Программный комплекс частотно-территориального планирования сетей УКВ радиосвязи с использованием ретрансляторов на БПЛА

The software package of the regional frequency plan of VHF networks with the use of repeaters on UAVs

Ключевые слова: сеть ретрансляции – repeater network; зоны радиопокрытия – covered area; частотно-территориальное планирование – regional frequency plan.

Рассматриваются структура и основные принципы работы программного комплекса частотно-территориального планирования сетей УКВ-радиосвязи, позволяющего производить расчет минимального количества ретрансляторов и моделирование развертывания радиосети ретрансляции с временным и частотным разделением радиоканалов на минибеспилотных летательных аппаратах самолетного типа.

The paper dwells the structure and the basic principles of the software package of the regional frequency plan of VHF networks that allows to calculate the minimum number of repeaters and simulate the broadcast WN deployment with simulation time and frequency division radio channeling on mini UAVs of the aircraft type.

БАЛЫКОВ / BALYKOV A.
Антон Александрович
(balykov@itain.spb.ru)
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
инженер.
г. Санкт-Петербург

ОВЧИННИКОВ / OVCHINNIKOV G.
Георгий Ревмирович
(ovchinnikov@itain.spb.ru)
кандидат технических наук, доцент.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
заместитель начальника научно-исследовательского отдела.
г. Санкт-Петербург

ПЕРЕПЕЧАЕВ / PEREPECHAEV A.
Алексей Николаевич
(perepechaev@itain.spb.ru)
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
инженер-программист.
г. Санкт-Петербург

Для оперативной организации радиосвязи между подвижными наземными и морскими радиостанциями в диапазоне метровых и дециметровых волн на расстояния 100 км и более, а также в условиях отсутствия радиосвязи на более коротких расстояниях (пересеченная местность, сильные радиопомехи и т.п.) могут быть использованы комплексы ретрансляции радиосигналов, установленные на минибеспилотных летательных аппаратах самолетного типа (МБПЛА), оснащенных электрическими двигателями, со взлетной массой до 10 кг.

Преимуществом такого подхода является оперативность развертывания и более низкая стоимость эксплуатации комплекса ретрансляции на МБПЛА по сравнению с использованием в качестве ретрансляторов тяжелых БПЛА (массой более 100 кг с двигателями внутреннего сгорания) и пилотируемых самолетов и вертолетов.

При этом возможно развертывание радиосети ретрансляции на МБПЛА, обеспечивающей одновременные сеансы обмена информацией между подвижными наземными и морскими радиостанциями, находящимися в зоне проведения операции размером 200x200 км.

Сеть ретрансляции представляет собой совокупность узлов ретрансляции, размещаемых на МБПЛА, оконечных узлов, размещаемых на подвижных наземных и морских средствах, наземных станций управления МБПЛА и ретрансляторами (НСУ).

Сеть ретрансляции использует протокол множественного доступа к радиоканалу с разделением по времени (TDMA) и частоте (FDMA).

Для идентификации узлов сети на уровне радиоканала используются MAC-адреса.

Сеть ретрансляции может состоять из нескольких сегментов, связанных между собой общими оконечными узлами. При этом каждый ретранслятор может принадлежать только одному сегменту.

В данной статье рассматривается решение задачи частотно-территориального планирования сети ретрансляции на МБПЛА, заключающейся в определении необходимого минимального количества ретрансляторов, их расположении на местности и назначении частот узлам сети в пределах номиналов частот, выделенных для сети ретрансляции на заданный период планирования.

Для решения указанной задачи разработан программный комплекс частотно-территориального планирования, используемый на этапе предполетной подготовки МБПЛА.

Комплекс предназначен для долговременного и оперативного частотно-территориального планирования систем радиосвязи с использованием ретрансляторов, установленных на беспилотных летательных аппаратах, и расчета зон покрытия в диапазоне частот от 125 до 600 МГц.

Имеется возможность расширения области применения комплекса для ретрансляторов с высотой подъема до 20 000 метров и увеличение используемого частотного диапазона до 15,5 ГГц.

