

Оптимизация местоположения радиотелевизионных передающих станций

В.Н. Бактеев, Л.А. Штанюк, В.И. Носов

При частотно-территориальном планировании сетей телевизионного и звукового наземного вещания, при строительстве новых или реконструкции действующих передающих станций возникает задача определения их оптимальных местоположений и технических характеристик. Для определения оптимального местоположения станций необходимо производить расчёт напряжённостей полей сигналов и помех с учётом профилей интервалов, построенных в направлении от местоположения станции до границы зоны вещания. В данной статье рассматривается решение задачи оптимизации местоположения РТПС посредством расчёта зон обслуживания и зон тени вещательных передатчиков с использованием автоматизированной системы расчётов и географической информационной системы.

Ключевые слова: радиотелевизионная передающая станция; зона обслуживания; зона тени; профиль интервала; географическая информационная система; частотно-территориальное планирование; сеть наземного телерадиовещания; автоматизированная система.

1. Введение

Основной проблемой при проектировании сети наземного телевизионного (ТВ) и звукового (ЗВ) вещания является определение действительной зоны обслуживания РТПС [1, 2, 3, 4, 5]. Только определив зоны обслуживания и зоны тени, можно оптимально разместить передающие станции, что сократит расходы не только на строительство новых станций, но и на их обслуживание.

Для вычисления зоны обслуживания и зоны тени необходимы следующие данные:

- высота подвеса передающей антенны над уровнем земли h_1 ;
- мощность передатчика $P_{\text{пд}}$;
- усиление передающей антенны G_1 ;
- КПД фидера передающего устройства η_1 ;
- несущая частота передатчика f_1 ;
- минимальная напряжённость поля принимаемого сигнала $E_{\text{мин}}$;
- кривые МСЭ-Р для определения напряжённости поля;
- географические координаты места установки антенной опоры;
- географическая информационная система (ГИС) региона.

Все расчёты производятся по профилям интервалов. Профиль интервала отображает вертикальный разрез местности между передающей и приёмной антеннами по какому-либо направлению. При построении профиля интервала приёмная антенна высотой $h_2 = 10$ м [5] располагается на расстоянии прямой видимости от передающей антенны РТПС. Количество направлений (через равное количество градусов) определяет точность определения параметров РТПС.

2. Общие соотношения

Для решения поставленной задачи – оптимизации местоположения РТПС – необходимо определить радиусы зоны вещания РТПС в каждом из направлений.

Для определения радиуса зоны вещания с учётом приведённых во введении данных, необходимо рассчитать напряжённость поля сигнала, для которого на границе зоны вещания должно выполняться условие

$$E_c = E_{\text{мин}}, \quad (1)$$

где $E_{\text{мин}}$ – минимальная напряжённость поля сигнала в точке расположения антенны приёмника, при которой обеспечивается удовлетворительное качество изображения, при отсутствии помех от других станций, дБмкВ/м;

E_c – напряжённости поля сигнала в рассматриваемой точке, дБмкВ/м.

Напряжённость поля сигнала $E_c(R, h_1, f)$ в точке на расстоянии R от передатчика определяется выражением

$$E_c(R, h_1, f) = E(50, 50, R, h_{1\text{эф}}, f) + P_{\text{изл}}, \quad (2)$$

где $E(50, 50, R, h_1, f)$ – медианное значение напряжённости поля, определяемой по кривым, полученным экспериментальным путём и рекомендованным МСЭ-Р для: излучаемой мощности $P_{\text{изл}} = 1$ кВт относительно полуволнового вибратора; высоты приёмной антенны $h_2 = 10$ м; определённой эффективной высоте передающей антенны $h_{1\text{эф}}$; заданной частоты f (рис. 1) [3];

T – процент времени наблюдений, равный 50 % для поля полезного передатчика;

L – процент мест приёма, равный 50 % для поля полезного передатчика;

$P_{\text{изл}} = P_{\text{пд}} + G_{\text{пд}} + \eta_{\text{пд}}$ – излучаемая мощность передающей станции, дБкВт;

$P_{\text{пд}}$ – мощность передатчика, дБкВт;

$G_{\text{пд}}$ – коэффициент усиления передающей антенны, дБд;

$\eta_{\text{пд}}$ – потери в фидере, дБ;

$h_{1\text{эф}}$ – эффективная высота подвеса передающей антенны.

