оптимизации количества станций, если это возможно на данном этапе.

На рисунке 6 приведены результаты расчетов для определения охвата различными функциями контроля при использовании испытательных передатчиков категории II и высот антенн 30 м для всех новых станций, а на рисунке 7 изображен соответствующий шаблон LCT. Из рисунка 7 очевидно, что при данном количестве станций и конфигурации планируемой сети SMN сплошной охват функцией определения местоположения для испытательных передатчиков категории II обеспечивается практически полностью. Очевидно также, что станция 11 не играет существенной роли в обеспечении охвата функцией определения местоположения на соседних территориях и может быть исключена в целях экономии расходов в системе. Станция 7 обслуживает малонаселенные районы у границ Национального парка и также может быть исключена. Если есть необходимость в дополнительной экономии, можно рассмотреть вопрос об исключении станции 4, которая также находится на границе Национального парка.

На рисунке 8 показан охват функцией контроля для данной первичной сети при использовании испытательных передатчиков категории II после исключения станций 11, 7 и 4. Исключение станции 4 приводит к тому, что в городе J услуги определения местоположения становятся недоступными, но при этом сохраняется охват функцией радиопеленгации. Однако город J будет охвачен функцией определения местоположения с использованием испытательных передатчиков категории III, как указано на рисунке 9. На рисунке 9 отображено улучшение охвата функцией определения местоположения в юго-восточной и юго-западной частях района – охват теперь обеспечивается для нескольких дополнительных городов и населенных пунктов.

РИСУНОК 6

Охват функцией контроля посредством первичной сети при использовании испытательных передатчиков категории II

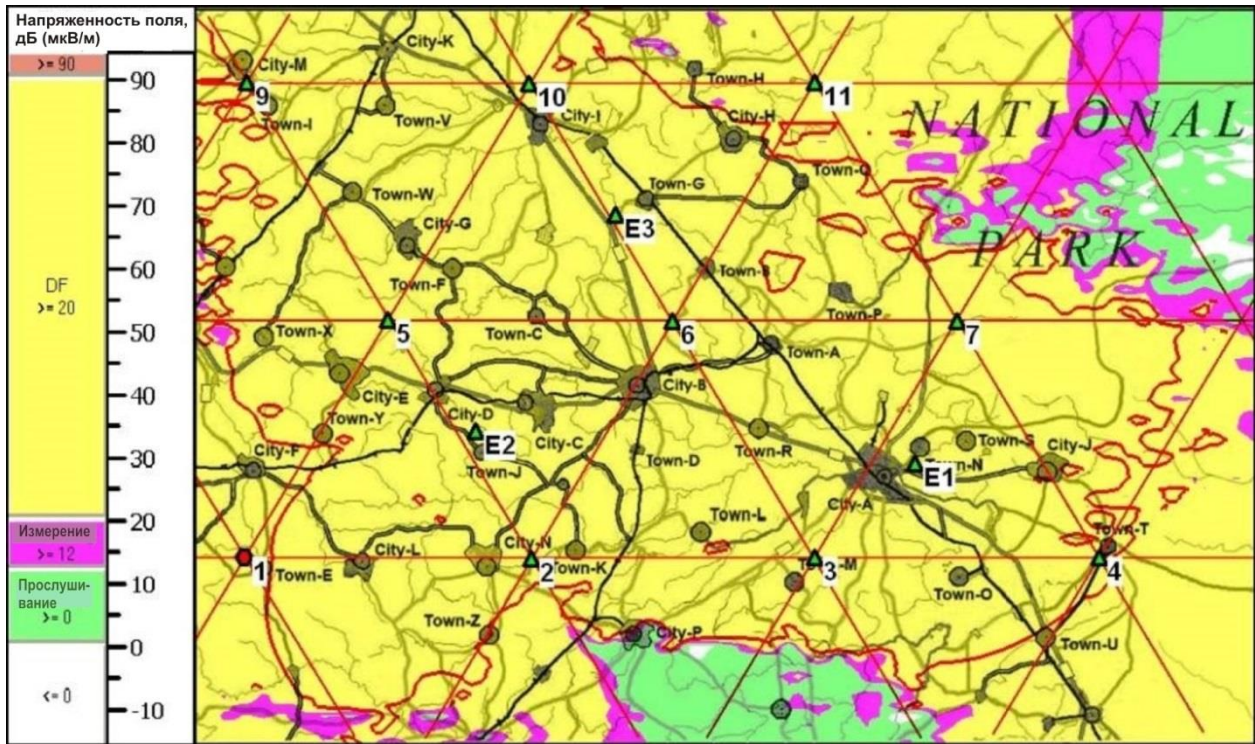


РИСУНОК 7

Шаблон охвата функцией определения местоположения посредством первичной сети при использовании испытательных передатчиков категории II

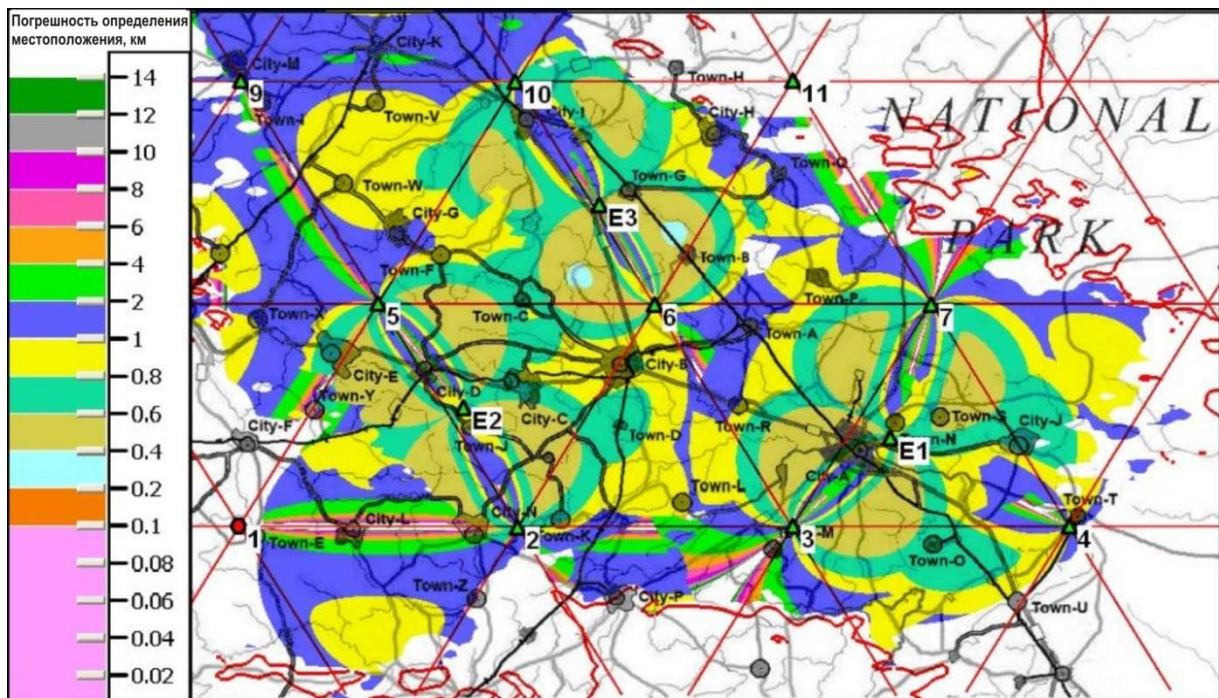




РИСУНОК 8

Шаблон охвата функцией определения местоположения посредством первичной сети (без станций 4, 7 и 11) при использовании испытательных передатчиков категории II

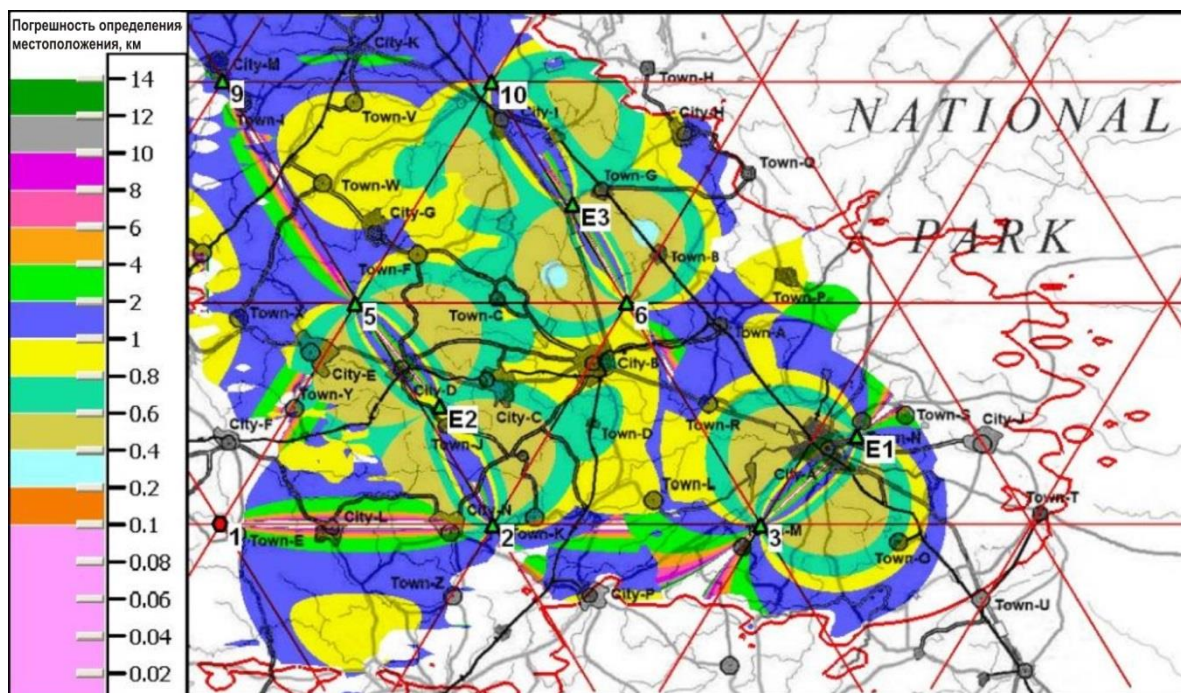
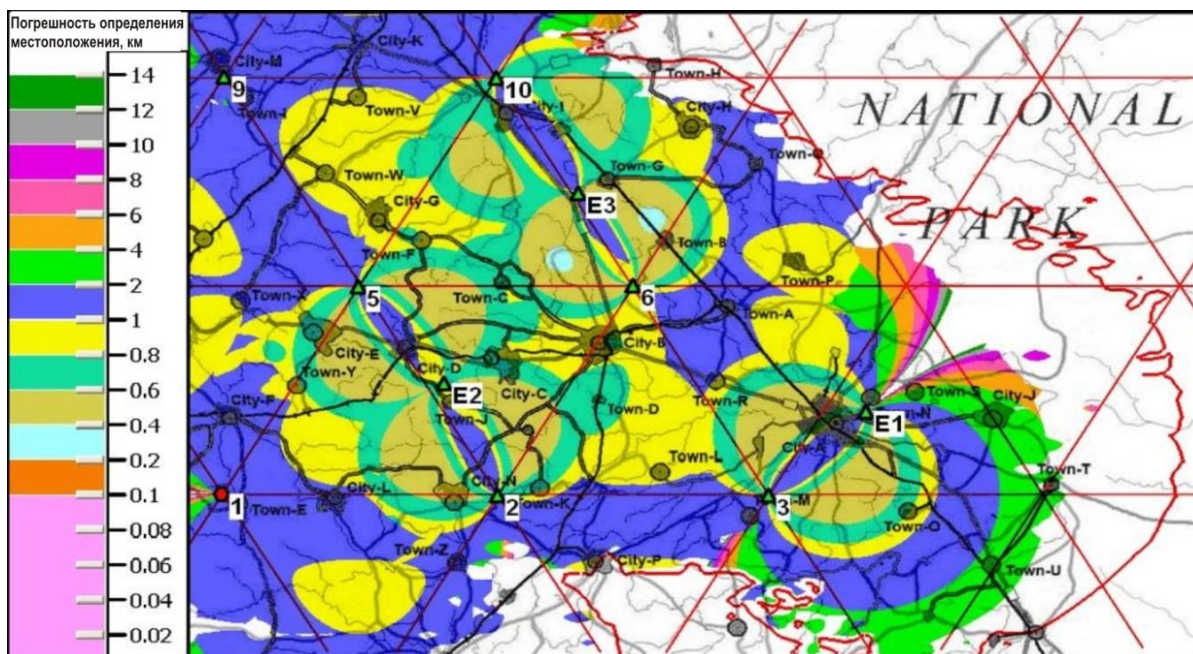


РИСУНОК 9

Шаблон охвата функцией определения местоположения посредством первичной сети (без станций 4, 7 и 11) при использовании испытательных передатчиков категории III



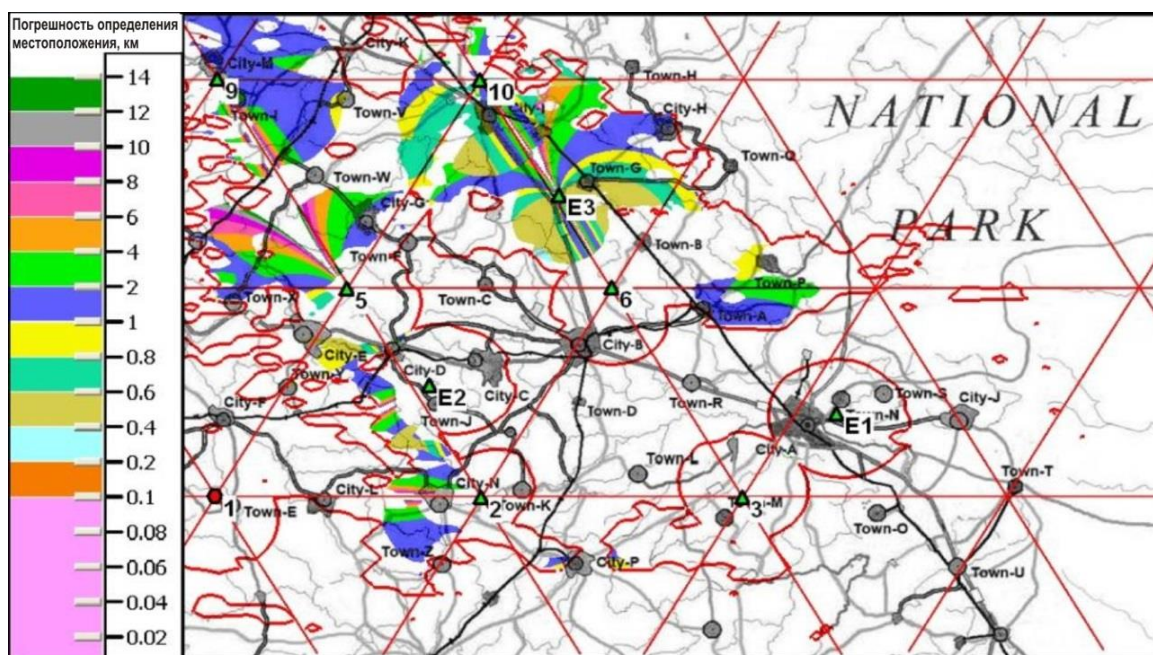
На основе этих данных соответствующая администрация может принять решение о целесообразности сохранения станции 4 в планируемой сети SMN. Решение может быть отложено до завершения планирования всей сети SMN (см. следующие этапы), определения общего количества станций, а также с учетом имеющегося и прогнозируемого финансирования. Может быть признано целесообразным не задействовать данную станцию на первом этапе разработки сети SMN, а отложить этот вопрос на будущее.

Если сравнить рисунки 8 и 9, то можно отметить, что значительное увеличение мощности и высоты антенны при использовании вместо испытательных передатчиков категории II соответствующих передатчиков категории III не оказывает существенного влияния на улучшение охвата в северо-восточной и южной частях данного района (вокруг населенного пункта Н и города Р соответственно). В первом случае это является результатом резкого уменьшения средней высоты местности. Во втором случае – результатом увеличения средней высоты местности, как видно из рисунка 2. Очевидно, что эти эффекты, играющие значительную роль, не могут быть более подробно изучены без проведения соответствующих расчетов.

Охват функциями радиопеленгации и определения местоположения в сети SMN (без станций 11, 7 и 4) при использовании испытательных передатчиков категории I изображен на рисунке 10. Очевидно, что использование испытательных передатчиков категории I не позволяет сети SMN выполнять более тщательный контроль зоны между городами А и Е. Таким образом, необходимо увеличить плотность первичной сети в пределах рассматриваемой зоны.