Специальное программное обеспечение комплекса поддерживает выполнение следующих основных функциональных задач:

– анализ предложенного частотного диапазона с целью выбора частот, обеспечивающих максимальную дальность радиосвязи (с учетом характеристик используемых антенн);

– расчет гарантированной дальности радиосвязи на каждом интервале ретрансляции (за основу расчетов взята рекомендация МСЭ-R P.528–3 [1]);

– расчет наименьшего количества ретрансляторов, необходимого для организации радиосети, выбор топологии, а также определение их оптимального местоположения и высоты;

– назначение частот передачи для каждой станции;

– расчет необходимой мощности передачи для каждой станции;

– отображение профиля рельефа для любого интервала радиосвязи;

– отображение результатов расчета на цифровой карте местности формата SXF, имитация движения ретрансляторов в пространстве;

– формирование исходных данных для загрузки в ретранслятор и автопилот МБПЛА.

Преимущества комплекса:

– *Оперативность*. Комплекс позволяет произвести сложные математические расчеты с минимальным вмешательством оператора за считанные секунды.

– *Простота*. Графический интерфейс построен таким образом, что порядок действий легко может изучить человек, имеющий малый опыт в области радиосвязи.

– *Визуализация*. Результатом сложных расчетов является отображение местоположения ретрансляторов и их зон радиопокрытия на цифровой карте местности с имитацией движения ретрансляторов.

– *Гибкость*. Имеется возможность редактирования сигнально-кодовых конструкций и характеристик используемых антенн.

Область применения:

– количество ретрансляторов в одном сегменте сети до 4 и количество оконечных узлов до 27 (включая НСУ);

– высота барражирования МБПЛА от 1000 до 3000 метров над уровнем моря;

– частотный диапазон от 125 до 600 МГц;

– расчетная дальность между смежными узлами – до 200 км.

Функционирование комплекса обеспечивается на базе операционных систем Windows XP SP 3, Windows 7, Linux.

Комплекс для автоматизированного решения задач частотно-территориального планирования состоит из трех основных частей:

1) базы данных (электронные карты местности, характеристики используемых антенн и приемников и передатчиковретрансляторов);

2) графический интерфейс для работы с электронной картой, базой данных и отображения результатов расчета;

3) подключаемые расчетные задачи.

РАБОТА С КОМПЛЕКСОМ

Для работы с необходимо выполнить следующие действия:

1. Загрузить карту местности
2. Настроить параметры системы связи
3. Создать список сигнально-кодовых конструкций
4. Разместить на карте и настроить свойства наземных узлов связи
5. Указать значения радиуса барражирования, высоты барражирования и необходимую величину системного запаса.

СПИСОК РАЗРЕШЕННЫХ ЧАСТОТ

Для расчета характеристик ретрансляции необходимо указать список разрешенных частот. Только указанные пользователем частоты будут использоваться в расчетах.

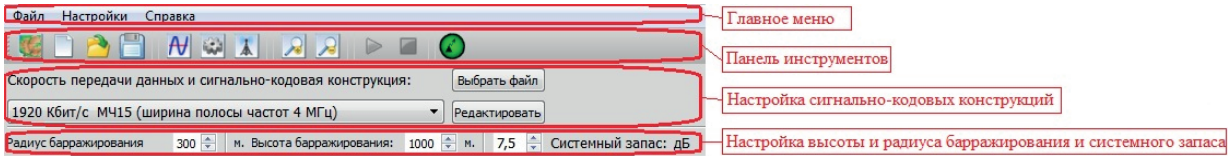
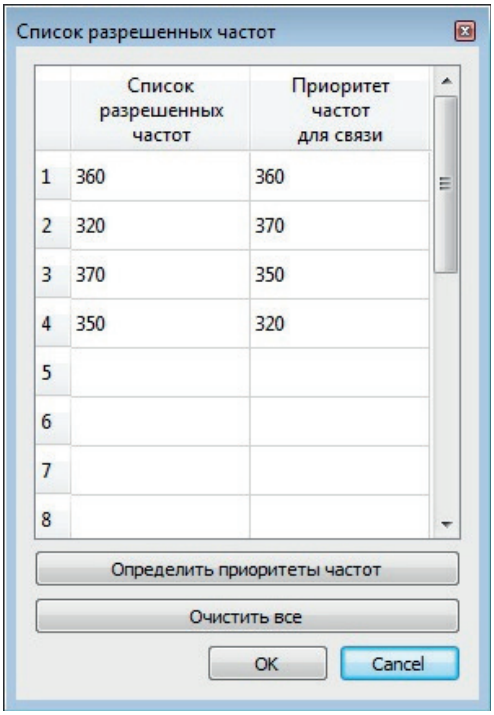