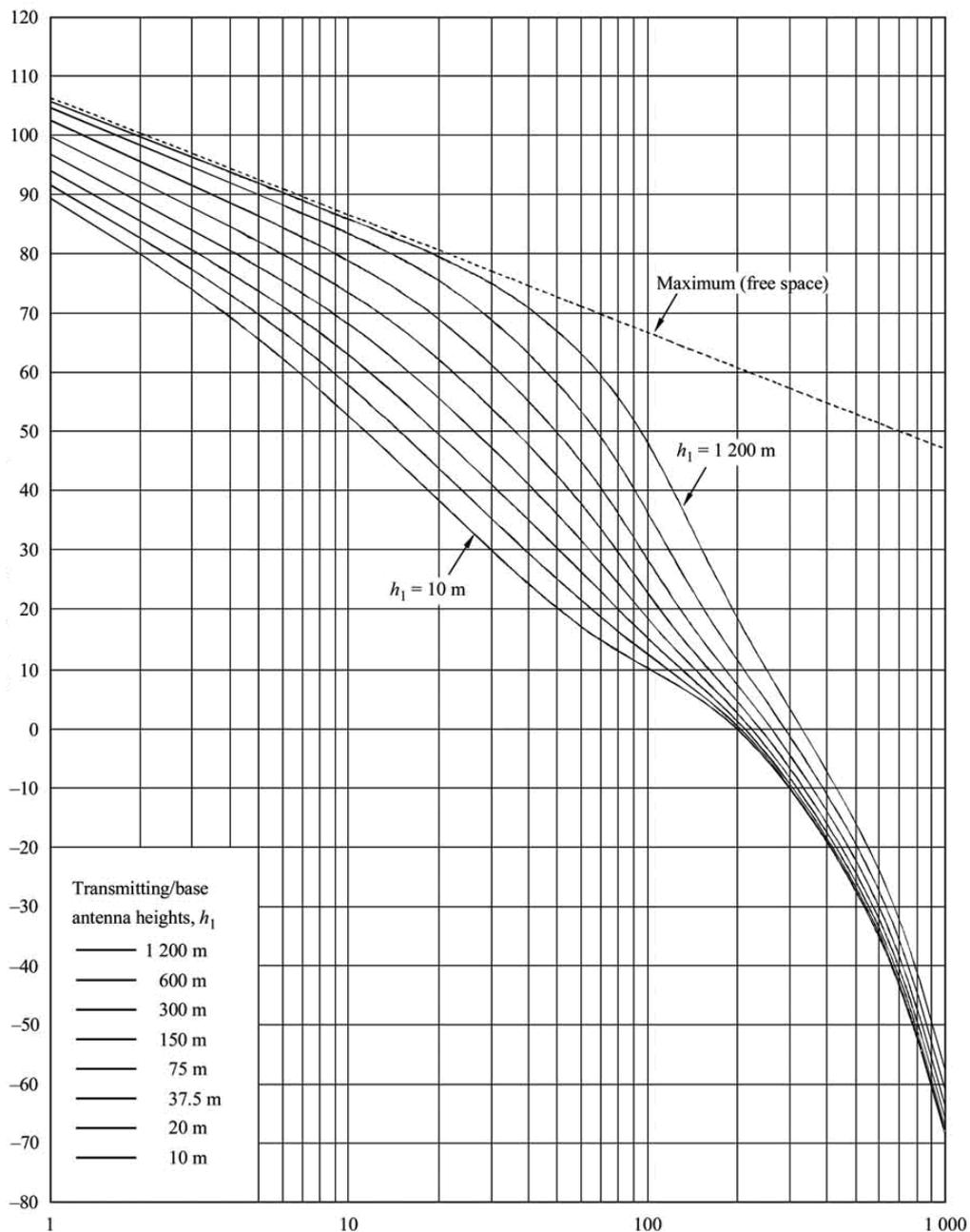


Рис. 1. Зависимость медианного значения напряжённости поля от расстояния.
 Суша, равнинно-холмистая местность (100 МГц, 50% мест, 50% времени, $P_{\Sigma} = 1$ кВт)

Эффективная высота подвеса передающей антенны $h_{1эф}$ определяется из выражения

$$h_{1эф} = h_1 + (h_{e0} - h_{еср}), \tag{3}$$

где $h_{еср}$ – среднее значение высотных отметок местности на профиле интервала на расстоянии от 3 до 15 км от передающей антенны в сторону точки приёма; h_{e0} – высотная отметка местности в точке расположения передающей антенны.