РИСУНОК 10

**Шаблон охвата функцией определения местоположения посредством первичной сети при использовании испытательных передатчиков категории I**



**3.2.2.4 Разбиение отдельных ячеек первичной сети и дополнительная оптимизация количества и параметров станций**

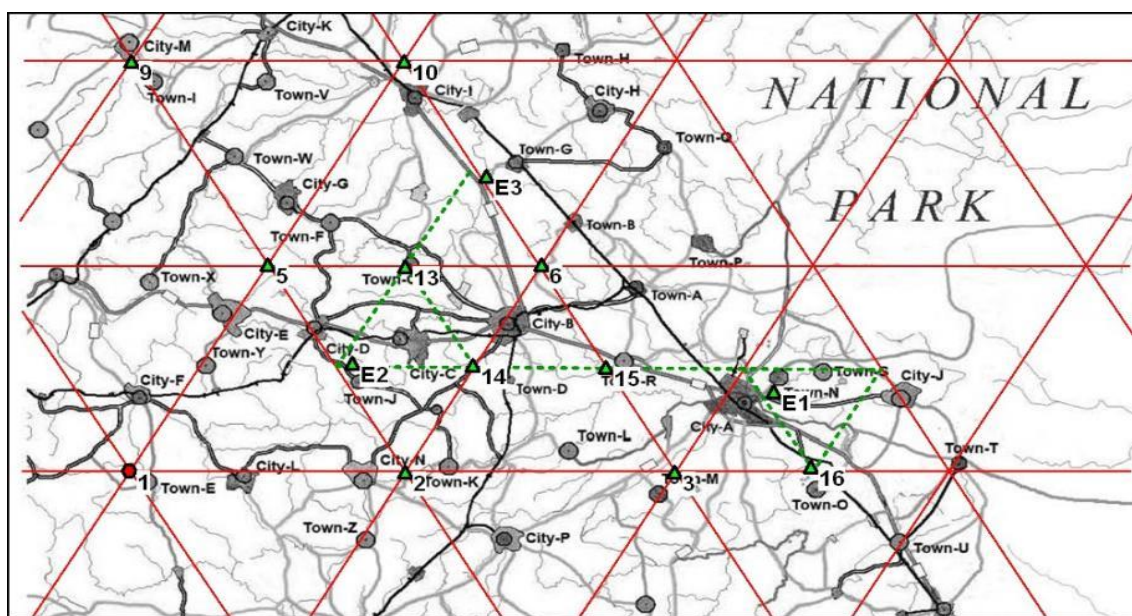
Для увеличения плотности этой части сети SMN каждая из треугольных ячеек в первичной сети может быть разбита на четыре треугольные ячейки вторичной сети с расстоянием между станциями 30 км. Во всех или в некоторых узлах новых ячеек должны быть размещены дополнительные станции.

В рассматриваемом здесь примере на рисунке 11 прерывистыми зелеными линиями показан один из возможных вариантов, который представляется оптимальным с точки зрения экономии.

Один первичный треугольник, образуемый станциями 2, 5 и 6, разбивается на четыре вторичных треугольника, для которых требуются только две новые станции (13 и 14), а в качестве третьей используется действующая станция E2. В каждом из четырех других первичных треугольников определен только один вторичный треугольник, а в трех из них используются действующие станции E1 и E3.

РИСУНОК 11

## Первичная сеть с элементами вторичной сети



На рисунке 12 изображена объединенная зона охвата функцией радиопеленгации в более плотной сети SMN с использованием испытательных передатчиков категории I, а на рисунке 13 – зона охвата функцией определения местоположения. Из этих рисунков видно, что полученная таким образом сеть SMN по сути удовлетворяет заявленным требованиям, несмотря на то что к юго-востоку от города В имеются небольшие зоны, в которых существующий охват позволяет лишь измерять характеристики излучения (зоны розового цвета на рисунке 12). С другой стороны, охват функцией радиопеленгации, отсутствующий в некоторых зонах при использовании испытательных передатчиков категории I, может быть восстановлен, если применять испытательные передатчики мощностью 10 Вт и антенны высотой 5 м (одноэтажные здания с антеннами высотой 2 м на крыше), как это видно из рисунка 14.

Иногда желательно уменьшить размер зон, в которых при использовании испытательных передатчиков категории I отсутствует охват. В этом случае высота антенн будущих станций 3 и 15 и действующей станции E1 при необходимости может быть увеличена до 50 м. На рисунке 15 показан улучшенный охват услугами контроля при увеличении высоты антенн этих станций до 50 м.

На рисунке 13 наглядно показано влияние топографии на охват услугами контроля. Территории, расположенные к северу от прямой линии, соединяющей станции 5, 13 и 6, существенно лучше охвачены функциями радиопеленгации и определения местоположения, чем территории, расположенные к югу от этой линии, несмотря на гораздо меньшую плотность станций контроля (в том числе новых) в этом районе. Это объясняется тем, что северная часть рассматриваемого района находится на возвышенности, а центральная часть – в долине (см. рисунок 2). Столь специфические особенности охвата услугами контроля данной территории также невозможно определить другими средствами без проведения специальных расчетов.

В данных конкретных географических условиях обслуживание северной части этого района функцией определения местоположения улучшается даже при использовании испытательных передатчиков категории I. С учетом этого у соответствующей администрации может возникнуть желание обеспечить аналогичное качество охвата в центральной зоне между городами А и Е. Этого можно добиться одним из двух способов. Первый способ: можно попытаться разделить еще несколько первичных треугольников на четыре вторичных – например, треугольники, образуемые станциями 2, 6 и 3, а также станциями 6, 3 и ранее исключенной станцией 7, а затем разместить дополнительные станции в нескольких узлах этих вторичных треугольников. Однако расчеты показывают неэффективность данного способа.

Второй способ гораздо более эффективен и является общеприменимым. Он заключается в разделении некоторых вторичных треугольников (с расстоянием между станциями 30 км), расположенных между городами А и Е, на третичные треугольные элементы с расстоянием между станциями 15 км.

Это позволяет исключить некоторые из станций первичной сети, например станции 2 и 3, а также станцию 16 вторичной сети. В самой южной части данного района охват несколько ухудшится, однако учитывая относительно небольшую плотность населения, это ухудшение можно считать допустимым.

РИСУНОК 12

Охват услугами контроля в более плотной сети SMN при использовании испытательных передатчиков категории I

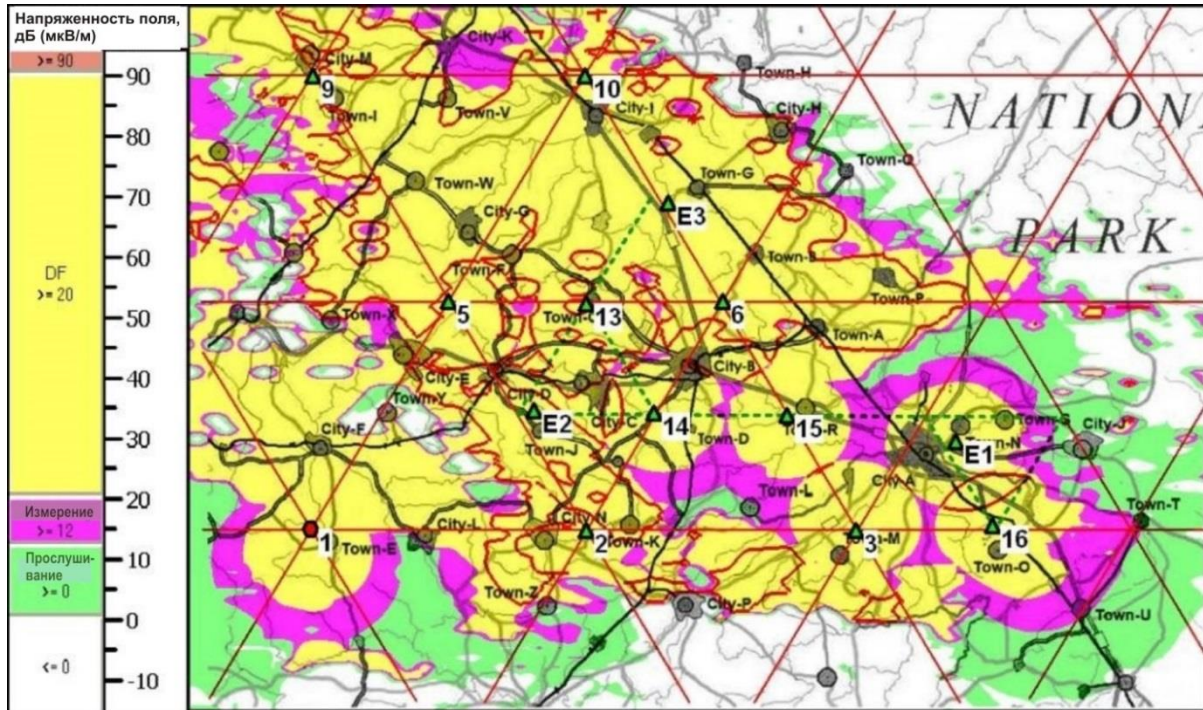


РИСУНОК 13

Шаблон охвата функцией определения местоположения в более плотной сети SMN при использовании испытательных передатчиков категории I

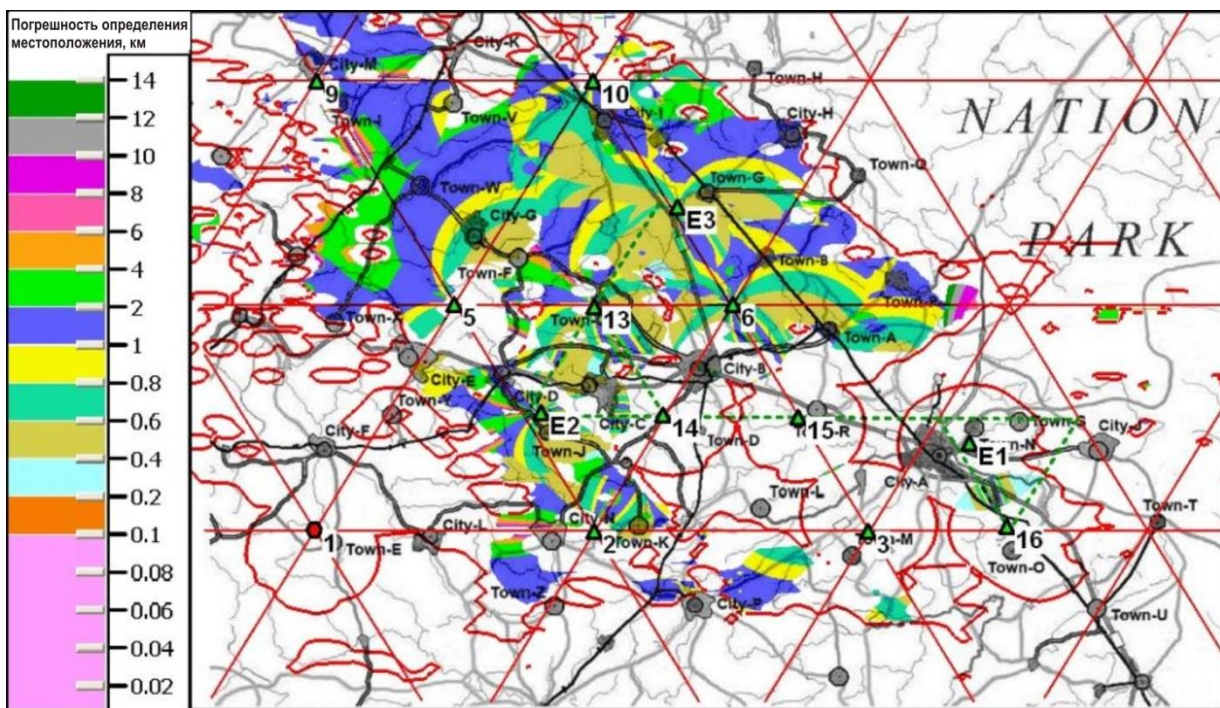


РИСУНОК 14

Охват услугами контроля в более плотной сети SMN при использовании испытательных передатчиков мощностью 10 Вт и антенн высотой от 5 м

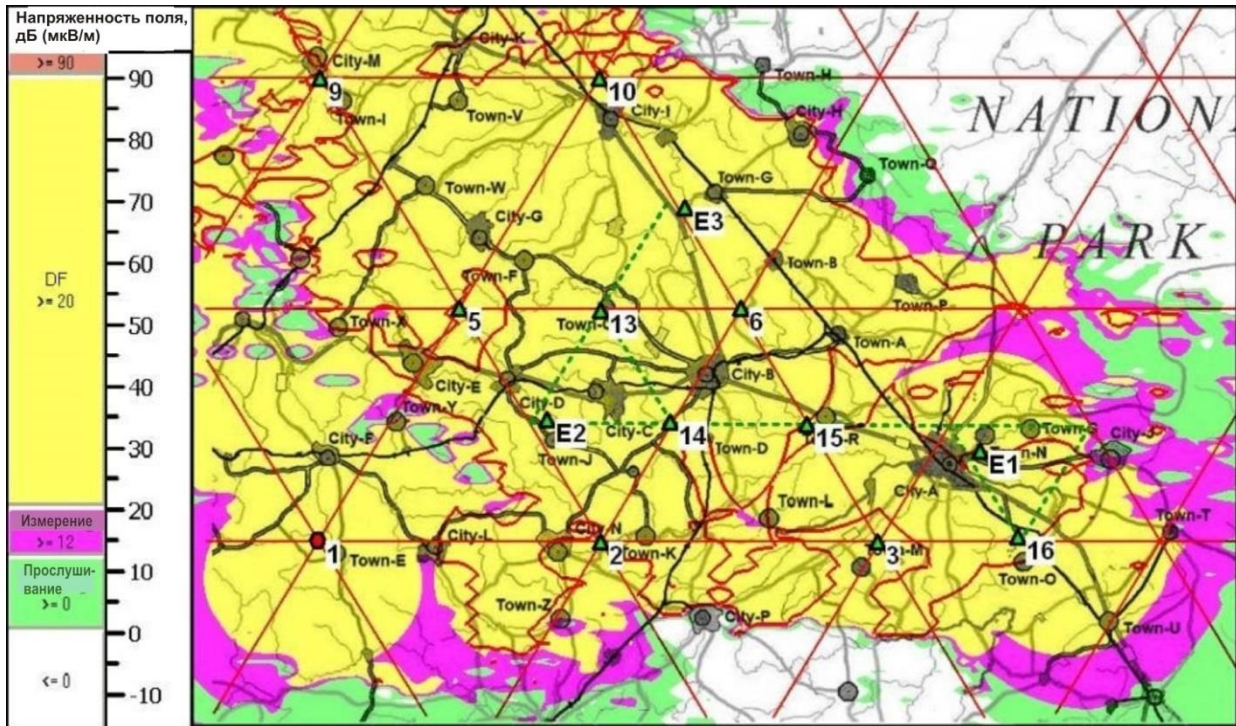
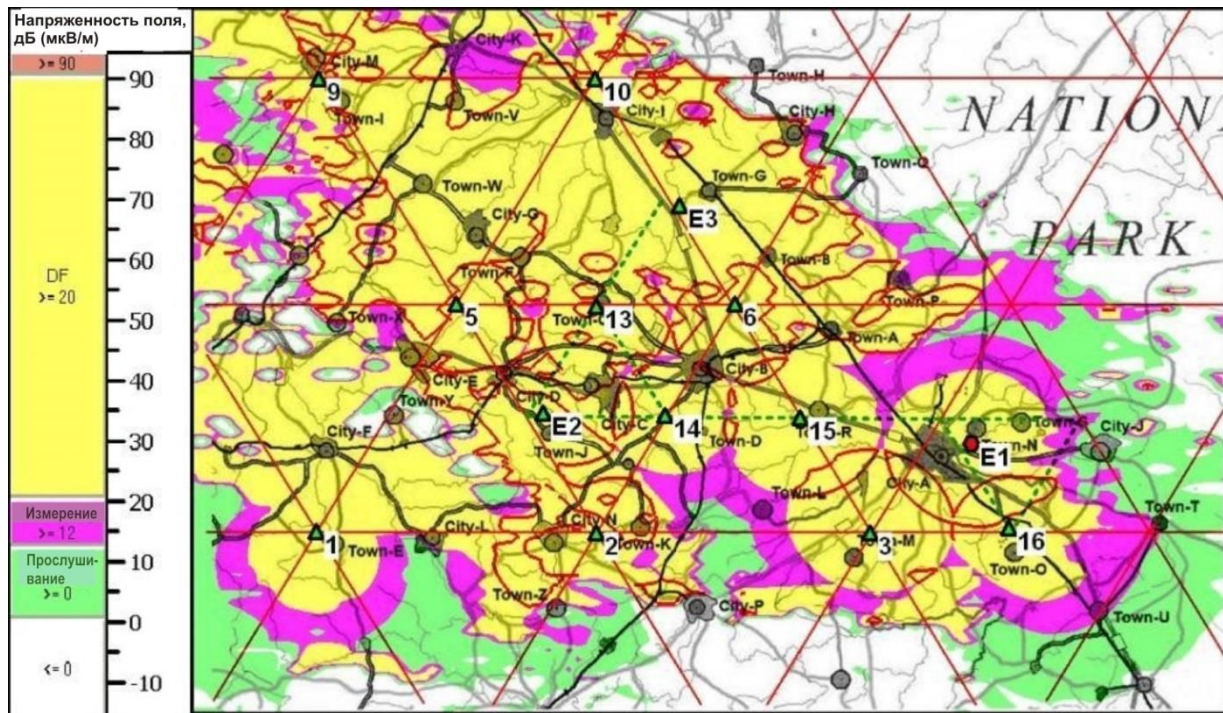


РИСУНОК 15

Охват услугами контроля в более плотной сети SMN при использовании испытательных передатчиков категории I при увеличении высоты антенн станций 3, 15 и E1 до 50 м



Из вышеуказанного следует, что в принципе существует множество возможных решений, однако для конкретной администрации не представляет труда проанализировать их путем расчета величины охвата и выбрать решение, оптимальное для данной ситуации.

Анализ приведенных выше рисунков ясно показывает, что шаблон LCT является наилучшим средством определения качества сети SMN в целом и ее отдельных частей.