Рис.1. Панель управления главного окна



	Список разрешенных частот	Приоритет частот для связи
1	360	360
2	320	370
3	370	350
4	350	320
5		
6		
7		
8		

Рис. 2. Таблица списка разрешенных частот

Таблица состоит из двух колонок:

1. Список разрешенных частот.

В данную колонку вводятся с клавиатуры значения разрешенных частот в единицах измерения мегагерц (МГц).

2. Приоритет частот для связи. Приоритет (определяет последовательность использования частот) назначается в соответствии с максимально возможной дальностью радиосвязи на данной частоте при одинаковых прочих условиях.

Данная колонка содержит номиналы частот из колонки "список разрешенных частот" в порядке убывания приоритета.

То есть, чем выше расположена частота в списке частот, тем больше дальность радиосвязи (площадь покрытия) ретранслятора на данной частоте.

Данная колонка носит информационный характер. Значения частот в данной колонке не могут быть изменены пользователем.

ВЫБОР ВИДА СИГНАЛЬНО-КОДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Выбор сигнально-кодовых конструкций (СКК) осуществляется в специальном редакторе (рис.4).

Окно редактора содержит:

1. Таблицу со списком существующих СКК.
2. Поля для редактирования значения параметров:

• Описание СКК – представляет собой текстовое описание СКК, несущее информационный характер и никак не влияющее на расчеты.

• Скорость передачи данных – числовое значение, единицы измерения килобит в секунду (Кбит/с).

• Требуемое соотношение сигнал-шум – числовое значение, единицы измерения децибел (дБ).

• Шумовая полоса частот – числовое значение, единицы измерения герц (Гц).