Среднее значение высотных отметок местности $z_{ср}$ определяется из выражения

$$h_{еср} = \frac{\sum_{i=3}^{15} h_{ei}}{i_{макс} - (i_{мин} - 1)}. \tag{4}$$

Известно [1], что радиоволны I ÷ V диапазонов (диапазон частот от 47 до 960 МГц) распространяются в зоне прямой видимости $R_{пр}$. Поэтому считается, что радиус зоны вещания ограничивается приблизительно предельным расстоянием прямой видимости. Это объясняется тем, что за радиогоризонтом довольно резко понижается качество приёма вследствие заметного замирания сигнала, связанного с наличием отражённых сигналов от тропосферы.

Поэтому радиус зоны вещания R_3 передающей вещательной станции прием равным расстоянию прямой видимости $R_3 = R_{пр}$. Расстояние прямой видимости с учётом рефракции радиоволн рассчитывается по формуле

$$R_{пр} \approx 4.12 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}), \text{ км}, \quad (5)$$

где h_1 и h_2 – подставляются в метрах.

Передающая станция должна иметь такую необходимую излучаемую мощность $P_{изл\ необх}$, которая обеспечивает минимальную напряжённость поля на расстоянии прямой видимости при $R_3 = R_{пр}$

$$E_c(h_1, R_3, f) = E_{мин} = E_c(50, 50, h_1, R_3, f) + P_{изл\ необх} \quad (6)$$

Из (6) можно определить необходимую излучаемую мощность передающей станции, при которой обеспечивается минимальная напряжённость поля на границе зоны вещания

$$P_{изл\ необх} = E_{мин} - E_c(50, 50, h_1, R_3, f). \quad (7)$$

В табл. 1 приведены рассчитанные по формулам (1) ÷ (7) радиусы зоны вещания R_3 и необходимые излучаемые мощности передатчика $P_{изл\ необх}$ цифрового ТВ вещания.

Таблица 1. Радиус зоны и необходимая излучаемая мощность передатчика

Частота, МГц	$E_{мин}$, дБмкВ/м	$P_{изл\ необх}$, дБкВт	h_1 , м	$R_3 = R_{пр}$, км
770	57	26	75	48.7
		28	150	63.5
		31	300	84.4

Если внутри зоны вещания выполняются следующие условия

$$\begin{cases} R \leq R_3 \\ E_c(50, R) \geq E_{мин}' \end{cases} \quad (8)$$

то такие области относятся к зоне обслуживания.

Если же внутри зоны вещания выполняются следующие условия

$$\begin{cases} R \leq R_3 \\ E_c(50, R) < E_{мин}' \end{cases} \quad (9)$$

то такие области относятся к зонам тени.

Поскольку кривые МСЭ-Р получены на основе усреднения результатов многочисленных измерений, то ими нельзя пользоваться для определения зон обслуживания и тени. Из проведённых рассуждений следует, что для определения зоны обслуживания и тени необходимо использовать профили интервалов, построенных в разных направлениях от места расположения РТПС. При этом расчёт напряжённости поля производится путём расчёта множителя

ослабления поля свободного пространства по методике, принятой в радиорелейных линиях связи [6, 7].

3. Расчёт множителя ослабления с использованием профилей интервалов

Медианный множитель ослабления поля свободного пространства $V(50)$ показывает, насколько уменьшается напряжённость поля сигнала для 50 % времени с учётом реальных условий распространения радиоволн $E_c(50)$ по сравнению с их распространением в свободном пространстве E_0

$$V(50, R) = \frac{E_c(50, R)}{E_0(R)}. \quad (10)$$

В соответствии с (10) напряжённость поля сигнала в месте приёма $E_c(50, R)$ определяется из выражения

$$E_c(50, R) = E_0(R) + V(50, R), \text{ дБмкВ/м.} \quad (11)$$

Напряжённость поля сигнала в свободном пространстве $E_0(R)$ в (11) рассчитывается по формуле

$$E_0(R) = \frac{\sqrt{30 \cdot P_{\text{изл}}}}{R}. \quad (12)$$

Таким образом, для определения медианной напряжённости поля сигнала в соответствии с формулой (11) необходимо определить медианное значение множителя ослабления $V(50, R)$ с использованием профилей интервалов.

На рис. 2 приведён профиль интервала для одного из направлений от РТПС.