### 3.2.3 Уточнение мест расположения и параметров станций в компьютерной модели

Как только принято предварительное решение относительно конфигурации сети SMN, требуемые параметры и места размещения станций можно определить в компьютерной модели.

Во-первых, необходимо определить станции, предназначенные для выполнения всех функций контроля. Как правило, станции разделяются на три категории: обслуживаемые, с дистанционным управлением и только радиопеленгаторные (исключительно с дистанционным управлением). Здесь уместно отметить, что в первичной сети, где расстояние между станциями составляет 60 км, практически все станции должны выполнять все функции контроля, поскольку в противном случае возникают зоны, в которых отсутствует охват функцией измерения характеристик излучения и даже функцией прослушивания. Во вторичной сети, где расстояние между станциями составляет 30 км, некоторые из станций могут являться исключительно дистанционно управляемыми радиопеленгаторами.

Например, согласно проведенным расчетам в рассмотренном примере сети SMN станции 6, 13 и 16 могут являться радиопеленгаторами с дистанционным управлением. В третичной сети, где расстояние между станциями составляет 15 км, многие станции могут являться радиопеленгаторами с дистанционным управлением. Чем плотнее сеть SMN, тем больше станций могут быть радиопеленгаторами с дистанционным управлением.

Для того чтобы определить, какие именно станции могут являться радиопеленгаторами с дистанционным управлением, необходимо рассчитать зону охвата для измерения параметров излучения какой-либо отдельной станции, входящей в группу других станций. В данном примере эта зона отмечена розовым цветом, причем в центре ее находится желтая зона охвата функцией радиопеленгации. Затем необходимо выяснить, какие из этих станций находятся в пределах данной зоны на приемлемом расстоянии от ее внешних границ.

Эти станции можно рассматривать как потенциальные радиопеленгаторы с дистанционным управлением, что может быть подтверждено расчетами их собственных зон охвата.

На данном этапе также целесообразно определить, какие из станций, выполняющих все функции контроля, должны быть обслуживаемыми, чтобы эффективно проводить последующее обследование площадок (см. ниже раздел 3.3). Обслуживаемые станции желательно размещать в крупных городах или вблизи них. Это связано с доступностью квалифицированного персонала и инфраструктуры.

Кроме того, необходимо учитывать, что современные информационные технологии позволяют размещать центр управления станциями в нетипичной городской среде, используя оборудование контейнерного типа для станции с дистанционным управлением и антенны, расположенные за пределами города. Данное решение упрощает задачу поиска подходящих участков земли и позволяет сэкономить значительные средства в отношении расходов на приобретение участка, строительство и монтажные работы. Однако, если центр управления расположен в высотном здании в городской зоне, антенна может быть установлена на крыше. В этом случае отпадает необходимость в приобретении специального участка. При этом следует учитывать, что обслуживаемые станции должны иметь зоны для размещения подвижных и перевозимых станций контроля, например гаражи или постоянные парковочные места.

Расстояние между обслуживаемыми станциями не должно превышать 600 км. Это связано с тем, что подвижные станции, как предполагается, могут обслуживать точки на расстоянии не более 300 км от их мест базирования в течение одного рабочего дня (и только при нормальных дорожных условиях).

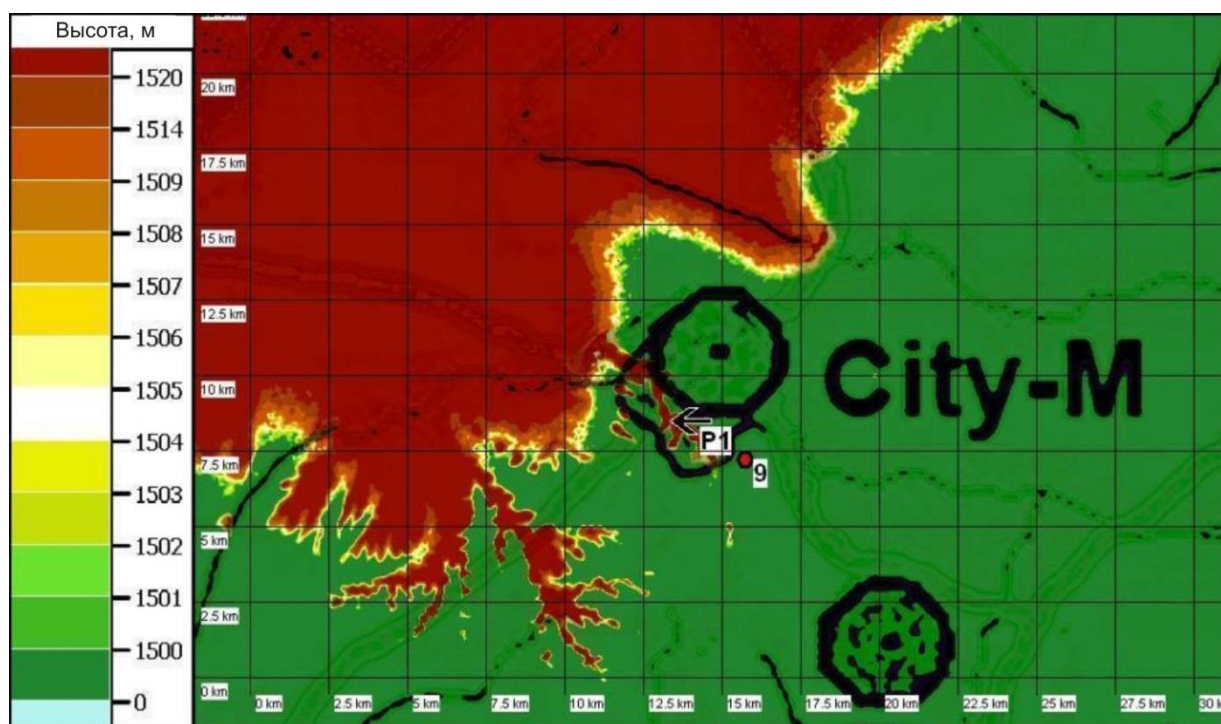
В настоящее время уже на этапе компьютерного моделирования можно оптимизировать параметры и места расположения станций. Например, для определения зон охвата функциями контроля для отдельных станций и групп станций (что позволит оптимизировать высоты их антенн) могут применяться последовательные расчеты. В зонах, где сеть SMN более плотная, высота антенн некоторых станций может быть снижена с 30 м (это значение используется в базовых расчетах) до 20 м, а в некоторых случаях – до 10 м, что дает возможность администрации сэкономить на антенных мачтах. Для расширения зон охвата других станций, где это необходимо, высота антенн может быть увеличена до 50 м, для этого во многих случаях целесообразнее перемещать антенны на более

высокие площадки, нежели увеличивать физическую высоту антенной мачты. Для того чтобы найти подходящие площадки, на большей высоте, требуется подробное изучение топографии окрестностей заранее определенного места размещения.

В качестве примера на рисунке 16 показана увеличенная топографическая карта окрестностей станции 9. На рисунке хорошо видно, что в точке, обозначенной указателем P1, на расстоянии всего лишь около 3 км от расчетного местоположения станции находится возвышенность, простирающаяся к северо-западу. Площадка P1 расположена на 20 м выше расчетной точки размещения станции 9, поэтому перемещение станции 9 на более высокую площадку значительно увеличит ее зоны охвата функцией контроля даже при небольшой высоте мачты. На рисунке 16 показаны еще несколько возвышенностей, расположенных к западу от станции 9. Следовательно, существует множество возможных вариантов расширения зоны охвата функцией контроля путем изменения местоположения станции.

РИСУНОК 16

Топографическая карта окрестностей станции 9

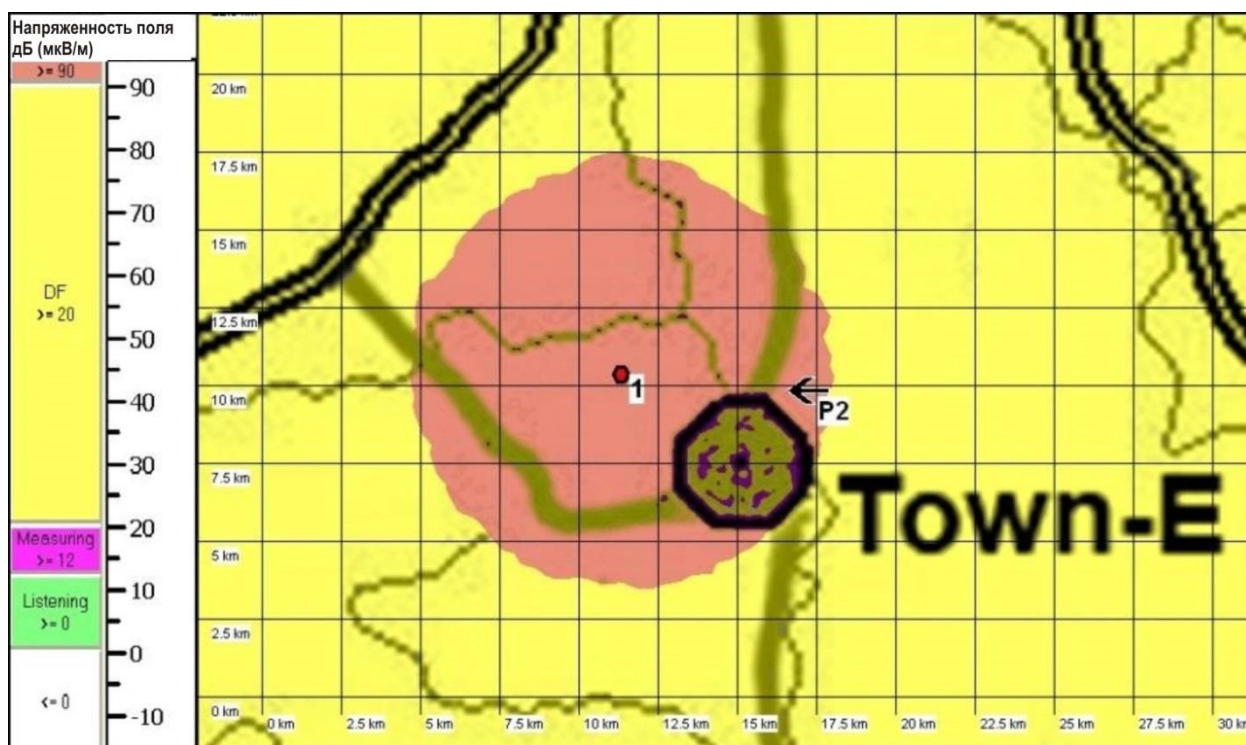


Кроме того, виртуальное местоположение каждой станции в модели можно изучать и оптимизировать в целях защиты от помех и нежелательных воздействий, создаваемых близлежащими зданиями и другими конструкциями, с учетом данных, собранных в рассматриваемом районе (см. выше раздел 2) и в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R SM.575-2 и разделом 2.6 Справочника по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.).

Рассмотрим, к примеру, вариант с использованием радиовещательного передатчика мощностью 500 Вт, работающего на частоте 110 МГц при высоте антенны 50 м и размещенного в соответствии с национальным реестром частотных присвоений в точке, обозначенной указателем P2 на рисунке 17. Если рассчитать зону охвата для станции 1 относительно испытательного передатчика с заданными параметрами при граничной напряженности поля, равной 30 мВ/м, то есть 90 дБ (мкВ/м), то выясняется, что передатчик находится в пределах данной зоны (обозначенной коричневым цветом на рисунке 17). Таким образом, передатчик создает в точке расположения станции 1 напряженность поля, которая превышает допустимый уровень (см. раздел 2.6 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра, издание 2011 г.). Данная проблема может быть решена путем перемещения станции 1 как минимум на 1,2 км западнее.

РИСУНОК 17

## Зона помехозащищенности станции 1



Аналогичным образом должны быть проверены места расположения других станций в модели для обеспечения того, чтобы они располагались достаточно далеко от высоковольтных линий электропередачи, электрифицированных железнодорожных путей, высоких металлических мачт и т. д. Минимальные допустимые расстояния определяются на основе достоверных данных об этих объектах. При необходимости станции, участвующие в модели, могут перемещаться в другие точки. Данный процесс также должен оптимизироваться на основе расчетов соответствующей зоны охвата функцией контроля, описанных выше.

Результатом выполнения указанных процедур является законченная компьютерная модель конфигурации планируемой сети SMN, которая в дальнейшем должна уточняться в процессе обследований площадок в полевых условиях.

### 3.3 Уточнение мест расположения станций в ходе обследования площадки и приобретения участка

Все потенциальные места расположения станций контроля, определенные в процессе компьютерного моделирования, должны быть тщательно обследованы на предмет соответствия критериям защиты, приведенным в Рекомендации МСЭ-R SM.575-2 и разделе 2.6 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.), а также на предмет возможности проведения строительных работ по созданию необходимой инфраструктуры. Что касается инфраструктуры, основным требованием является возможность подведения электроэнергии и строительства подъездных путей.

В случае крайней необходимости для доступа к удаленным необслуживаемым станциям контейнерного типа могут использоваться грунтовые дороги. Для обслуживаемых станций требуются участки земли большего размера, дороги с твердым покрытием, а также электроэнергия, водоснабжение и канализация. Необходимо также уделять внимание круглосуточному обеспечению физической безопасности мест размещения станций, в том числе станций контейнерного типа. В этом случае должен поддерживаться минимальный уровень жизнеобеспечения.

Соответствующая методика обследования площадок и отчеты о результатах подробно описываются в Приложении 1 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.).



В результате обследования площадок может оказаться, что места для размещения станций, выбранные в процессе компьютерного моделирования, по различным причинам будут непригодны для практического использования. Например, они могут не соответствовать критериям защиты от помех и внешних воздействий или же могут быть непригодными из-за сложностей с обеспечением необходимой инфраструктуры и т. д. Однако в большинстве случаев наиболее распространенной проблемой является просто отсутствие в продаже подходящих участков. Сложности, которые могут возникнуть в процессе поиска подходящих площадок, описываются в Рекомендации МСЭ-R SM.1392-2. Разумеется, масштаб возникающих сложностей зависит от конкретной страны, социальных и экономических условий, законодательства, административных нормативных актов и т. д.

В связи с этим в процессе обследования площадок могут быть обнаружены новые потенциальные места размещения станций, доступные и пригодные с практической точки зрения. Далее необходимо выполнить проверочные расчеты зон охвата функциями контроля для этих станций. Вполне вероятно, что в целях обеспечения требуемого охвата функциями радиоконтроля для новой станции нужно будет, к примеру, увеличить высоту антенны. В этом случае у администрации есть несколько вариантов решения: увеличить высоту антенны, смириться с сокращением зоны охвата или же вообще искать новую площадку.

Из вышесказанного следует, что обследование конкретной площадки – это в большинстве случаев не одношаговая процедура, и она должна повторяться, порой неоднократно. Это также влечет за собой необходимость повторных расчетов зон охвата функцией контроля, результаты которых критически важны при выборе наилучшего места размещения станции.

Порой бывает невозможно найти участок, пригодный для размещения новой станции контроля вблизи желаемого места, в котором уровни помех не превышают пределы, установленные в разделе 2.6 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.). В этом случае следует рассматривать участки с минимальными уровнями напряженности поля мешающих сигналов (если даже они превышают 90 дБ (мкВ/м)) и избегать использования активных элементов антенн (см. п. 2.6.1.4 Справочника).

Процесс планирования сетей SMN может считаться завершенным только в том случае, если последовательно выполнены поэтапный процесс обследований площадок, расчет зон охвата и завершена процедура приобретения участка. После этого могут быть объявлены тендеры на проведение необходимых инженерно-строительных работ и поставку контрольного оборудования согласно руководящим указаниям, приведенным в Приложении 1 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.).

По завершении планирования сети SMN могут быть выполнены подробные итоговые расчеты зон охвата функциями контроля для различных частот (при условии, что площадь охвата имеет тенденцию к снижению с увеличением частоты) для испытательных передатчиков, работающих при разных уровнях мощности и оборудованных антеннами различной высоты. Эти расчеты могут использоваться при составлении "атласа зон охвата функциями контроля" для сети SMN, который будет ее уникальным техническим пособием по зонам охвата. В атласе будут четко обозначены зоны, в которых отсутствует охват при определенных условиях и параметрах (частота, мощность испытательного передатчика, высота антенны и т. д.) и которые требуют особого внимания при планировании работы перевозимых и подвижных станций контроля. Это особенно важно при работе на пересеченной или горной местности.

Результаты этих окончательных расчетов используются также при создании оптимальной комбинации фиксированных, перевозимых и подвижных станций в сети SMN. Вообще говоря, чем больше существует мест, которые не обслуживаются фиксированными станциями, тем больше перевозимых и подвижных станций необходимо для поддержания требуемой эффективности сети SMN в целом. В зонах сети SMN, которые могут не охватываться фиксированными станциями (например, на более высоких частотах УВЧ-диапазона и в низинах), при проведении различных измерительных кампаний может возникнуть необходимость в установке перевозимых станций. Оптимальные места размещения перевозимых станций могут быть также определены заранее при помощи соответствующих расчетов. Кроме того, в зонах с отсутствием охвата должны быть разрешены более длительные временные интервалы для работы подвижных станций.