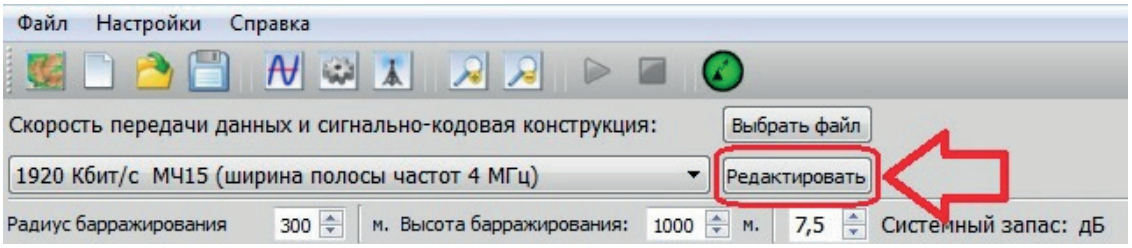


Рис.3. Выбор вида СКК

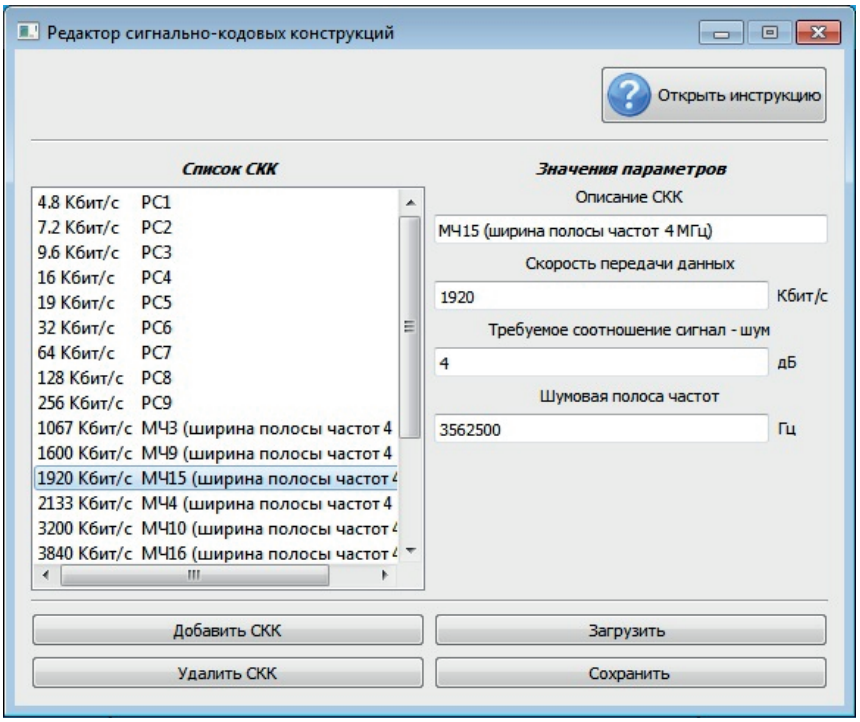


Рис. 4. Окно редактора СКК
(обозначения: РС – расширение спектра, МЧ – многочастотная)

РАЗМЕЩЕНИЕ НА КАРТЕ МЕСТНОСТИ НАЗЕМНЫХ УЗЛОВ СЕТИ РЕТРАНСЛЯЦИИ

Наземные узлы сети ретранляции отображаются на карте местности в виде специального значка с порядковым номером. В специальных полях отображаются расстояния между узлами в метрах (рис. 5).

НАСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ НАЗЕМНОГО УЗЛА СЕТИ РЕТРАНСЛЯЦИИ

Наземный узел обладает следующими параметрами:

- Порядковый номер.
- Географические координаты: широта и долгота в формате, указанном в настройках приложения.
- Высота рельефа поверхности Земли в точке с указанными координатами, единицы измерения "метр" (м).
- Высота подвеса антенны, единицы измерения "метр" (м).
- Тип узла. Всего три типа: Оконечный узел, НСУ главная, НСУ подчиненная.
- MAC адрес узла в радиосети.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ

Когда все настройки выполнены, карта местности загружена, и на ней установлены наземные узлы связи, можно начинать решение задачи планирования, которое производится автоматически на основе исходных данных, введенных ранее.

В случае успешного расчета программа рассчитает необходимое количество ретрансляторов, назначит каждому ретранслятору рабочие частоты, рассчитает области покрытия для каждого ретран-