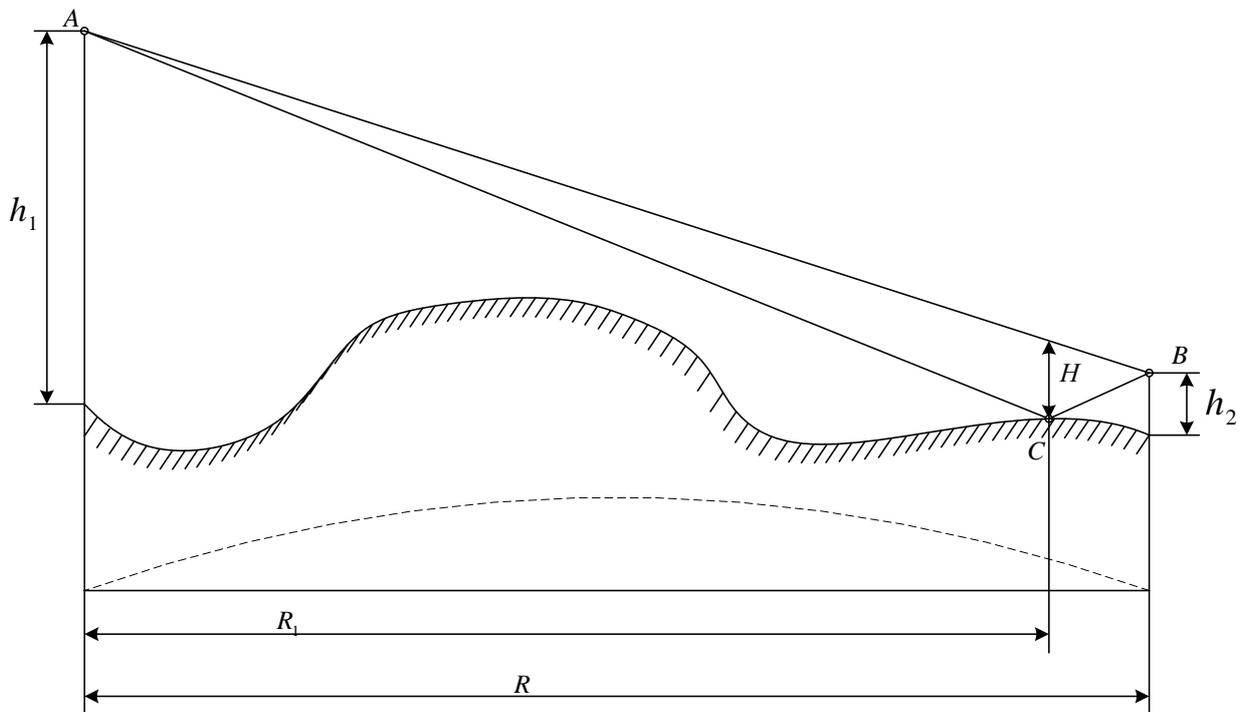


Рис. 2. Профиль интервала

Расстояние от точки отражения до линии, соединяющей передающую и приёмную антенны, называется просветом H . Для классификации интервалов вводится минимальная величина просвета H_0 , при котором множитель ослабления $V = 1$

$$H_0 = \sqrt{\frac{R\lambda k(1-k)}{3}}, \text{ м,} \quad (13)$$

где R – протяжённость интервала, м; λ – длина волны, м; $k = R_1/R$ – относительная координата точки отражения.

В зависимости от соотношения величин просветов H и H_0 интервалы подразделяются на: открытые $H \geq H_0$; полуоткрытые $0 < H < H_0$; и закрытые $H \leq 0$.

Открытые интервалы. На открытых интервалах (рис. 2) имеется прямая видимость между антеннами, и в точку приёма приходят прямой АВ и отражённый АСВ лучи. В приёмной антенне происходит интерференция этих волн, и множитель ослабления рассчитывается по формуле [2, 6, 7]

$$V(50, R) = 10 \lg \left[1 + |\Phi|^2 - 2|\Phi| \cos \left(\frac{2\pi \Delta r}{\lambda} \right) \right], \quad (14)$$

где: $|\Phi|$ – модуль коэффициента отражения волны от земной поверхности; $\Delta r = r_{\text{отр}} - r_{\text{пр}}$ – разность хода отражённой и прямой волн (на рисунке $2 \Delta r = \text{АСВ} - \text{АВ}$).

При распространении радиоволн над ровной земной поверхностью

$$\Delta r = \frac{2h_1 h_2}{R}. \quad (15)$$

Поскольку интерференционная формула (12) применима при $\Delta r \geq \lambda/6$, то интерференционная картина поля (наличие интерференционных минимумов и максимумов) будет наблюдаться до расстояния $R_{\text{инт}}$ между антеннами

$$R_{\text{инт}} = \frac{12h_1 h_2}{\lambda}. \quad (16)$$

Так, например, при $h_1 = 200$ м, $h_2 = 10$ м, $\lambda = 1$ м, $R_{\text{инт}} = 24$ км.