### **3.4 Планирование малых сетей SMN и локальных сетей SMN специального назначения**

#### **3.4.1 Планирование малых сетей SMN и сетей для больших городов**

Ранее мы рассматривали процесс планирования и оптимизации довольно крупной региональной сети SMN. С другой стороны, если требуется планирование или оптимизация небольшой изолированной сети SMN, состоящей из двух или нескольких станций (не более примерно пяти), процедура может быть значительно упрощена. В этом случае можно начать с размещения виртуальных станций в компьютерной модели в удобных местах, не создавая наложения на регулярную сеть, а затем оптимизировать полученную сеть SMN, начиная с этапа, описанного выше в п. 3.2.2.3. Практический пример процедур планирования локальных сетей контроля на относительно ровной местности представлен в Приложении 1.

В больших городах радиопеленгация существенно усложняется, что связано с многочисленными отражениями радиоволн. Для повышения надежности радиопеленгации, а следовательно и определения местоположения, а также для обеспечения возможности контроля большого количества передатчиков и других источников излучения фиксированные станции в больших городах, как правило, располагаются ближе друг к другу, чем в сельских районах. В связи с этим при планировании новых крупных сетей SMN или при оптимизации аналогичных действующих сетей SMN в больших городах этап, описываемый в п. 3.2.2.2, может начинаться с покрытия территории города регулярной третичной сетью, в которой расстояния между станциями равны 15 км, или даже сетью четвертого порядка, в которой расстояния между станциями составляют 7,5 км (см. раздел 6.8 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра, издание 2011 г.).

Альтернативный метод планирования малых сетей SMN и локальных сетей SMN специального назначения описан ниже в разделе 6. В отличие от метода, использующего сети с регулярной структурой, для данного метода может потребоваться гораздо больший объем вычислений, поэтому его рекомендуется применять для планирования относительно небольших сетей SMN.

#### **3.4.2 Планирование сетей SMN в горных и холмистых районах**

В горных и холмистых районах зона охвата функциями контроля может быть значительно увеличена путем размещения антенн фиксированных станций на большой высоте. Вместе с тем площадь охвата функциями контроля в этих случаях может в гораздо большей степени зависеть от выбора конкретного места. Необходимо также учитывать повышенные возможности влияния отраженных радиосигналов.

Эти вопросы подробно рассматриваются в Приложении 2.

### **4 Планирование и оптимизация сетей контроля за использованием спектра на основе TDOA**

В настоящее время ведется разработка метода планирования сплошного охвата большой территории станциями TDOA (аналогично методу, использующему сеть с регулярной структурой для планирования станций AOA, как изложено выше в разделе 3). Ряд предложений по данному вопросу приведен в п. 4.7.3.2 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.) и в Отчете МСЭ-R SM.2211-1.

### **5 Планирование гибридных сетей контроля**

Планирование гибридных сетей контроля AOA/TDOA основано на ряде принципов и спорных вопросов, описанных выше в разделах 3 и 4 для сетей на основе AOA и TDOA. При использовании сетей радиоконтроля, радиопеленгации и систем TDOA, способных применять гибридные методы на оборудовании, которое соответствует положениям Рекомендаций МСЭ по чувствительности, стабильности и точности систем (или превышает их), могут быть получены значительные преимущества. По сравнению с сетями, работающими только на основе метода AOA или TDOA, гибридные сети AOA/TDOA теоретически позволяют осуществлять охват рассматриваемой территории большей площади при помощи меньшего количества станций, в то же время обеспечивая повышенную точность определения географического местоположения как внутри, так и за пределами зоны, окруженной станциями контроля за использованием спектра.

### 5.1 Сравнение методов определения географического местоположения

Для принятия обоснованного решения относительно того, какие методы являются наиболее подходящими для реализации заданных требований к охвату сети, необходимо выяснить сильные и слабые стороны различных методов определения географического местоположения. Подробное сравнение методов определения географического местоположения на основе AOA, TDOA и гибридного метода AOA/TDOA приведено в Отчете МСЭ-R SM.2211-1. В настоящий Отчет включена таблица, содержащая основные характеристики трех различных методов определения географического местоположения.

### 5.2 Моделирование охвата функцией определения географического местоположения и точности такого определения

Проведено моделирование и сравнение по показателям охвата функцией определения географического местоположения и точности такого определения для различных конфигураций систем контроля за использованием спектра (SMS), включая системы на основе AOA, TDOA и гибридные системы AOA/TDOA<sup>2</sup>. Анализ проводился при помощи компьютерной программы, комбинирующей расчет при определении географического местоположения, со слышимостью принимаемого сигнала на различных рассматриваемых станциях с учетом мощности передатчика и эффектов, связанных с распространением сигналов при использовании трехмерной модели рельефа. Точность определения географического местоположения основывалась на основе величины промаха. Анализ проводился для разнообразных условий: для разного количества станций, работающих в сети контроля за использованием спектра; при мощности передатчика, меняющейся в пределах от 1 до 100 Вт; для различных условий распространения радиоволн и методов определения географического местоположения. Допущения относительно зоны охвата включают планируемый охват как внутри зоны, ограниченной станциями, так и за ее пределами.

В зависимости от требований к охвату и моделируемых условий эксплуатации (см. Отчет МСЭ-R SM.2211-1) использование гибридного метода AOA/TDOA обеспечило более высокую точность на большей зоне охвата для вариантов с тремя и четырьмя станциями. Система, состоящая из станций TDOA, обеспечивает приемлемую точность в зоне, ограниченной площадками TDOA, однако точность определения географического местоположения вне этой зоны стремительно падает. В моделированном примере гибридная сеть AOA/TDOA в максимальной степени использует преимущества более широкой зоны охвата станций AOA (при заданном количестве станций), а также преимущества применения менее сложного оборудования и антенн на станциях TDOA.

### 5.3 Краткие характеристики гибридной системы

Предполагается, что для достижения того же или лучшего охвата и той же или лучшей точности (для многих наиболее распространенных требований по охвату больших территорий) в случае гибридного решения AOA/TDOA при определении географического местоположения потребуется меньшее количество станций, чем в случае решения только TDOA при определении географического местоположения. Гибридный вариант объединяет преимущества систем AOA (лучшие характеристики при передаче узкополосных сигналов, широкая зона охвата и т. д.) с преимуществами систем TDOA (упрощенный монтаж и более низкие требования к антеннам, подавление некоррелированного шума и т. д.)<sup>3</sup>. Таким образом, в некоторых случаях применение гибридных сетей AOA/TDOA может обеспечить меньшую стоимость установки и меньшие текущие расходы для заданной зоны охвата в течение всего срока эксплуатации сети.

---

<sup>2</sup> Для оценки распространения радиоволн в эксперименте использовалась модель распространения TIREM – Интегрированная земная модель пересеченной местности (см. Справочник МСЭ по управлению использованием спектра на национальном уровне).

<sup>3</sup> Более подробное описание приведено в разделе 3 Отчета МСЭ-R SM.2211-1.

## 6 **Обобщенный метод планирования малых сетей SMN и локальных сетей SMN специального назначения**

При планировании сети станций контроля в первую очередь необходимо определить круг задач, которые должна решать данная сеть. Для прослушивания и/или измерения характеристик радиосигналов в некоторых случаях достаточно одной контрольной станции, в отличие от сети АОА (минимум две станции) или сети TDOA (минимум три станции). В каждом из этих случаев зона охвата станций контроля определяется требуемым минимальным значением напряженности поля.

Таким образом, если предположить, что планируемая сеть SMN предназначена для решения нескольких задач, планирование сети должно начинаться с решения задачи по обеспечению большего уровня требуемой минимальной напряженности поля, и далее, в порядке уменьшения этого уровня:

- 1) радиопеленгация и расчет местоположения источника излучения (20 дБ (мкВ/м) согласно Справочнику МСЭ по контролю за использованием спектра);
- 2) измерение параметров радиосигнала (12 дБ (мкВ/м) согласно Справочнику МСЭ по контролю за использованием спектра);
- 3) прослушивание спектра (0 дБ (мкВ/м) согласно Справочнику МСЭ по контролю за использованием спектра).

Данная последовательность действий позволяет обеспечить охват обследуемой зоны с использованием минимального количества станций контроля и избежать лишних финансовых затрат.

На подготовительном этапе должны быть решены все вопросы, упомянутые выше в разделе 2, включая определение территории, подлежащей контролю, выбор метода расчета распространения радиоволн, определение максимально возможного значения погрешности определения местоположения источника излучения (для планирования методом АОА/TDOA), расчет граничного значения минимальной напряженности поля, определение зон, в пределах которых не рекомендуется размещение станций контроля, и т. д.

В описываемом ниже методе используются следующие термины и определения:

**"линия АОА"** – это две станции контроля, которые могут использоваться для определения местоположения источника излучения с заданной погрешностью в сетях SMN на основе АОА;

**"линия TDOA"** – это три станции контроля, которые могут использоваться для определения местоположения источника излучения с заданной погрешностью в сетях SMN на основе TDOA;

**"охватываемый" испытательный передатчик** – проверяемый передатчик, напряженность поля которого в месте размещения станции контроля превышает пороговое значение (требуемая минимальная напряженность поля) и ошибка в определении местоположения которого (определение местоположения источника излучения станциями контроля на основе АОА/TDOA) не превышает заданной величины максимальной погрешности определения местоположения;

**оценка места размещения станции контроля** – количество испытательных передатчиков, расположенных в исследуемой зоне, которое может быть охвачено станцией контроля, установленной в данном месте;

**оценка "линии АОА"** – количество испытательных передатчиков, расположенных в исследуемой зоне, которое может быть охвачено данной "линией АОА";

**оценка "линии TDOA"** – количество испытательных передатчиков, расположенных в исследуемой зоне, которое может быть охвачено данной "линией TDOA".

## 6.1 Компьютерное моделирование малых SMN и локальных сетей SMN специального назначения

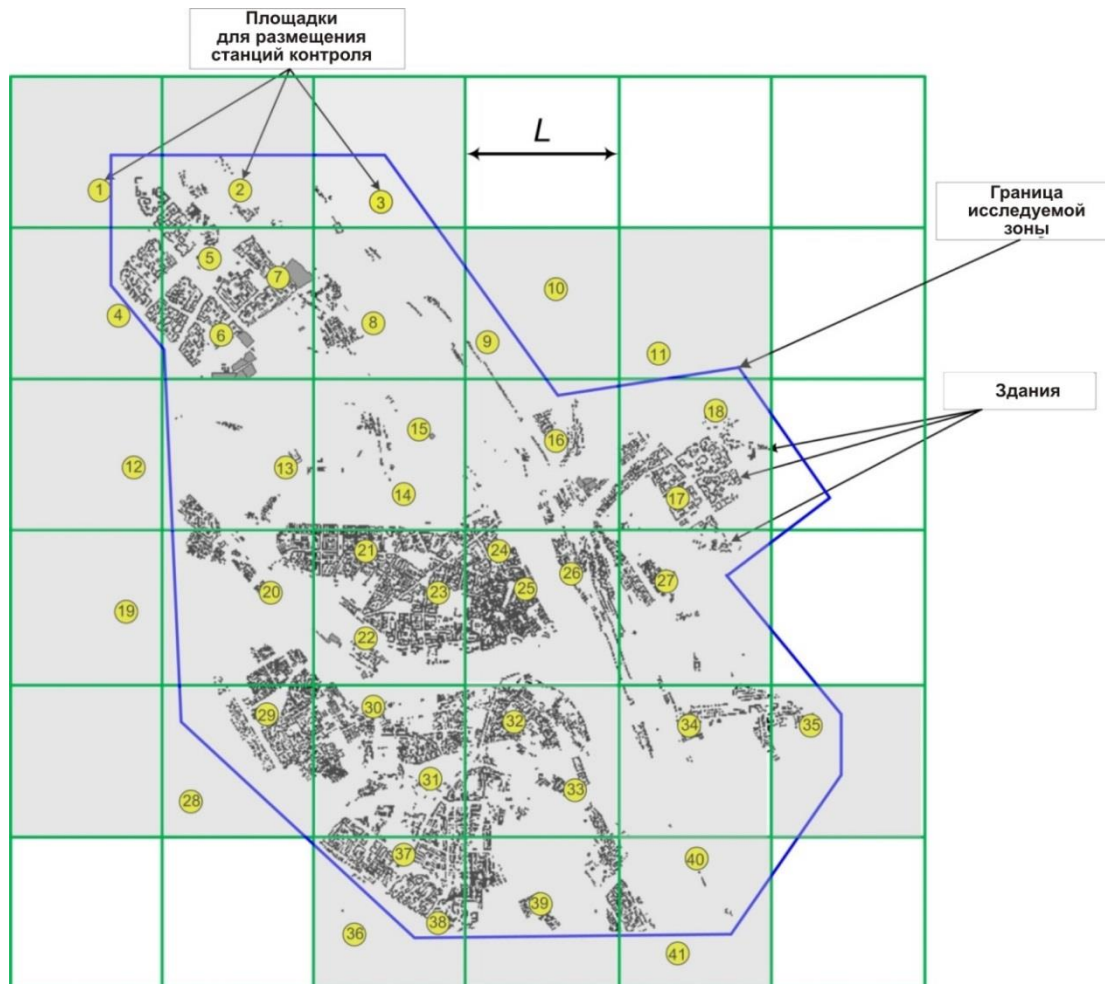
### Этап 1. Выбор возможных площадок для размещения станций радиоконтроля

После того как определена территория, подлежащая контролю, необходимо выбрать местоположение будущих станций контроля. С этой целью применяется сетка с шагом  $L = 0,5 \dots 5$  км, охватывающая исследуемую зону, а также соседние зоны. Чем меньше шаг сетки, тем лучше, но это в значительной степени зависит от имеющихся вычислительных ресурсов.

В каждой ячейке сетки выбираем как минимум одну площадку, которая потенциально может использоваться для размещения станции радиоконтроля (в некоторых ячейках могут быть выбраны несколько таких площадок). Например, в городских зонах подобной площадкой может служить крыша высотного здания, а в сельской местности это может быть высокое место вблизи дороги или место с необходимой инфраструктурой (рисунок 18).

РИСУНОК 18

Выбор возможных площадок для размещения станций радиоконтроля



### Этап 2. Наложение "расчетной сетки"

Наложим "расчетную сетку" в пределах границ зоны, которая должна охватываться радиоконтролем. Шаг "расчетной сетки" не должен быть слишком большим по сравнению с другими внешними объектами. Например, для планирования сетей SMN в городских зонах шаг "расчетной сетки" должен составлять от 5 до 50 м. Испытательные передатчики размещаются в узлах сетки. Значения э.и.и.м., средняя высота и другие характеристики испытательных передатчиков должны соответствовать характеристикам реальных радиостанций, которые планируется контролировать (рисунок 19).

РИСУНОК 19

Наложение "расчетной сетки" (в случае источников излучения вне помещений)



### Этап 3. Выполнение расчетов

Рассчитаем зону обслуживания для всех выбранных площадок. Если исследуемая зона частично охватывается существующей сетью контроля, которая будет модернизирована, то при проведении всех последующих расчетов необходимо учитывать охват этих станций с улучшенными характеристиками. Зона охвата каждой станции контроля определяется следующими условиями:

- максимальное расстояние ( $R_{\max\_loc}$ ) от каждой станции контроля до какого-либо испытательного передатчика определяется по следующей формуле (только для планирования сетей SMN на основе AOA, см. рисунок 20):

$R_{\max}$  = максимальная погрешность определения местоположения ( $\Delta_{Err}$ )/тангенс (угла погрешности по пеленгу ( $\theta^\circ$ ));

- расчетная напряженность поля в выбранных площадках для размещения станций контроля должна быть выше, чем требуемая минимальная напряженность поля (рисунок 21).