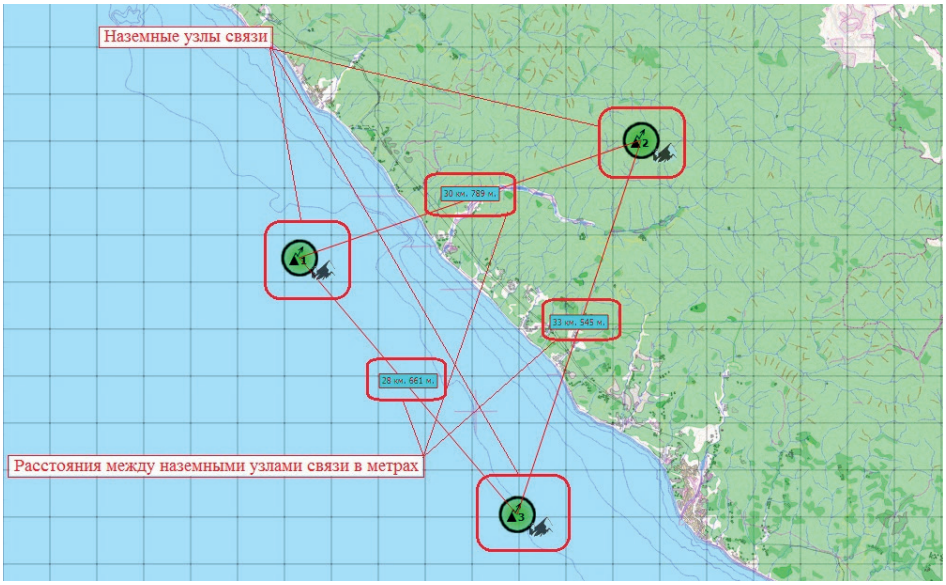


Рис. 5. Отображение наземных узлов на цифровой карте местности

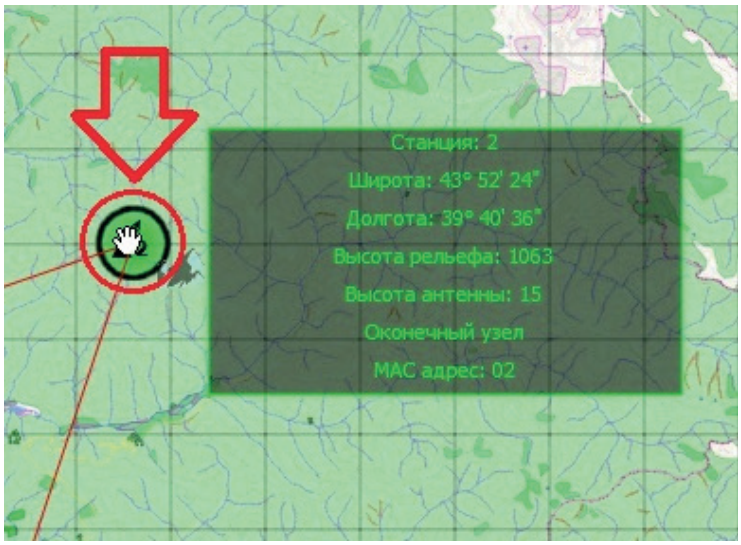


Рис.6. Раскрытие информации о наземном узле сети ретрансляции

слятора, закрепит за каждым ретранслятором MAC адрес из списка свободных адресов, распределит наземные узлы связи между ретрансляторами, рассчитает географические координаты точек барражирования для каждого МБПЛА и отобразит результаты расчета в графическом виде, текстовом виде, а также в виде таблицы распределения MAC адресов и таблицы связности между узлами радиосети.

ТАБЛИЦЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ MAC АДРЕСОВ И СВЯЗНОСТИ МЕЖДУ УЗЛАМИ РАДИОСЕТИ

В результате расчета формируются таблицы распределения MAC адресов, и таблицы связности между узлами радиосети (рис. 9, 10).

Данная таблица содержит четыре колонки и количество строк, равное количеству узлов связи, участвующих в радиосети, включая ретрансляторы.

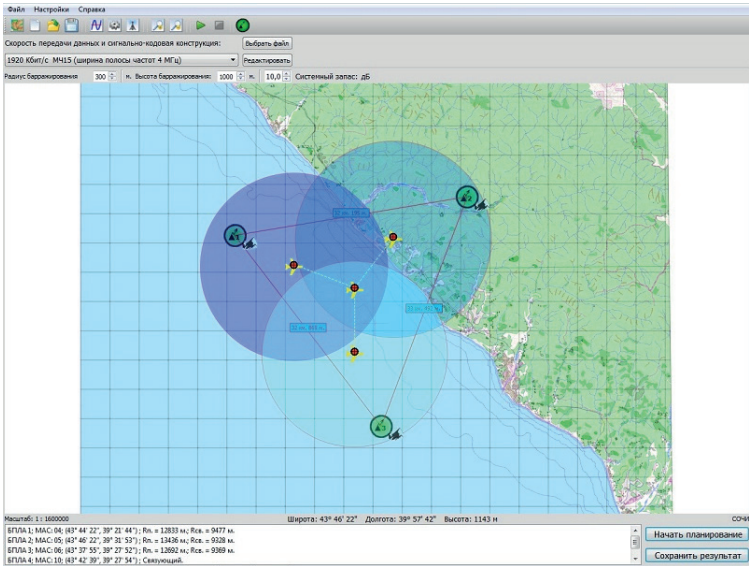


Рис.7. Результат расчета в графическом виде.