В соответствии с (12) и (13) при $\Delta r = \lambda/2, 3\lambda/2, 5\lambda/2, \dots$ множитель ослабления равен максимальному значению

$$V(50, R)_{\text{макс}} = 1 + |\Phi|. \quad (17)$$

При $\Delta r = \lambda, 2\lambda, 3\lambda, \dots$ множитель ослабления равен минимальному значению

$$V(50, r)_{\text{мин}} = 1 - |\Phi|. \quad (18)$$

При расстояниях между антеннами $R > R_{\text{инт}}$ интерференционная картина поля будет отсутствовать, и напряжённость поля будет монотонно уменьшаться с расстоянием.

Полузакрытые и закрытые интервалы. Такие два вида интервалов рассматриваются вместе, так как для них справедлива одинаковая зависимость множителя ослабления от величины просвета. На таких интервалах (рис. 3) отсутствует прямая видимость между антеннами, и прямой луч экранируется препятствием. Для упрощения расчёта множителя ослабления экранирующее препятствие на интервале представляют в виде сферы или клина.

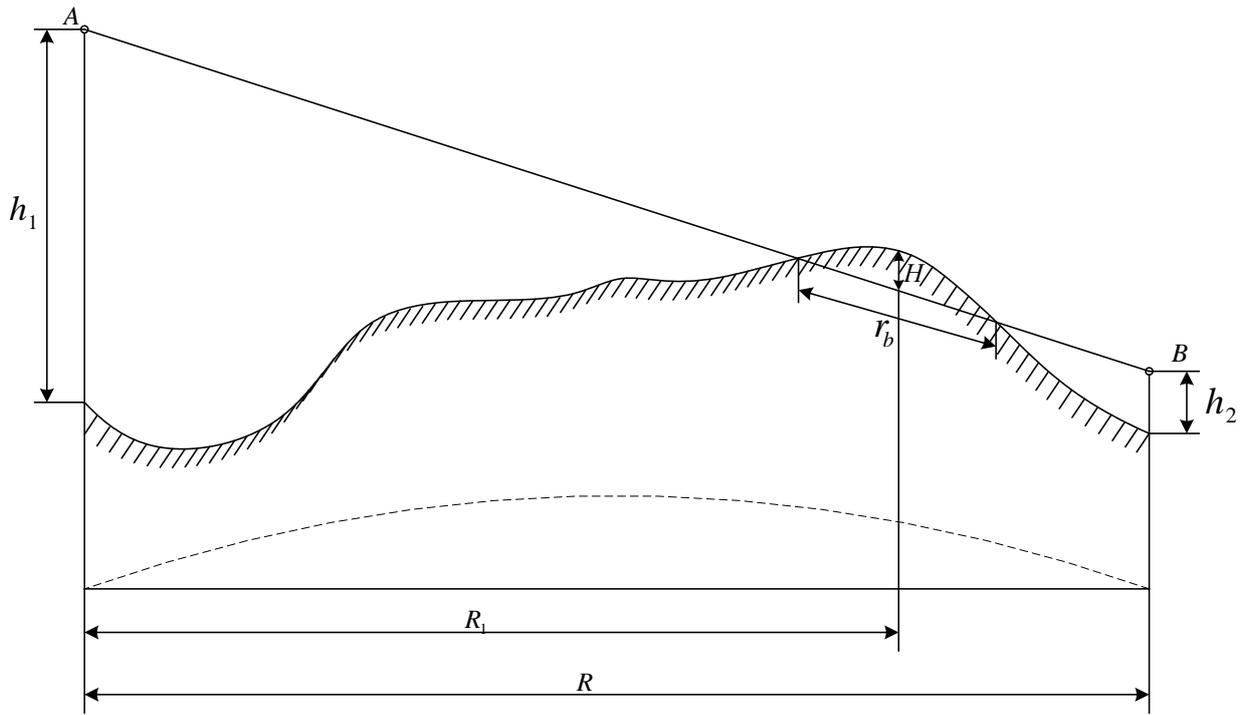


Рис. 3. Закрытый интервал

Препятствия в виде сферы или клина характеризуются высотой H и шириной r_b (рис. 3), по которым рассчитывается параметр μ

$$\mu = 2 \cdot \sqrt[3]{\frac{k^2(1-k)^2}{\left(\frac{r_b}{R}\right)^2}} \quad (19)$$

Величина множителя ослабления на рассматриваемых интервалах при $H = 0$, когда линия, соединяющая антенны, касается экранирующего препятствия, равна [2]

$$\begin{cases} V_0 = 6 \left[1 + \left(\frac{1,45}{\mu^{1,38}} \right) \right], & \text{при } \mu \geq 0,5, \\ V_0 = 100 \cdot \mu - 78, & \text{при } \mu < 0,5, \end{cases} \text{ дБ.} \quad (20)$$