РИСУНОК 20

Пример определения максимального расстояния от станции контроля до испытательного передатчика (только для планирования сетей SMN на основе AOA)

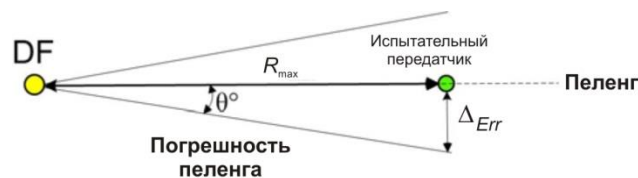
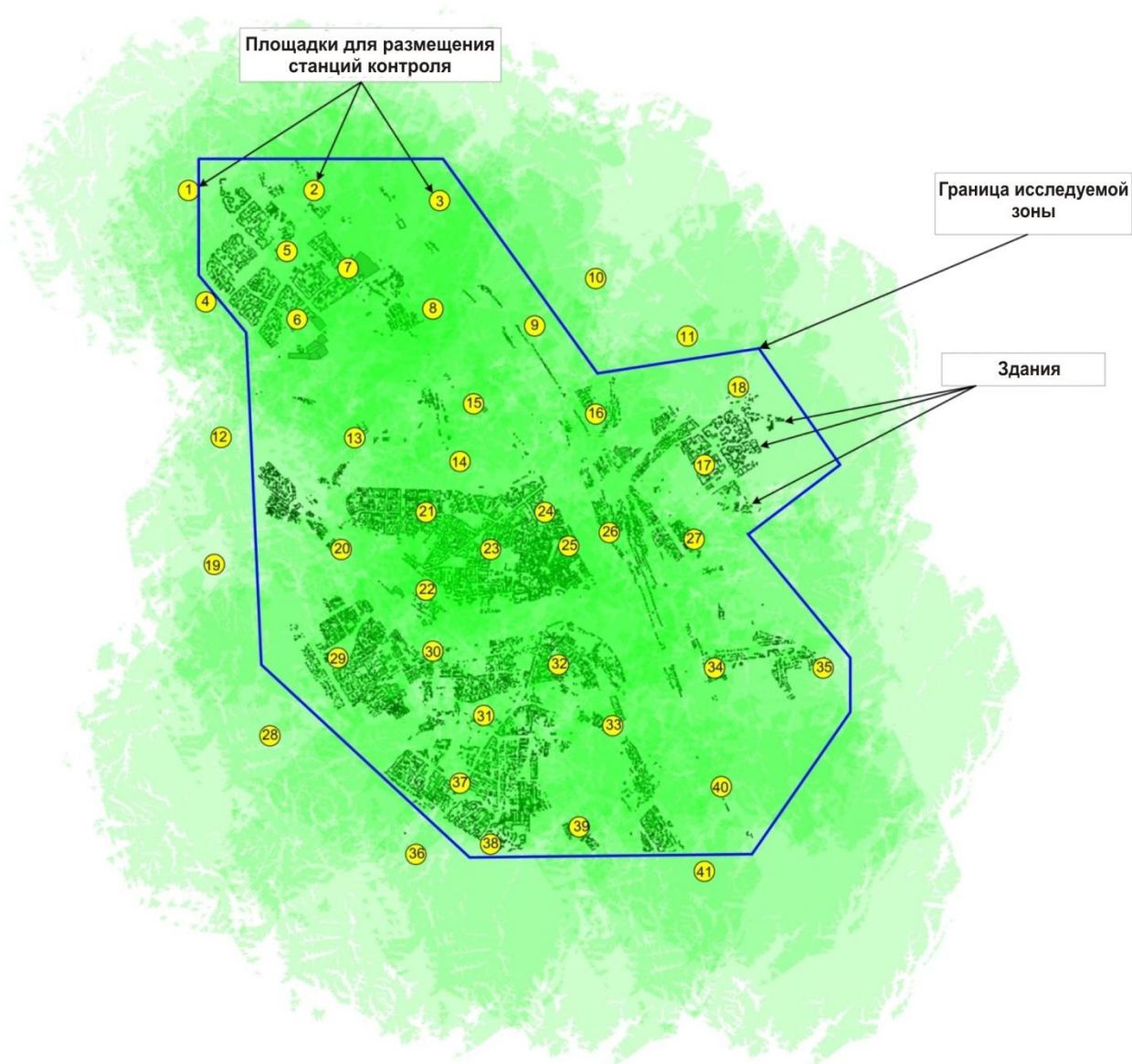


РИСУНОК 21

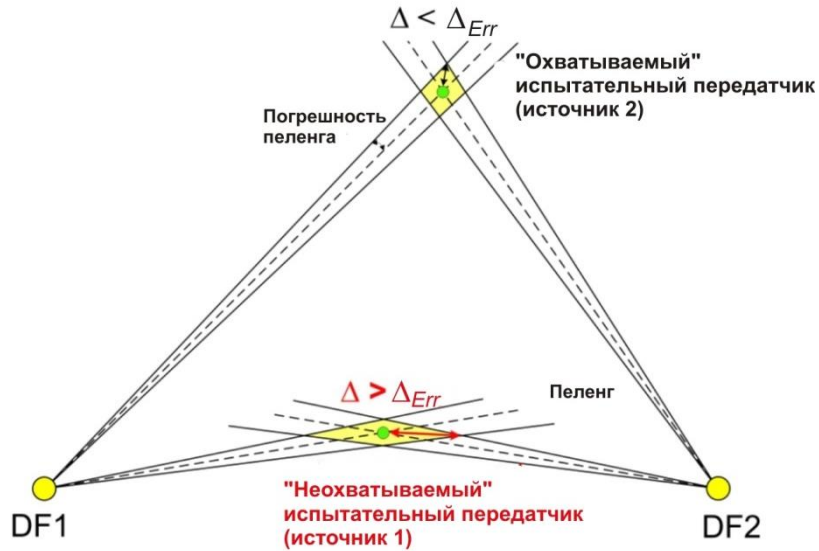
## Зоны охвата выбранных площадок размещения для станций контроля

**Этап 4. Построение схемы "линий АОА/TDOA" и выбор опорных точек для станций контроля***Планирование сетей SMN на основе АОА*

Для планирования сетей SMN на основе АОА необходимо, чтобы каждый испытательный передатчик охватывался как минимум двумя станциями контроля. Таким образом, для каждой пары станций контроля общая зона охвата определяется областью, в пределах которой погрешность определения местоположения не превышает заданное максимальное значение этой погрешности ( $\Delta_{Err}$ , см. рисунок 22).

РИСУНОК 22

Пример определения зоны охвата двумя станциями АОА

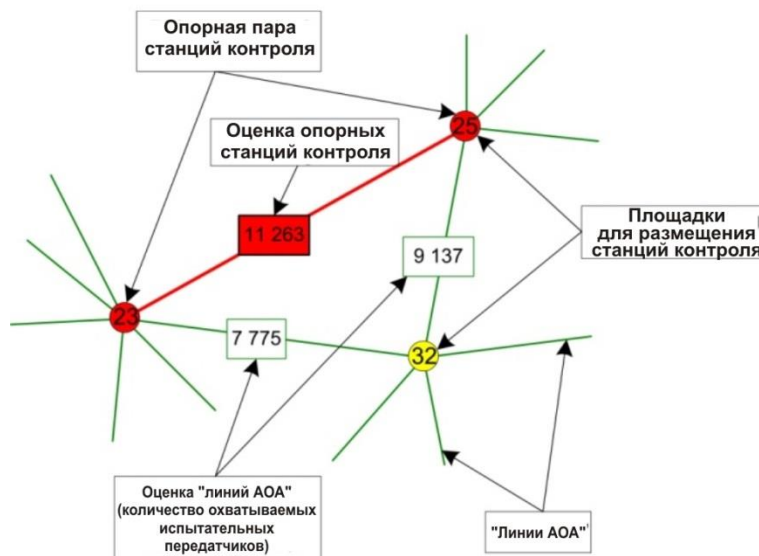


Оценка так называемой "линии АОА" (пары станций контроля) соответствует количеству охватываемых испытательных передатчиков, находящихся в пределах данной зоны. После подсчета оценок всех "линий АОА" можно построить схему "линий АОА".

Среди всех пар станций АОА требуется выбрать пару станций контроля с наибольшей оценкой (обладающую большей по размеру зоной охвата в исследуемой зоне). Если необходимо, площадки для размещения будущих станций контроля обследуются дополнительно. В результате получаем первую пару станций контроля, которая считается "парой опорных точек" (рисунок 23).

РИСУНОК 23

Часть схемы "линий АОА"

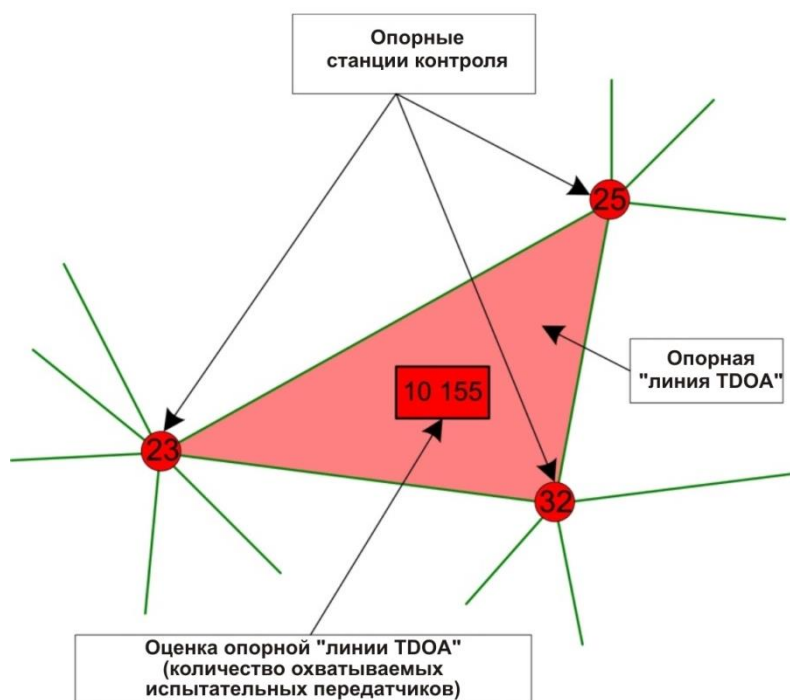


Планирование сетей SMN на основе TDOA

Аналогичная процедура выполняется при планировании станций на основе TDOA. В данном случае имеется одно исключение: необходимо, чтобы каждый испытательный передатчик охватывался как минимум тремя станциями контроля (рисунок 24).



РИСУНОК 24  
Часть схемы "линий TDOA"



#### Планирование сетей SMN для прослушивания и измерения параметров радиосигнала

При планировании сетей SMN для прослушивания и измерения параметров радиосигнала необходимо выбрать определенную станцию с наибольшей зоной охвата в исследуемом районе (с наибольшей оценкой). Если нужно, площадка для размещения будущей станции также обследуется дополнительно.

#### Этап 5. Определение неохватываемой зоны

После определения местоположений для станций радиоконтроля их зоны охвата "вычитаются" из площади исследуемого района. Следует отметить, что по завершении данного этапа оценки оставшихся площадок для размещения станций контроля или оценки оставшихся "линий АОА/TDOA" изменятся.

#### Этап 6. Выбор площадки для размещения новых станций контроля

Аналізу подлежат неохваченный район в исследуемой зоне. Должны быть получены ответы на следующие вопросы: Могут ли подвижные станции обеспечить охват данного района? Существует ли необходимость в планировании дополнительных фиксированных станций контроля? При необходимости нужно выбрать следующую (следующие) площадку (площадки) для размещения станции (станций) контроля с наибольшей оценкой для неохваченного района исследуемой зоны.

#### Планирование сетей SMN на основе АОА

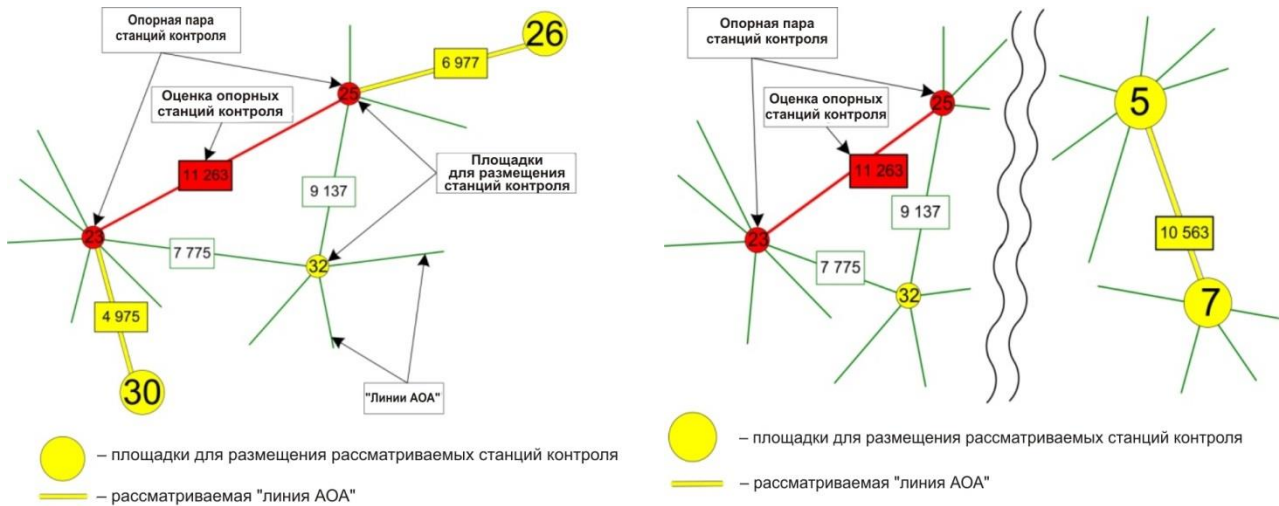
При планировании сетей SMN на основе АОА определяется следующая пара станций с наибольшей оценкой. Если эта пара не примыкает к "паре опорных станций", необходимо определить, требуется ли увеличение цепочки "опорных станций" до четырех, с тем чтобы суммарная оценка такой цепочки превысила общую оценку двух рассмотренных отдельных "линий АОА". Выберем вариант с наибольшей общей оценкой (рисунок 25). Следует отметить, что

$$\text{Оценка } (S_{30-23} - S_{23-25} - S_{25-26}) = \text{Оценка } (S_{30-23} \cup S_{23-25} \cup S_{25-26});$$

$$\text{Оценка } (S_{30-23} - S_{23-25} - S_{25-26}) \neq \text{Оценка } (S_{30-23}) + \text{Оценка } (S_{23-25}) + \text{Оценка } (S_{25-26}).$$

РИСУНОК 25

Пример выбора площадок для размещения станций контроля (часть схемы "линий АОА")

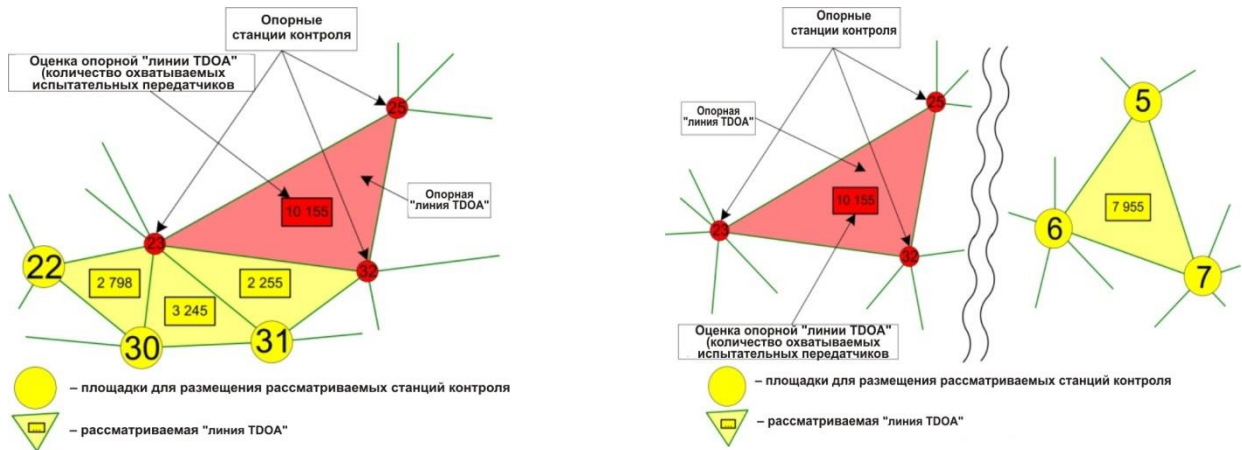


Планирование сетей SMN на основе TDOA

Аналогичная процедура выполняется при планировании станций TDOA. Это будет следующая "линия TDOA" с наибольшей оценкой. Если эти станции не примыкают к "опорным станциям", необходимо определить, требуется ли увеличение цепочки "опорных станций", с тем чтобы суммарная оценка такой цепочки превысила общую оценку двух рассматриваемых отдельных "линий TDOA". Выберем вариант с наибольшей общей оценкой (рисунок 26).

РИСУНОК 26

Пример выбора площадок для размещения станций контроля (часть схемы "линий TDOA")



Планирование сетей SMN для прослушивания и измерения параметров радиосигнала

При планировании сетей SMN для прослушивания и измерения параметров радиосигнала следует проанализировать неохваченную исследуемую зону, а затем выбрать следующую станцию с наибольшей оценкой (с наибольшей зоной покрытия в неохваченной исследуемой зоне).

Этап 7. Выполнение новых итераций

При необходимости следует повторить этапы 5, 6 и 7.

## 7 Заключение

Процесс планирования новых сетей SMN и оптимизации существующих сетей SMN с точки зрения охвата функциями контроля является достаточно сложным делом и требует принятия определенных административных решений на разных этапах. Кроме того, этот процесс может затянуться, особенно когда дело доходит до приобретения необходимого участка земли для размещения фиксированных станций, поскольку каждая потенциальная площадка должна быть обследована на предмет пригодности потенциальной зоны охвата. В процессе поиска доступных площадок для размещения, в максимально возможной степени удовлетворяющих всем требованиям, может возникнуть необходимость повторения данной процедуры.

Практически на любом этапе планирования и оптимизации сетей SMN требуется проводить расчеты по охвату функциями контроля. Из Рекомендации МСЭ-R SM.1392-2 видно, что такие расчеты играют критически важную роль в данном процессе. Это справедливо в особенности для расчетов шаблона LCT, поскольку, как мы убедились ранее, именно этот параметр является наилучшим показателем качества как сети SMN в целом, так и ее отдельных частей.

## Приложение 1

### Практический пример планирования локальной сети SMN на основе АОА на относительно ровной местности

#### A1-1 Введение

Эффективность деятельности любой национальной службы контроля за использованием спектра зависит от ряда факторов, основными из которых являются:

- структура сети контроля за использованием спектра;
- количество и технические характеристики станций контроля за использованием спектра и применяемого оборудования для радиоконтроля.

Структура сети контроля за использованием спектра определяется задачами, выполняемыми службой контроля за использованием спектра, рабочей полосой частот и распределением радиопередатчиков в зоне действия этой службы.