БПЛА 1; МАС: 04; (43° 44' 22", 39° 21' 44") ; Rп. = 12833 м.; Rсв. = 9477 м.
БПЛА 2; МАС: 05; (43° 46' 18", 39° 31' 56") ; Rп. = 13436 м.; Rсв. = 9328 м.
БПЛА 3; МАС: 06; (43° 37' 54", 39° 27' 53") ; Rп. = 12692 м.; Rсв. = 9369 м.
БПЛА 4; МАС: 11; (43° 42' 37", 39° 27' 53") ; Связующий.

Рис.8. Результат расчета в текстовом виде

Каждая строка содержит информацию об одном отдельном узле связи.

В первой колонке "**МАС-адрес узла**" содержится информация о МАС-адресах, закрепленных за соответствующими узлами связи.

Во второй колонке "**МАС-адрес закрепленной НСУ**" содержится информация о МАС адресах НСУ, закрепленных за каждым ретранслятором.

Только ретрансляторы могут иметь МАС адрес закрепленной НСУ.

Каждому ретранслятору закрепляется адрес ближайшей к нему НСУ.

В третьей колонке "**Тип узла**" содержится информация о типах узлов, соответствующих каждому узлу связи.

Узлы связи могут быть четырех типов:

– **Ретранслятор** (располагается на МБПЛА);

– **НСУ главная** (наземная станция управления МБПЛА, имеющая доступ к информации о состоянии и местоположении всех используемых МБПЛА с подчиненных НСУ; обеспечивает управление сетью ретрансляции по каналу управления);

– **НСУ подчиненная** (наземная станция, обеспечивающая управление закрепленными за ней БПЛА);

– **Оконечный узел** (наземные и/или морские радиостанции с подключенными к ним абонентами, в интересах которых развертывается сеть ретрансляции).

В четвертой колонке содержит информацию о:

– **Географических координатах**: точки барражирования для ретранслятора и точки базирования для наземного узла связи.

– **Высоте**: высоте барражирования для летательного аппарата с установленным ретранслятором, высоте рельефа в точке базирования наземного узла связи.

– **Радиусе барражирования** (только для летательного аппарата с установленным ретранслятором)

Таблица МАС-адресов сети

	МАС-адрес узла	МАС-адрес закрепленной НСУ	Тип узла	Местоположение
1	04	01	Ретранслятор	Широта: 43° 44' 22" Долгота: 39° 21' 44" Высота: 1000м. Радиус барражирования: 300м.
2	05	02	Ретранслятор	Широта: 43° 46' 18" Долгота: 39° 31' 56" Высота: 1000м. Радиус барражирования: 300м.
3	06	01	Ретранслятор	Широта: 43° 37' 54" Долгота: 39° 27' 53" Высота: 1000м. Радиус барражирования: 300м.
4	11	01	Ретранслятор	Широта: 43° 42' 37" Долгота: 39° 27' 53" Высота: 1000м. Радиус барражирования: 300м.
5	01	---	НСУ подчиненная	Широта: 43° 46' 32" Долгота: 39° 15' 43" Высота: 0м.
6	02	---	НСУ главная	Широта: 43° 49' 17" Долгота: 39° 39' 26" Высота: 629м.
7	03	---	Оконечный узел	Широта: 43° 32' 25" Долгота: 39° 30' 31" Высота: 0м.