По найденным значениям V_0 , дБ из формулы (20), H_0 , м, из формулы (14) и определённой из рис. 3 величине просвета H , м, на интервале, можно определить медианное значение множителя ослабления $V(50)$

$$V(50, R) = V_0 \left[1 - \left(\frac{H}{H_0} \right) \right], \text{ дБ.} \quad (21)$$

Оптимизация местоположения РТПС

Полученные в разделе 2 соотношения позволяют определить на каждом из интервалов (лучей) элементарные участки протяжённостью $\Delta R_{\text{э}}$, которые относятся либо к зоне обслуживания $\Delta R_{\text{э, обл}}$ при выполнении условия (8), либо к зоне тени $\Delta R_{\text{э, тени}}$ при выполнении условия (9) (рис. 4).

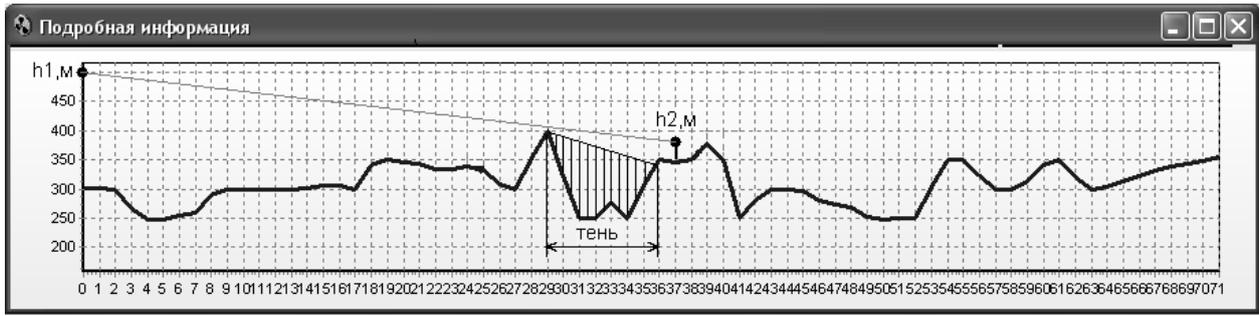


Рис. 4. Определение зон обслуживания и тени на профиле интервала

Протяжённость элементарного участка $\Delta R_{\text{э}}$ определяет точность, с которой осуществляется расчёт зон обслуживания и тени.

В соответствии с формулами второго раздела условия, при которых элементарный участок на профиле i -го интервала (луча) можно отнести к зоне обслуживания, определяются функцией

$$\Delta R_{\text{э обсл } i} = \varphi [R \leq R_i; E_c(50, R) = E_0(R) \geq E_{\text{мин}}; V(50, R) = 1; H \geq H_0]. \quad (22)$$

В соответствии с теми же формулами второго раздела условия, при которых элементарный участок на профиле i -го интервала (луча) можно отнести к зоне тени, определяются функцией

$$\Delta R_{\text{э тени } i} = \psi \left[R \leq R_i; E_c(50, R) = E_0(R) + V(50, R) < E_{\text{мин}}; H < H_0; \right. \\ \left. V(50, R) = V_0 + (1 + H/H_0) \right]. \quad (23)$$

Обозначим расстояние между соседними лучами через $\Delta R_{\text{мл}}$. Необходимо учесть, что это расстояние увеличивается по мере увеличения расстояния от передающей станции. Тогда, с учётом формул (22) и (23), можно определить площадь зон обслуживания и тени по каждому из i лучей

$$S_{\text{обсл } i} = \sum_{j=1}^M \Delta R_{\text{э обсл } j} \cdot \Delta R_{\text{мл}}, \quad (24)$$

$$S_{\text{тени } i} = \sum_{k=1}^K \Delta R_{\text{э тени } k} \cdot \Delta R_{\text{мл}}, \quad (25)$$

где M – количество элементарных обслуживаемых участков; K – количество элементарных необслуживаемых (теневых) участков.

Общую зону обслуживания и тени РТПС можно найти путём суммирования зон обслуживания и тени по всем i лучам

$$S_{\text{обсл РТПС}} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\Delta R_{\text{э обсл } j} \cdot \Delta R_{\text{мл}})_i, \quad (26)$$

$$S_{\text{тени РТПС}} = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K (\Delta R_{\text{э тени } k} \cdot \Delta R_{\text{мл}})_i. \quad (27)$$

На основе формул (22) ÷ (27) разработана автоматизированная система определения зон обслуживания и тени РТПС с использованием ГИС.