В большинстве случаев рабочая полоса частот фиксированных сетей контроля за использованием спектра ограничена максимумом 3000 МГц, а рабочая полоса частот фиксированных радиопеленгаторных сетей ограничена максимумом 1000 МГц.

Совокупная зона охвата сети контроля за использованием спектра формируется путем объединения зон охвата всех фиксированных станций контроля.

Совокупная зона радиопеленгации радиопеленгаторной сети или группы радиопеленгаторов формируется путем объединения этих зон для всех радиопеленгаторов сети.

Совокупная зона охвата функцией определения местоположения формируется областью пересечения зон радиопеленгации как минимум двух фиксированных радиопеленгаторов.

Зона охвата одиночной фиксированной станции контроля и зона радиопеленгации одиночного радиопеленгатора могут быть рассчитаны при помощи метода, указанного в последней версии Рекомендации МСЭ-R P.1546, или в условиях свободного пространства или могут быть измерены на практике.

Исходными данными, необходимыми для целей сравнения границ зон охвата функцией радиопеленгации, являются типичное значение чувствительности (пороговое значение напряженности поля) приемников радиопеленгаторов и приемников станций контроля для различных режимов эксплуатации, типичная выходная мощность передатчика, типичная высота антенны станции контроля и высота антенны передатчика. Эти параметры определяются в Справочнике МСЭ по контролю за использованием спектра.

### **A1-2 Исходные данные для планирования топологии сети контроля за использованием спектра**

На практике могут применяться два основных подхода к планированию фиксированной сети контроля за использованием спектра:

- охват наибольшей возможной территории при помощи наименьшего возможного количества фиксированных станций контроля;
- охват функцией контроля наибольшего количества радиопередатчиков при помощи наименьшего возможного количества фиксированных станций контроля.

Первый подход описывается в п. 6.8 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.) и основывается на применении сети радиопеленгаторов с регулярной структурой, в которой радиопеленгаторы расположены в вершинах правильных треугольников. Однако данный метод не обеспечивает минимального количества радиопеленгаторов (или фиксированных станций радиоконтроля). При расчете зоны радиопеленгации в целях оптимизации сети контроля за использованием спектра могут учитываться особенности рельефа местности.

Второй подход заключается в проведении предварительного моделирования разнообразных видов топологии фиксированной сети контроля за использованием спектра. При планировании топологии системы контроля за использованием спектра необходимо учитывать три основных фактора:

- распределение радиопередатчиков в зоне обслуживания;
- условия распространения радиоволн в различных полосах частот;
- метод мультиплексирования, используемый в определенных технологиях электросвязи.

Метод мультиплексирования определяет способность радиопеленгаторной сети определять местоположение радиопередатчиков.

### **A1-3 Оптимизация топологии простейшей сети контроля за использованием спектра**

Простейшая радиопеленгаторная сеть состоит из двух радиопеленгаторов, расположенных на расстоянии примерно 8–10 км друг от друга. Недостатком такой структуры является возможное наличие "слепых" зон, то есть зон, в которых радиопеленгаторная сеть не может определять местоположение радиопередатчиков с требуемой точностью или вовсе не обеспечивает определение их местоположения.

Два возможных варианта расположения двух радиопеленгаторов во Львове (Украина) в качестве примера изображены на рисунке A1-1. Местоположение УВЧ-радиопередатчиков, работающих в диапазоне частот 400 МГц, обозначено значками зеленого и розового цветов, а площадки размещения радиопеленгаторов – маленькими черными треугольниками. Границы зон радиопеленгации, рассчитанные для условий свободного пространства, обозначены линией красного цвета, а совокупная зона охвата функцией определения местоположения – линией синего цвета.

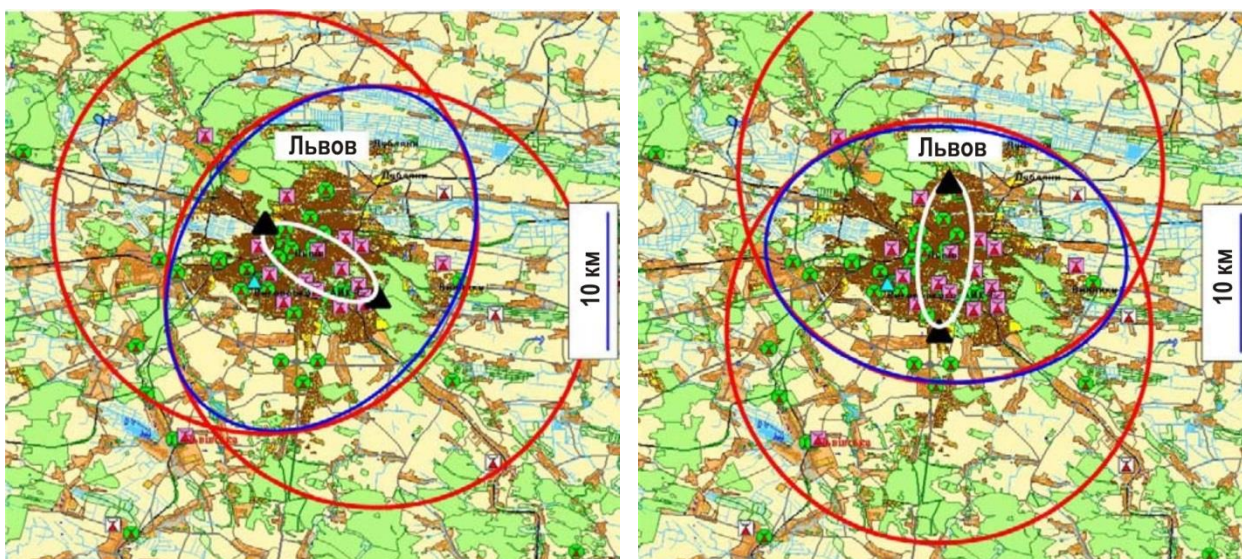
Если два радиопеленгатора расположены в противоположных сторонах населенного пункта, то совокупная зона охвата функцией определения местоположения охватывает некоторые из передатчиков вместе с другими, находящимися в "слепой" зоне (граница которой обозначена линией белого цвета на рисунке A1-1). В этом случае количество составляет 30% от общего числа передатчиков.

Для устранения такой "слепой" зоны существуют два практических решения:

- использование третьего радиопеленгатора;
- оптимизация размещения радиопеленгаторов.

РИСУНОК А1-1

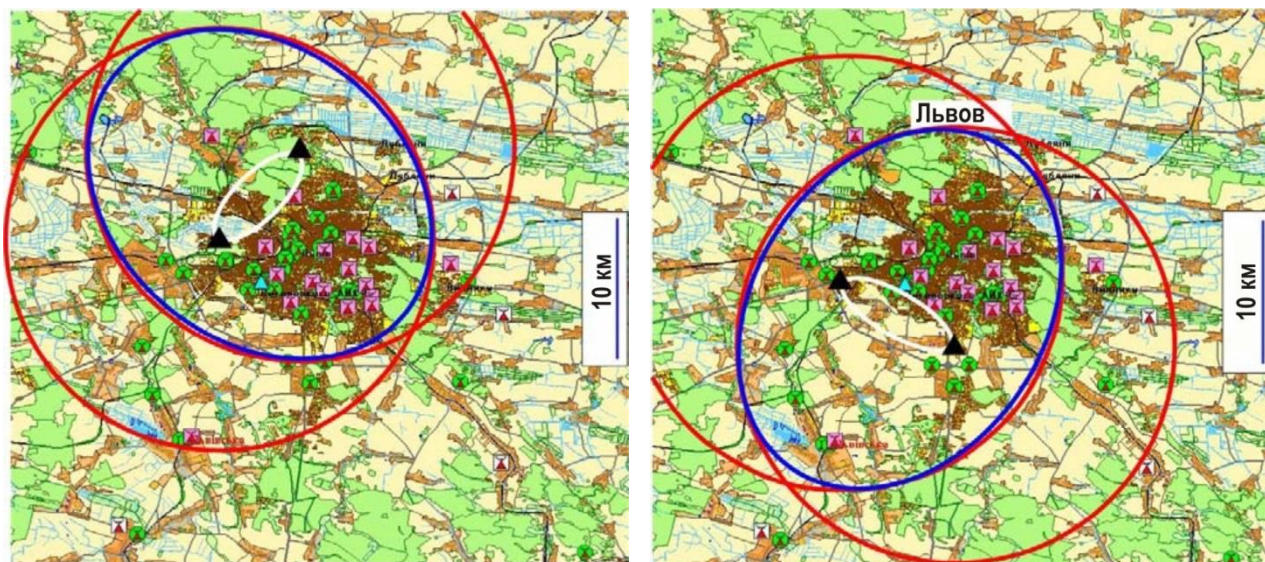
## Возможные варианты расположения двух радиопеленгаторов



В последнем случае применяются всего два радиопеленгатора. Некоторые из возможных вариантов расположения радиопеленгаторов изображены на рисунке А1-2. В этом случае совокупная зона охвата функцией определения местоположения охватывает все передатчики, и ни один из передатчиков не попадает в "слепую" зону.

РИСУНОК А1-2

## Альтернативные варианты расположения двух радиопеленгаторов во Львове



Топология простейшей сети определения местоположения, состоящей из двух радиопеленгаторов, является наиболее оптимальной, если они расположены на расстоянии примерно 8–10 км друг от друга вблизи границы города. Подобное расположение радиопеленгаторов позволяет свести к минимуму количество радиопередатчиков, которые могут попасть в "слепую" зону.

#### A1-4 Регулярная структура топологии крупной сети контроля за использованием спектра

Для обеспечения контроля за использованием спектра и определения местоположения радиопередатчиков на обширной территории необходимо задействовать большое количество радиопеленгаторов.

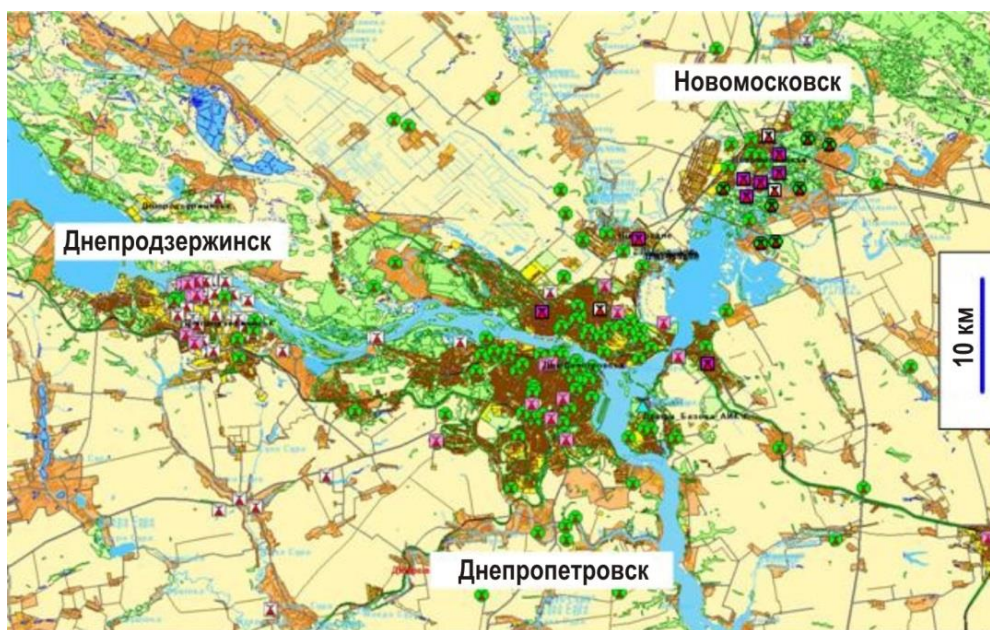
На рисунке A1-3 изображено распределение радиопередатчиков (базовых станций TRUNK и УВЧ-передатчиков) в диапазоне частот 400 МГц в Днепропетровске и его городах-спутниках Днепродзержинске и Новомосковске (Украина). Местоположение передатчиков обозначено значками зеленого и розового цветов.

На рисунках A1-4 и A1-5 изображены два возможных варианта рассчитанной топологии гипотетической сети радиопеленгации и определения местоположения, которые охватывают передатчики на указанной территории и основаны на регулярной структуре сети.

Сеть, изображенная на рисунке A1-4, состоит из восьми радиопеленгаторов, охватывает 100% рассматриваемой территории и обеспечивает возможности обнаружения и измерения частотных параметров приблизительно 99% передатчиков, однако при этом предоставляет данные о местоположении менее чем 87% радиопередатчиков.

РИСУНОК A1-3

Распределение базовых станций TRUNK и УВЧ-передатчиков в диапазоне частот 400 МГц



Сеть, изображенная на рисунке A1-5, охватывает 100% рассматриваемой территории и обеспечивает возможности обнаружения, измерения частотных параметров и определения местоположения приблизительно 99% передатчиков. Однако она требует наличия как минимум семи радиопеленгаторов.

РИСУНОК А1-4

Гипотетическая регулярная сеть радиопеленгации и определения местоположения (вариант 1)

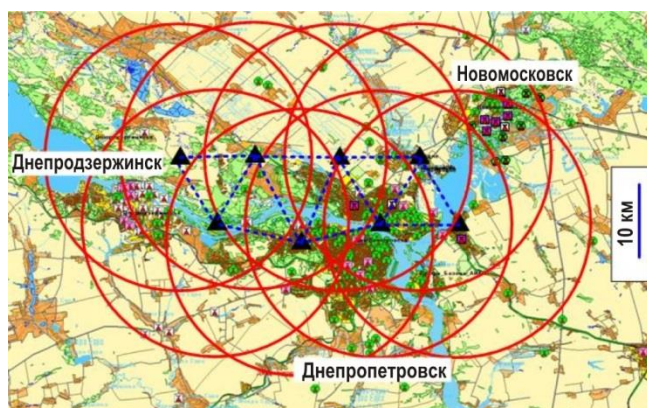


РИСУНОК А1-5

Гипотетическая регулярная сеть радиопеленгации и определения местоположения (вариант 2)



### А1-5 Нерегулярная структура топологии сети контроля за использованием спектра

Топология крупных радиопеленгаторных сетей базируется на нерегулярной структуре и определяется поэтапно на основе двух критериев:

- охват функциями контроля наибольшего количества радиопередатчиков с использованием минимально возможного количества фиксированных станций контроля;
- сведение к минимуму количества радиопередатчиков в "слепой" зоне между двумя наиболее близко расположенными радиопеленгаторами.

Этап 1. Оценка распределения радиопередатчиков в рассматриваемой области в заданном диапазоне частот

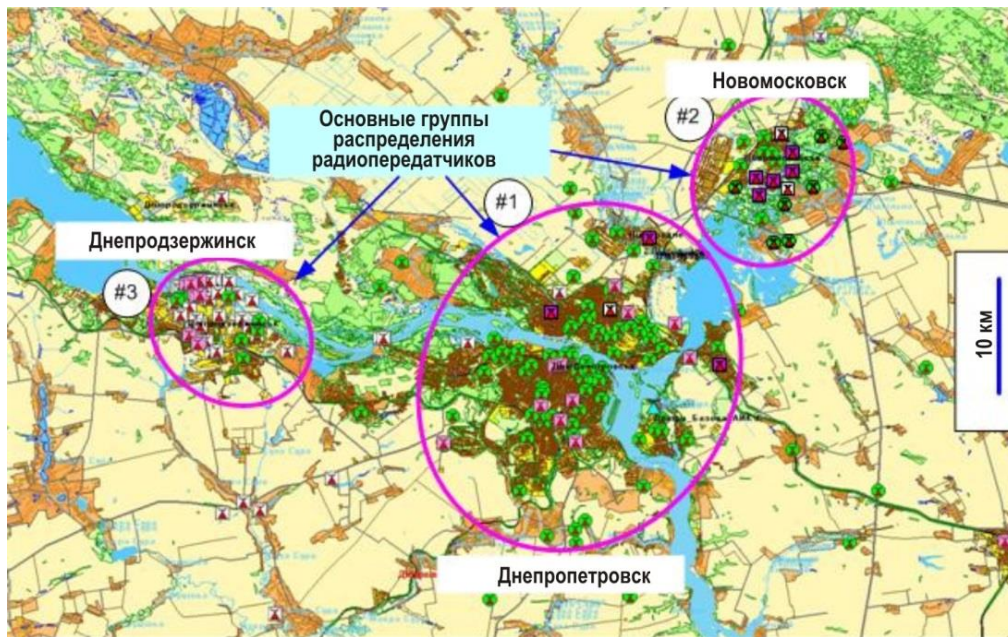
Распределение радиопередатчиков в диапазонах ОВЧ/УВЧ на территории Днепропетровска и его городов-спутников Днепродзержинска и Новомосковска изображено на рисунке А1-3.

Этап 2. Определение больших групп радиопередатчиков в рассматриваемой области

На рисунке А1-6 три большие группы базовых станций TRUNK и ОВЧ-радиопередатчиков в диапазоне частот 400 МГц обведены эллипсами розового цвета.

РИСУНОК А1-6

## Большие группы передатчиков в полосе частот 400 МГц



Этап 3. Моделирование предварительной топологии системы контроля за использованием спектра

Топология сети контроля за использованием спектра определяется путем применения процедуры итерации. Первым и наиболее очевидным предложением является формирование зоны охвата функцией определения местоположения для группы № 1 путем развертывания двух радиопеленгаторов (рисунок А1-7).