Рис. 9. Таблица распределения МАС адресов

Таблица связности

Вид сигнально-кодовой конструкции:

1920 Кбит/с МЧ15 (ширина полосы частот 4 МГц)

Соотношение сигнал - шум: 4 дБ

Шумовая полоса частот: 3562500 Гц

	04	05	07	11
04				F = 360 МГц P = 1.00 Вт L = 8864 м
05				F = 350 МГц P = 1.00 Вт L = 8716 м
07				F = 370 МГц P = 1.00 Вт L = 8751 м
11	F = 360 МГц P = 1.00 Вт L = 8864 м	F = 350 МГц P = 1.00 Вт L = 8716 м	F = 370 МГц P = 1.00 Вт L = 8751 м	
01	F = 360 МГц P = 0.52 Вт L = 9014 м			
02		F = 350 МГц P = 0.74 Вт L = 11474 м		
03			F = 370 МГц P = 0.76 Вт L = 10764 м	

Обозначения:

F - частота на которой осуществляется связь между узлами (МГц)

P - Максимальное значение средней мощности передатчика ретранслятора (Вт)

L - Дистанция между узлами (м)

Рис.10. Таблица связности

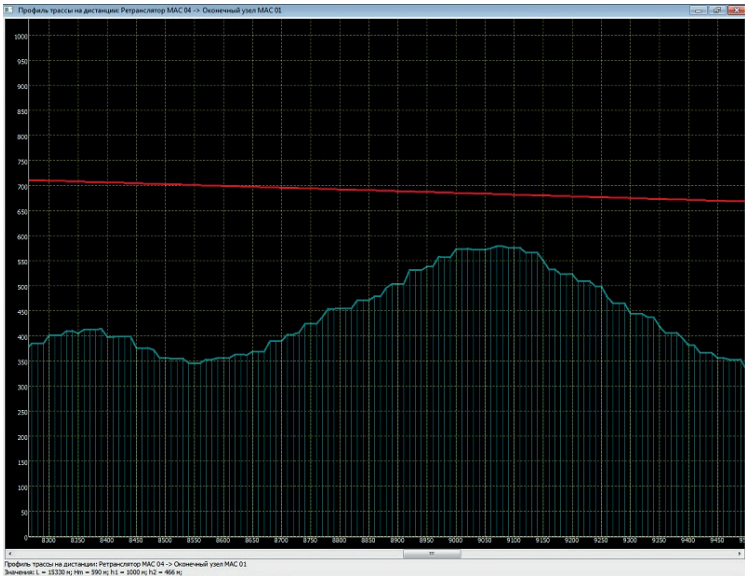


Рис. 11. Профиль рельефа местности

Данная таблица содержит информацию о наличии связи между узлами в радиосети.

При этом количество колонок в таблице соответствует количеству ретрансляторов, по одной колонке на каждый ретранслятор, а количество строк соответствует количеству всех узлов связи, участвующих в радиосети, включая ретрансляторы. Заголовком для каждой строки и каждой колонки является MAC адрес узла.

При наличии связи между узлами (в одном направлении) ячейка на пересечении строки и колонки соответствующих узлов закрашивается в синий цвет.

Также в ячейке отображается информация о:

– частоте используемой для связи между узлами, F (МГц);

– максимальном значении средней мощности передатчика ретранслятора, P (Вт);

– расстоянии между узлами (для ретрансляторов – между центрами областей барражирования), L (м).

ПРОФИЛЬ РЕЛЬЕФА МЕСТНОСТИ

После окончания расчетов и размещения всех ретрансляторов в соответствующих точках карты местности программа автоматически определяет области прямой видимости для каждого наземного узла связи относительно своих ретрансляторов.

Изображение профиля рельефа местности представляет собой график, где:

– ось X (горизонтальная) обозначает расстояние удаления от ретранслятора в метрах;

– ось Y (вертикальная) обозначает высоту рельефа в метрах.

Литература

1.Рекомендация МСЭ-R P.528–3. Кривые распространения для воздушных подвижных и радионавигационных служб, использующих частотные диапазоны ОВЧ, УВЧ и СВЧ. Док. 3/74 (Rev.1.).