На рис. 5 приведён пример расчёта зоны обслуживания и зоны тени РТПС автоматизированной системой.

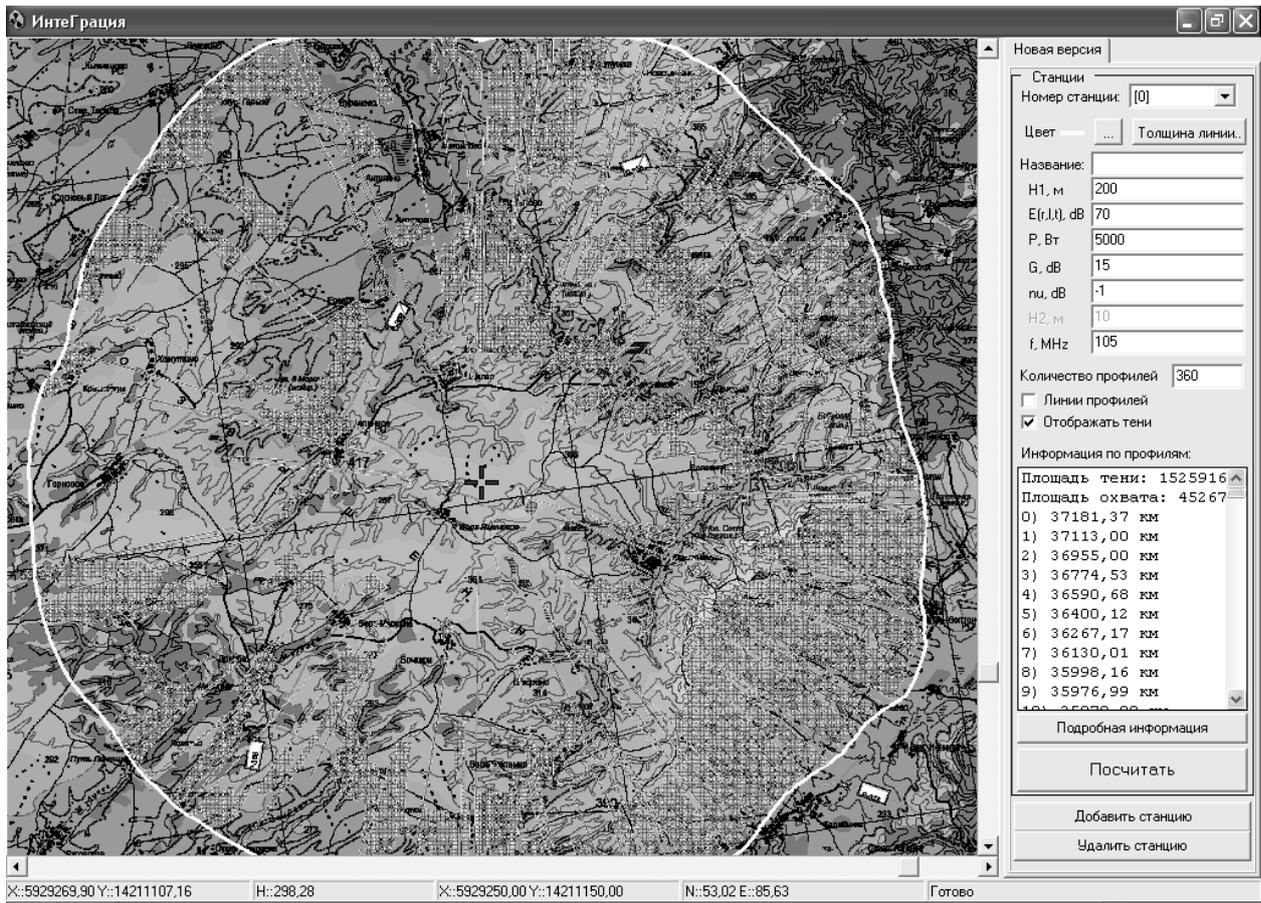


Рис. 5. Пример зоны обслуживания и зон тени РТПС

С использованием разработанной автоматизированной системы можно произвести оптимизацию местоположения РТПС. Суть такой оптимизации заключается в том, что в окрестности предполагаемого или существующего местоположения РТПС выбирается несколько наиболее высоких точек рельефа местности. При заданной высоте подвеса передающей станции h_1 для каждой из этих точек по формулам (26) и (27) определяются зоны обслуживания $S_{l \text{ облс РТПС}}$ и зоны тени $S_{l \text{ тени РТПС}}$.