РИСУНОК А1-7

## Первоначальный вариант топологии сети контроля за использованием спектра

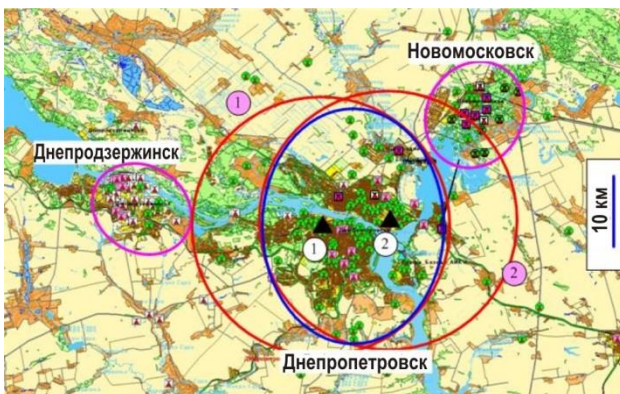
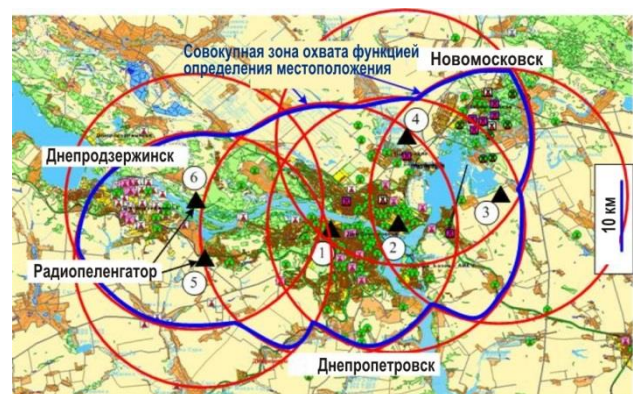


РИСУНОК А1-8

## Совокупная зона охвата функцией определения местоположения сети контроля за использованием спектра



Однако в данном случае для определения местоположения передатчиков в группах № 2 и 3 необходимо задействовать две дополнительные пары радиопеленгаторов (рисунок А1-8). Совокупная зона охвата функцией определения местоположения для этой сети контроля за использованием спектра обозначена линией синего цвета.

Этап 4. Оптимизация топологии сети контроля за использованием спектра

Использование нерегулярной структуры позволяет минимизировать количество радиопеленгаторов, а также оптимизировать топологию сети контроля за использованием спектра.



На первом этапе моделирования сети определения местоположения размещаются три радиопеленгатора (1, 2 и 3), позволяющие построить зону охвата функцией определения местоположения передатчиков группы № 2 и большей части передатчиков группы № 3 (рисунок А1-9).

На втором этапе зона охвата функцией определения местоположения расширяется путем ввода в действие радиопеленгаторов 4 и 5 (рисунок А1-10). Совокупная зона охвата функцией определения местоположения обозначена линией синего цвета.

РИСУНОК А1-9

**Первый этап моделирования нерегулярной структуры топологии сети контроля за использованием спектра**



РИСУНОК А1-10

**Второй этап моделирования нерегулярной структуры топологии сети контроля за использованием спектра**



Используя описанный выше критерий, можно добавить несколько радиопеленгаторов для формирования заранее определенной зоны охвата.

Топология этой локальной подсети радиопеленгации и определения местоположения в Днепропетровске, Днепродзержинске и Новомосковске была определена на основе результатов моделирования. Данная подсеть состоит из пяти радиопеленгаторов и охватывает примерно 100% ОВЧ-радиопередатчиков и около 99% рассматриваемой территории. Кроме того, в этой локальной подсети отсутствуют "слепые" зоны, в том числе "слепая" зона между стационарными радиопеленгаторами 4 и 5.

В процессе планирования нерегулярная структура топологии сети радиопеленгации и определения местоположения может быть оптимизирована, что позволяет охватить дополнительные радиопередатчики, используя наименьшее возможное количество стационарных радиопеленгаторов.

## Приложение 2

### Планирование сетей SMN на основе АОА в горных и холмистых районах

#### А2-1 Предисловие

Известно, что при увеличении высоты антенны зоны охвата станций контроля расширяются. Однако любое существенное увеличение физической высоты антенной мачты сопряжено с техническими сложностями и значительными финансовыми затратами. Поэтому на практике для увеличения эффективной высоты антенну станции, как правило, размещают на возвышенности. В странах с горными районами эффективная высота антенн в ряде случаев может быть увеличена до 3000 м, величины, указанной в Рекомендации МСЭ-R P.1546-4.

Недавно разработанная общая методика [1, 2] и соответствующее программное обеспечение для планирования сетей SMN (описываемое в Приложении 5 Справочника МСЭ по компьютерным методам управления использованием спектра (САТ), издание 2015 г.) позволяют провести количественную оценку потенциальных преимуществ указанного способа размещения антенн фиксированных станций, проанализировать связанные с этим физические явления и разработать соответствующие Рекомендации [3].

Расчеты зон охвата функциями контроля основаны на методике, изложенной в п. 4.7.3.1.4 и разделе 6.8 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.). В качестве испытательного передатчика в данных расчетах использовалась частная подвижная радиостанция (PMR) мощностью 10 Вт, работающая на частоте 900 МГц, с высотой антенны 6 м над уровнем земли. Это соответствует 3-метровой антенной мачте, расположенной на крыше одноэтажного здания, и может использоваться в качестве подходящей модели малой подвижной базовой радиостанции с минимальными техническими параметрами. В расчете использовалась модель распространения радиоволн, основанная на методике, описываемой в Рекомендации МСЭ-R P.1546-4, Приложение 5, в разделе 1.1 которого описывается рекомендуемый метод расчета, применимый к функциям контроля. Среднеквадратичная погрешность радиопеленгации для всех рассматриваемых фиксированных станций принимается равной  $1^\circ$ , а для подвижных станций –  $2^\circ$ .

## **A2-2 Зоны охвата функциями радиопеленгации и определения местоположения для антенн станций, расположенных на возвышенностях**

Пытаясь увеличить эффективную высоту антенн станций, не следует забывать, что для функционирования станции требуется соответствующая инфраструктура, прежде всего линии подачи электроэнергии и подъездные пути, которые необходимы даже в случае использования необслуживаемых автоматизированных станций, чтобы обеспечить возможность их ремонта и поддержания в рабочем состоянии.

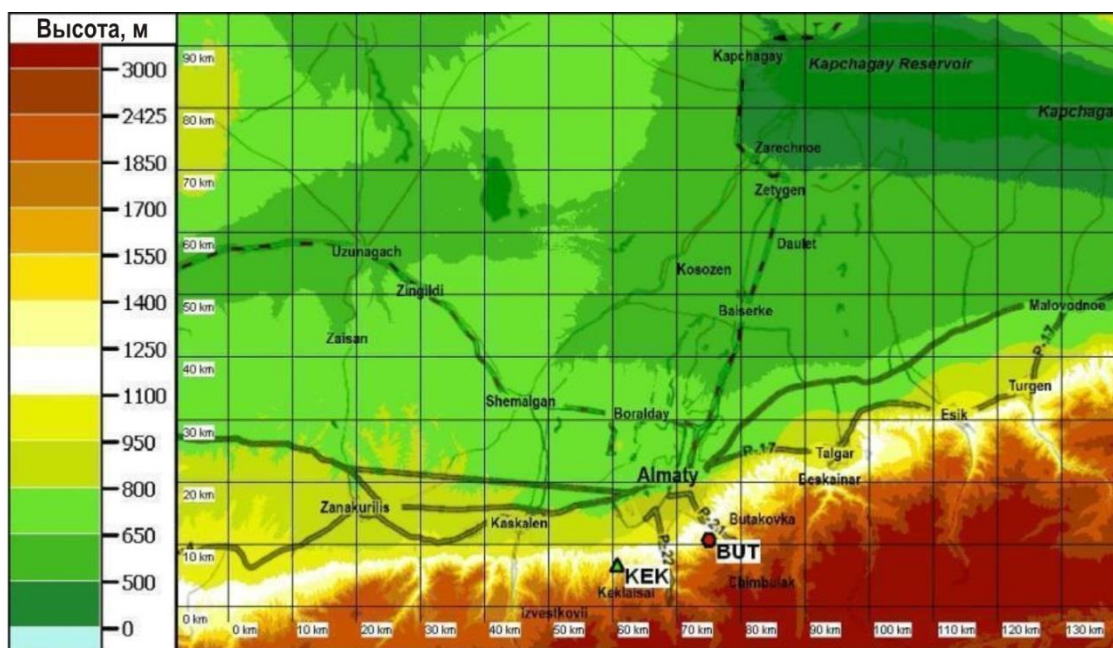
Следовательно, на практике размещение станций и их антенн в горных районах ограничивается верхней границей населенной территории, на которой уже существует подобная инфраструктура.

Две виртуальные фиксированные станции с антеннами расположены в предгорьях к югу от г. Алматы (Республика Казахстан) [3]. Эта ситуация показана на рисунке A2-1, отображающем топографию рассматриваемой области. Антенна одной из станций (КЕК) расположена на высоте 1506 м, другая (ВУТ) – на высоте 1568 м. Предполагаемая физическая высота антенных мачт равна 10 м, поскольку в данных обстоятельствах физическая высота антенны фактически не влияет на ее эффективную высоту, определяемую в соответствии с процедурой, указанной в Рекомендации МСЭ-R R.1546-4. Антенные мачты меньшей высоты не рекомендуется применять из соображений безопасности. Для обеспечения максимальной зоны охвата функциями контроля были тщательно выбраны конкретные пункты размещения антенн (см. ниже).

На рисунке A2-2 изображен шаблон охвата функцией определения местоположения (LCT) обеих станций.

РИСУНОК А2-1

Размещение виртуальных станций и топография рассматриваемого района



Из рисунка А2-2 видно, что размещение антенн станций подобным образом позволяет осуществлять контроль на очень больших расстояниях в пределах равнины, прилегающей к горному хребту, особенно по направлению к северу и западу от г. Алматы (до 70 км и далее). Кроме того, из рисунка А2-2 видно, что, если антенны станций размещены подобным образом, южная часть г. Алматы охватывается с погрешностью определения местоположения (LU) от 200 до 400 м, а северная часть – с погрешностью LU от 400 до 600 м. Это существенно ускоряет процесс обнаружения передатчика (или любых других источников излучения) при помощи подвижной станции, по мере необходимости. С другой стороны, вблизи внешних границ шаблона LCT на расстоянии примерно от 60 до 70 км от г. Алматы значения LU очень высоки (примерно от 12 до 14 км). Таким образом, значение LU в этом примере колеблется с коэффициентом 70 в пределах шаблона LCT. Это явление должно учитываться при выполнении операции обнаружения объекта.

На рисунке А2-2 показана высокая эффективность размещения антенн станций на возвышенности, поскольку этот метод позволяет охватывать значительные территории при использовании небольшого количества фиксированных станций. Однако для этого требуется более тщательный выбор площадок размещения антенн. На равнине перемещение антенн на несколько сотен метров и даже на несколько километров не оказывает значительного влияния на общие зоны охвата функциями контроля группы станций в сети SMN. В горной местности, напротив, перемещение площадок для антенн всего на несколько десятков метров может значительно сократить зоны охвата функциями контроля рассматриваемых станций. Это может также неблагоприятно повлиять на общую зону охвата функцией определения местоположения при небольшом количестве фиксированных станций в сети SMN. На рисунке А2-3 показан шаблон LCT, полученный в результате перемещения станции BUT всего на 100 м к югу (станция В2). По сравнению с рисунком А2-2, очевидны неблагоприятные последствия подобного перемещения.

В связи с этим сразу после компьютерного моделирования сети контроля в такого рода горной местности необходимо провести тщательное изучение потенциальных площадок для размещения, включающее детальное визуальное обследование территории (при помощи биноклей) на предмет наличия возможных препятствий для распространения радиоволн в направлении территории, подлежащей контролю.

### A2-3 Снижение вероятности эффектов отражения

Еще одним фактором, весьма типичным для горных районов, является отражение радиосигналов от близлежащих гор [4]. На это явление необходимо обращать особое внимание в процессе выбора площадок для размещения антенн радиостанций. Они должны размещаться на горных хребтах, выступающих вглубь контролируемой территории. Это позволяет уменьшить вероятность отражений от близлежащих горных хребтов равной или большей высоты. Вероятность отражений от гор меньшей высоты не столь велика.

Подобный подход к выбору площадок для размещения антенн, относящихся к станциям КЕК и ВУТ, показан на рисунке A2-4. С другой стороны, если антенна станции размещена в глубине между выступающими горными хребтами равной или большей высоты (например, антенна станции N на рисунке A2-4), вероятность помех, связанных с отражениями, значительно возрастает. На рисунке A2-4 показана высокая вероятность отражений сигнала, принимаемых антенной станции N от передатчика Т.

РИСУНОК A2-2

Зоны охвата функциями радиопеленгации и определения местоположения при правильном размещении станций КЕК и ВУТ

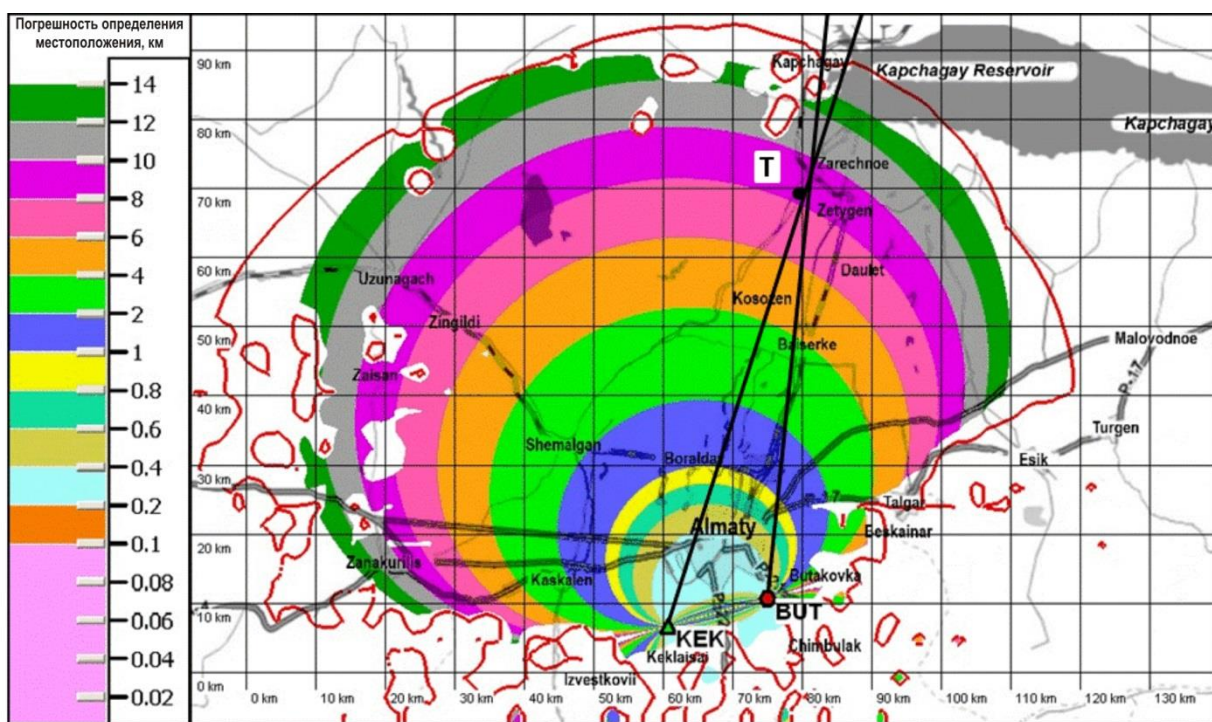


РИСУНОК А2-3  
 Зоны охвата функциями радиопеленгации и определения местоположения при неправильном размещении станции BUT