За основу при проведении оптимизации местоположения РТПС целесообразно выбрать её зону вещания, которая определяется для гладкой сферической земли, т.е. без учёта рельефа местности

$$S_{\text{вещ РТПС}} = \pi \cdot R_3^2 = \pi \cdot R_{\text{пр}}^2. \tag{28}$$

Зона вещания РТПС одинакова для всех рассматриваемых точек расположения. Поэтому оптимальной точкой местоположения РТПС будет та l -тая точка, в которой выполняется условие

$$\Delta S_l = \pi R_{\text{пр}}^2 - \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (\Delta R_{\text{Э облс } j} \cdot \Delta R_{\text{мл } i}) - \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^K (\Delta R_{\text{Э тени } k} \cdot \Delta R_{\text{мл } i}) \right) \rightarrow \rightarrow \text{мин.} \tag{29}$$

4. Заключение

Разработана методика определения оптимального местоположения радиотелевизионной передающей станции, позволяющая рассчитывать напряжённость поля сигнала по профилям

лучей, исходящих от станции, построенных с использованием географической информационной системы. Напряжённость поля сигнала рассчитывается через напряжённость поля свободного пространства и множитель ослабления. Определение множителя ослабления производится для открытых и закрытых интервалов. Определена на профиле величина просвета, при котором поле сигнала в точке приёма меньше его минимального значения. Такие точки приёма относятся к зонам тени, остальные точки соответствуют зоне обслуживания.

Затем рассчитываются зоны обслуживания и зоны тени по каждому лучу, с учётом расстояния между ними, и для всей станции. Эта процедура повторяется для всех предполагаемых точек размещения передающей станции. Оптимальной точкой размещения станции будет та точка, в которой будет больше разность площадей зон обслуживания и зон теней.

По предложенной методике с использованием географической информационной системы разработана автоматизированная система, позволяющая определять оптимальное местоположение радиотелевизионной передающей станции.

Литература

1. Носов В.И., Штанюк Л.А. Автоматизированная система расчёта зон обслуживания вещательных передатчиков с использованием географической информационной системы//Инфосфера, №34, 2007. с. 42 – 43.
2. Сети телевизионного и звукового ОВЧ ЧМ вещания: Справочник/М.Г. Локшин, А.А. Шур, А.В. Кокорев, Р.А. Краснощёков. – М.: Радио и связь, 1988. – 144 с.
3. В.И. Носов. Оптимизация параметров сетей телевизионного и звукового вещания: Монография/СибГУТИ. – Новосибирск, 2005 г. – 257 с.
4. М.Г. Локшин Основы планирования наземных сетей телевизионного и ОВЧ ЧМ вещания. Зоны обслуживания радиостанций//Broadcasting. Телевидение и радиовещание, № 3, 2006. с. 34 – 39.
5. Recommendation ITU-R P.1546-1 (Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz), – Женева, 2003г. – 53 с.
6. Справочник по радиорелейной связи. / Под ред. С.В. Бородича. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.
7. В.И. Носов. Радиорелейные системы передачи: Учебное пособие. Фонд приоритетного национального проекта «Образование» / – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2008. – 287 с.
8. Носов В.И. Аппаратура радиорелейных линий синхронной цифровой иерархии. Часть 1 – Многоуровневые кодеры, модемы и эквалайзеры. Учебное пособие. УМО по специальности связь. – / Новосибирск.: СибГУТИ, 2003. – 156 с.

Статья поступила в редакцию 17.11.2009

Бактеев Владимир Николаевич

аспирант СибГУТИ, тел. 913-893-19-39, E-mail: wowan005@yandex.ru

Штанюк Лев Анатольевич

магистрант СибГУТИ, тел. 923-247-19-64, E-mail: flameon@front.ru

Носов Владимир Иванович

доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой систем радиосвязи СибГУТИ, тел. (383) 269-82-54, E-mail: nvi@sibsutis.ru

Site optimization of radio-television transmitting stations

Bakteev V.N., Shtanyuk L.A., Nosov V.I.

When frequency territorial planning of land tele-radio broadcasting networks, building new operating transmitting stations or while reconstructing them, there is a problem of their site optimization and technical characteristics definition. When defining station site optimization, it is necessary to make a calculation of signals fields' strength and interference taking into account the intervals profiles constructed in the direction from the station site to the broadcasting border area. In the article, the decision of optimization problem of RTTS site by means of calculation of service areas and zones of shades of broadcasting transmitters with the use of the automated system of calculations and geographical information system is made.

Keywords: radio-television transmitting station; service area; shade zone; interval profile; geographical information system; frequency-territorial planning; network of land tele-radio broadcasting; automated system.