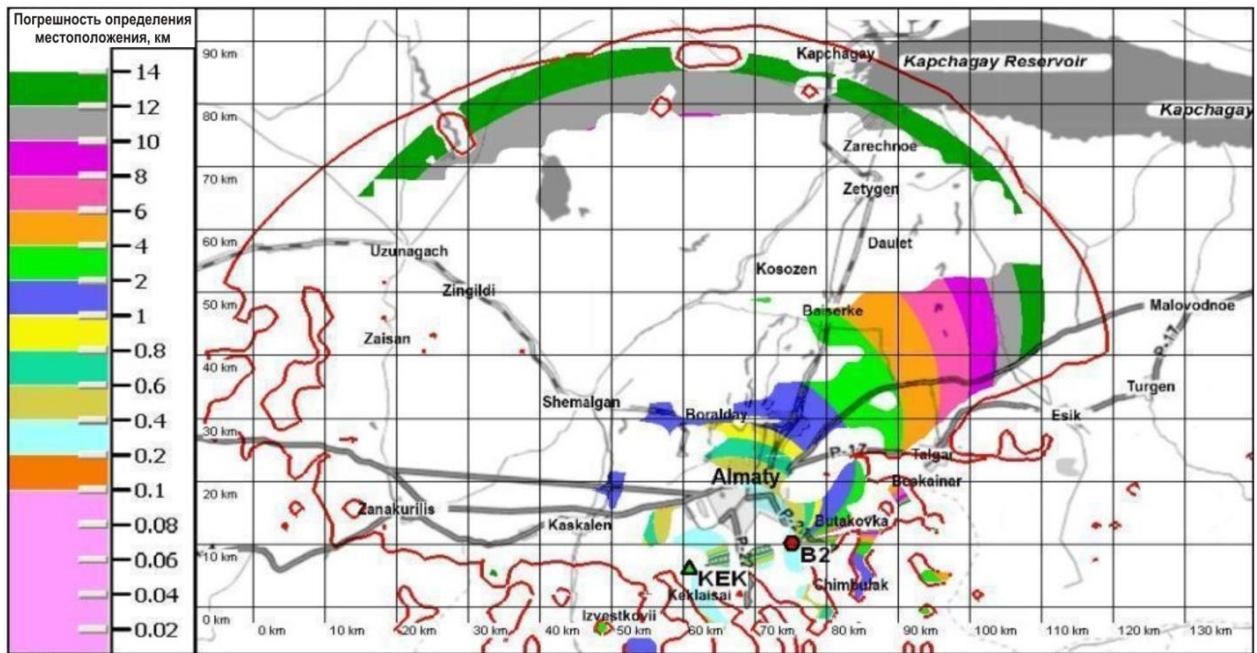
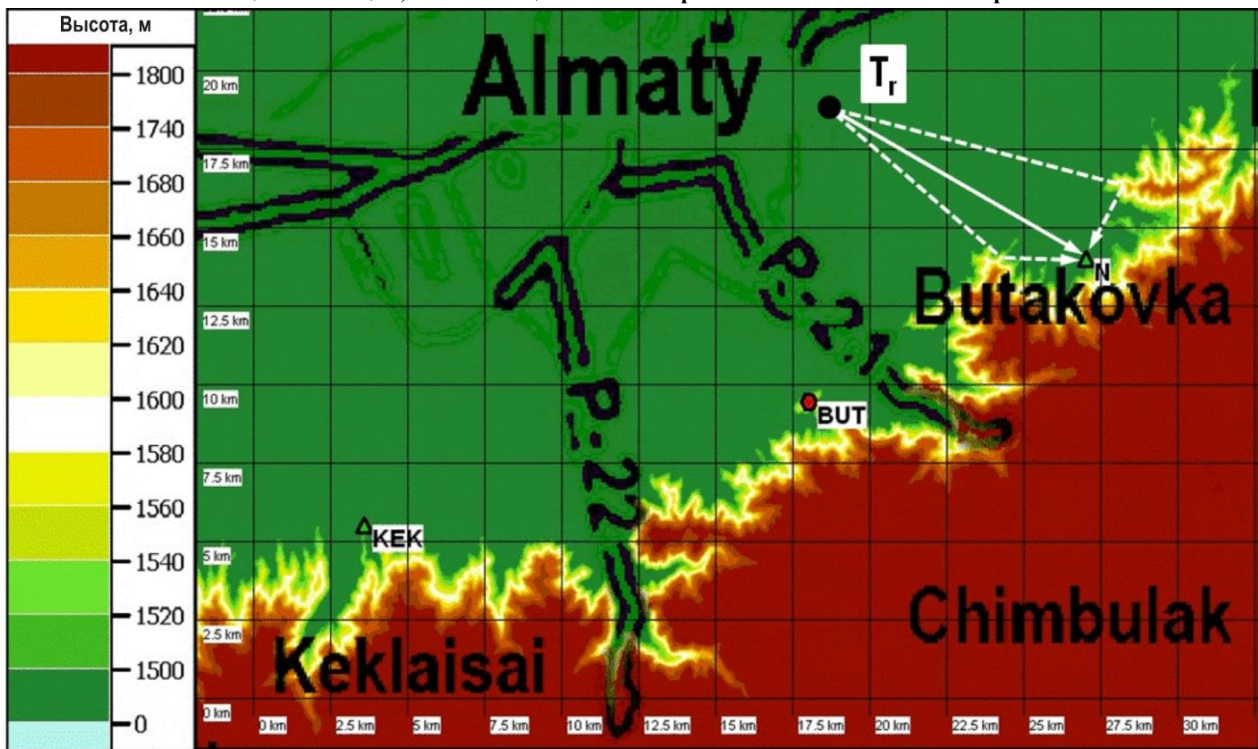


РИСУНОК А2-4  
 Размещение станций, позволяющее снизить вероятность возникновения отражений

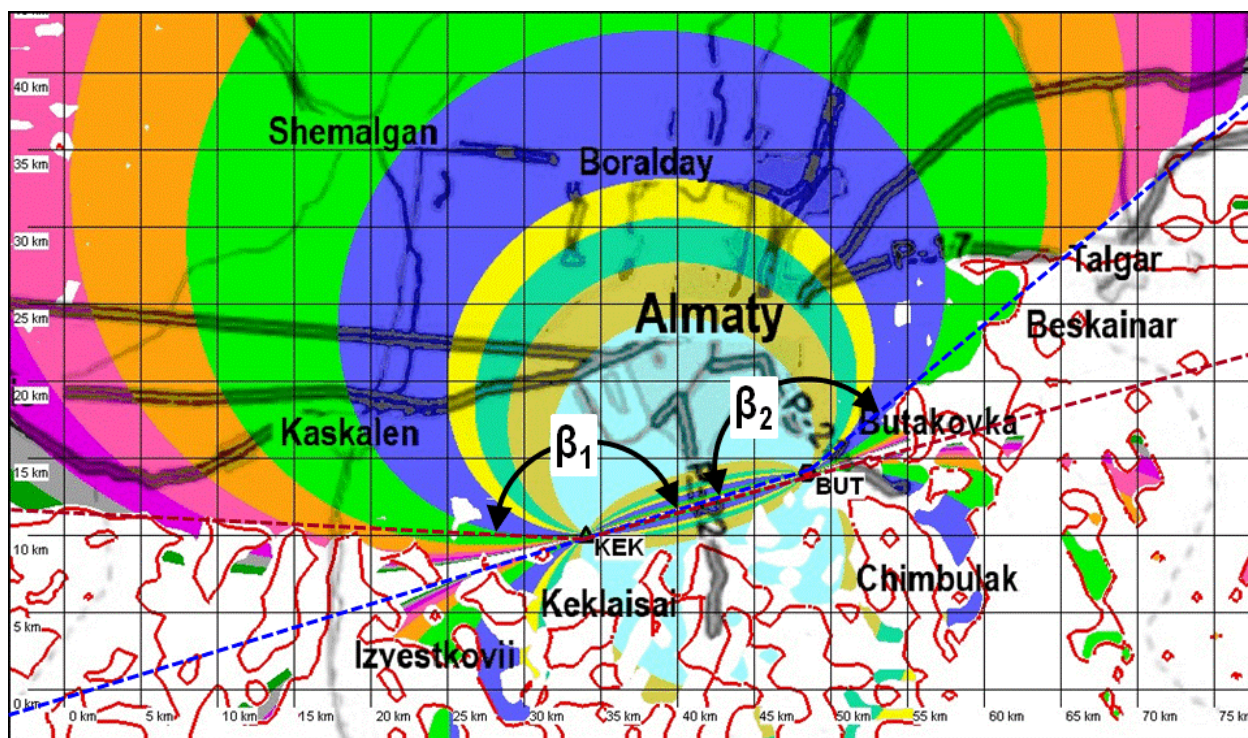


В целях нейтрализации влияния отражения радиосигналов от высоких гор, расположенных еще дальше от рассматриваемой станции (относительно контролируемой территории) и в боковых направлениях, все ложные пеленги, создаваемые в результате подобных отражений, могут блокироваться при помощи соответствующего программного обеспечения [4]. В рассмотренном примере, показанном на рисунке А2-5, могут быть заблокированы пеленги, приходящие на станции КЕК и BUT под углами, находящимися вне секторов  $\beta_1$  и  $\beta_2$  соответственно.

На этих территориях количество высокогорных населенных пунктов с радиопередатчиками, представляющими потенциальный интерес для контроля, невелико, и в таких зонах фактически не осуществляется эффективный контроль фиксированными станциями.

РИСУНОК А2-5

Блокирование ложных пеленгов, создаваемых вследствие отражений от гор



На больших расстояниях от группы фиксированных станций контроля погрешность определения местоположения может быть очень высока. Однако это не мешает осуществлять эффективное определение местоположения искомого радиопередатчика при помощи подвижной станции в таких зонах, а также в зонах за пределами шаблона LCT, в которых радиопеленгация осуществляется лишь одной фиксированной станцией контроля, при условии эффективного взаимодействия между этими подвижными и фиксированными станциями контроля, как это описывается в документе [5].

#### A2-4 Заключительные замечания

Топография горной местности может эффективно использоваться для расширения зон охвата функциями контроля с помощью небольшого количества фиксированных станций на равнинах, примыкающих к горным хребтам. С другой стороны, в подобных условиях выбор подходящих площадок для размещения антенн и их тщательное обследование играют более важную роль в обеспечении непрерывности линий прямой видимости в направлении контролируемой зоны. Необходимы также меры для уменьшения влияния отражений от близлежащих гор, расположенных позади данной станции относительно контролируемой территории.

## Приложение 3

### Рабочие характеристики приемников и их влияние на зону охвата сети

#### А3-1 Влияние рабочих характеристик приемника на пространственное разнесение станций сети определения географического местоположения

Чувствительность системы для станции контроля за использованием спектра определяется множеством проектных параметров, в том числе усилением антенны, мгновенной шириной полосы пропускания приемника (IBW), коэффициентом шума приемника, мгновенным динамическим диапазоном приемника, а также фазовым шумом приемника.

Расчетные эксплуатационные характеристики контрольного приемника напрямую влияют на планируемое расстояние разноса между узлами первичной регулярной сети. Это, в свою очередь, влияет на зону охвата. Приемники с улучшенными рабочими характеристиками позволяют добиться большего разнесения, и, таким образом, для охвата определенной территории потребуется меньшее количество станций контроля. Данные принципы применимы к сетям на основе AOA, TDOA и гибридным сетям. В дальнейшем мы будем использовать показатель  $NF_{\text{приемника}}$  в качестве эффективного коэффициента шума приемника, в котором фактический коэффициент шума приемника объединяется с влиянием мгновенного динамического диапазона и фазового шума приемника. Типичный уровень коэффициента шума современного приемника равен 12 дБ.

#### А3-2 Мгновенный динамический диапазон

Рабочая ширина полосы современных сигналов постоянно растет, достигая 20 МГц и более. Для эффективного анализа таких сигналов в современных SMS-системах используются широкополосные приемники. Нежелательный побочный эффект при увеличении полосы пропускания приемника заключается в том, что повышается вероятность присутствия в полосе пропускания как мощных, так и слабых сигналов. Вероятность того, что система контроля будет установлена вблизи источника мощных сигналов, является реальной проблемой, усугубляемой постоянным увеличением плотности источников излучения.

Для того чтобы принимать слабый сигнал в присутствии мощных сигналов, широкополосный приемник должен обладать высоким внутрисполосным динамическим диапазоном. В противном случае приемник не сможет обнаружить слабые сигналы<sup>4</sup>. Недостаточный динамический диапазон является причиной неспособности принимать слабые сигналы, что эквивалентно увеличению *эффективного* коэффициента шума приемника. Следует отметить, что влияние близких источников мощных сигналов может быть дополнительно снижено путем использования приемников с двойной полосой пропускания (широкой и узкой). В этом случае узкая полоса (как правило, 1/10 широкой полосы) используется в присутствии сверхмощных сигналов от близлежащих источников.

#### А3-3 Фазовый шум

Гетеродин приемника должен подавать на вход смесителя максимально чистый сигнал, однако на практике достижимая степень чистоты этого сигнала может сильно колебаться в зависимости от конструкции. Чистота сигнала измеряется в децибелах ниже несущей (дБн) на нескольких частотах сдвига. Проблема заключается в том, что фазовый шум гетеродина может маскировать слабые сигналы в присутствии мощных сигналов путем взаимного смешивания сигналов в приемнике. Влияние взаимного смешивания также эквивалентно увеличению *эффективного* коэффициента шума приемника. Для того чтобы свести к минимуму влияние взаимного смешивания сигналов, фазовый шум приемника должен быть низким. Показатель фазового шума современного приемника не должен быть ниже  $-100$  дБн/Гц при сдвиге частоты 10 кГц.

---

<sup>4</sup> В данном анализе не рассматриваются средства подавления мощных сигналов, такие как режекторные или заграждающие фильтры.

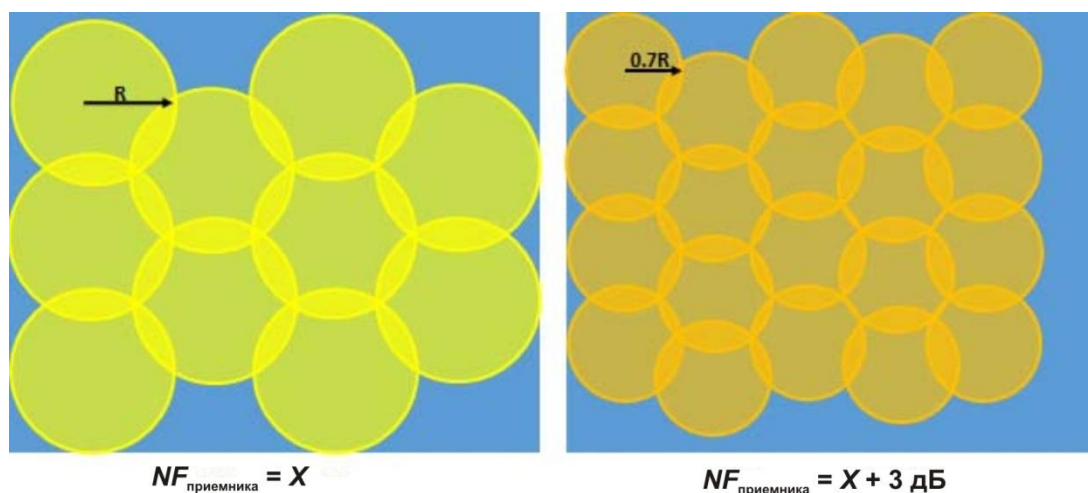
### А3-4 Влияние на зону охвата

На рисунке А3-1 показана взаимосвязь между эффективным коэффициентом шума приемника и общим количеством станций, требуемым для обеспечения сплошного охвата воображаемой исследуемой зоны. На рисунке в левой части показана сеть станций, где коэффициент шума приемника  $NF_{\text{приемника}} = X$ , в результате получаем радиус зоны охвата  $R$  и зону охвата  $CA$ . В этих условиях для охвата исследуемой территории может понадобиться около девяти станций.

В варианте, изображенном на рисунке справа, используется приемник с эффективным коэффициентом шума на 3 дБ выше:  $NF_{\text{приемника}} = X + 3$  дБ. В этом случае радиус зоны охвата уменьшается до  $0,7 R$ , а зона охвата – до  $\frac{1}{2} CA$ .

РИСУНОК А3-1

Пример взаимосвязи между эффективным коэффициентом шума приемника и общим количеством станций, требуемым для обеспечения сплошного охвата воображаемой исследуемой территории



В этой простейшей аналитической модели при увеличении эффективного коэффициента шума приемника на 3 дБ количество требуемых станций контроля увеличивается приблизительно в два раза.

Следует отметить, что все эти соображения справедливы только для свободного пространства. Реальная ситуация может быть еще хуже: в условиях города и пригорода идеальное значение  $20 \log(d)$  превращается в  $40$  или  $50 \log(d)$  – и увеличение на 3 дБ коэффициента шума потребует большего количества приемников для обеспечения сплошного охвата.

Более подробная информация по контрольным приемникам приведена в разделе 3.3 Справочника МСЭ по контролю за использованием спектра (издание 2011 г.).

### А3-5 Заключение

Весьма важно использовать приемное оборудование, соответствующее характеристикам, указанным в действующих Рекомендациях МСЭ (или превышающее их). На примере простейшей аналитической модели можно увидеть, что при увеличении эффективного коэффициента шума приемника на 3 дБ количество требуемых станций контроля может возрасть по меньшей мере в два раза.



### Справочные документы

- [1] Krutova, O.E., Pavlyuk, A.P., *Planning procedures for spectrum monitoring networks in the VHF/UHF frequency range* – Proceedings of the International Symposium on Electromagnetic Compatibility, EMC Europe 2012. Rome, Italy, September 2012. <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/login.jsp?tp=&arnumber=6396919>.
  - [2] *Быховский М. А., (ред.). Основы управления использованием радиочастотного спектра. Т 1. Международная и национальная системы управления ПЧС. Радиоконтроль и радионадзор. М., 2012.*
  - [3] *Нуршабеков Р. Р., Айтмагабетов А. З. Использование горного рельефа местности для расширения зон охвата мониторингом в ОВЧ/УВЧ-полосе частот. "Вестник КазАТК", № 1, 2013. (Перевод на английский язык см. по адресу: [http://csse.faculty.iitu.kz/?page\\_id=261](http://csse.faculty.iitu.kz/?page_id=261).)*
  - [4] *Нурматов Б. Н. Особенности радиопеленгации в условиях Киргизской Республики. VI Международный симпозиум по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии, Санкт-Петербург, Россия, 21–24 июня 2005 года.*
  - [5] *Нуршабеков Р. Р., Айтмагабетов А. З. Допоиск радиопередатчиков с помощью подвижных станций мониторинга. "Вестник КазАТК", № 1, 2013. (Перевод на английский язык см. по адресу: [http://csse.faculty.iitu.kz/?page\\_id=261](http://csse.faculty.iitu.kz/?page_id=261).)*
-