РАСЧЕТ ЦИФРОВЫХ РРЛ

Этап 1: задачи 1 – 4

Задача 1

Определить радиус кривизны Земли, если известна длина пролета.

Таблица1.1а - Исходные данные

	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Длина пролета РРЛ, км	25	32	22	42	24	31	30	36	45	47

Таблица1.1б - Исходные данные

	Варианты									
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Длина пролета РРЛ, км	28	35	23	44	26	29	35	39	40	44

Методика решения

Радиус кривизны Земли

$$y_{кз} = 1{,}96 \cdot R_0{}^2 \cdot 10^{-2}, м \qquad (1.1)$$

где R_0 – длина пролета РРЛ, выраженная в км.

Пусть длина пролета R_0=44 км.

Пример решения и его оформления

Вариант 20

Задача 1

Исходные данные: длина пролета R_0=44 км.

Найти: $y_{кз.}$

Решение.

$$y_{кз} = 1{,}96 \cdot R_0{}^2 \cdot 10^{-2} = 1{,}96 \cdot 44^2 \cdot 10^{-2} = 37{,}95 (м)$$

Ответ: радиус кривизны Земли $y_{кз}$=37,95 м.

Задача 2

Построить профиль по известным высотам Земли.

Таблица 1.2 - Данные для построения профиля

Вариант 1	Аппаратура Pasolink NEO					
Отметка Земли, м	680	670	710	730	710	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,3 \cdot R_0$	$0,6 \cdot R_0$	$0,8 \cdot R_0$	R_0	15

Вариант 2	Аппаратура Minilnk					
Отметка Земли, м	590	600	620	640	650	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,3 \cdot R_0$	$0,6 \cdot R_0$	$0,8 \cdot R_0$	R_0	12

Вариант 3	Аппаратура Minilnk					
Отметка Земли, м	420	490	480	480	470	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,2 \cdot R_0$	$0,4 \cdot R_0$	$0,6 \cdot R_0$	R_0	25

Вариант 4	Аппаратура Pasolink NEO					
Отметка Земли, м	480	460	480	420	490	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,2 \cdot R_0$	$0,4 \cdot R_0$	$0,6 \cdot R_0$	R_0	6

Вариант 5	Аппаратура Pasolink NEO					
Отметка Земли, м	400	490	480	540	520	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,2 \cdot R_0$	$0,4 \cdot R_0$	$0,7 \cdot R_0$	R_0	20

Вариант 6	Аппаратура Natesk-Mikrolink					
Отметка Земли, м	600	650	710	730	750	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,3 \cdot R_0$	$0,6 \cdot R_0$	$0,8 \cdot R_0$	R_0	15

Вариант 7	Аппаратура Natesk-Mikrolink					
Отметка Земли, м	350	430	410	420	380	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,2 \cdot R_0$	$0,5 \cdot R_0$	$0,7 \cdot R_0$	R_0	12

Вариант 8	Аппаратура Minilnk					
Отметка Земли, м	580	600	650	670	640	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,3 \cdot R_0$	$0,6 \cdot R_0$	$0,8 \cdot R_0$	R_0	10

Вариант 9	Аппаратура Pasolink NEO					
Отметка Земли, м	480	450	480	540	520	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,2 \cdot R_0$	$0,4 \cdot R_0$	$0,7 \cdot R_0$	R_0	8

Вариант 10	Аппаратура Natesk-Mikrolink					
Отметка Земли, м	300	330	350	280	290	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,11 \cdot R_0$	$0,44 \cdot R_0$	$0,88 \cdot R_0$	R_0	7

Вариант 11	Аппаратура Pasolink NEO					
Отметка Земли, м	600	670	730	740	700	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,3 \cdot R_0$	$0,6 \cdot R_0$	$0,8 \cdot R_0$	R_0	13

Вариант 12	Аппаратура Minilnk					
Отметка Земли, м	550	560	580	590	600	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0,3 \cdot R_0$	$0,6 \cdot R_0$	$0,8 \cdot R_0$	R_0	10

Вариант 13	Аппаратура Minilnk					
Отметка Земли, м	430	480	480	500	470	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0{,}2 \cdot R_0$	$0{,}4 \cdot R_0$	$0{,}6 \cdot R_0$	R_0	16

Вариант 14	Аппаратура Pasolink NEO					
Отметка Земли, м	480	460	480	420	490	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0{,}2 \cdot R_0$	$0{,}4 \cdot R_0$	$0{,}6 \cdot R_0$	R_0	9

Вариант 15	Аппаратура Pasolink NEO					
Отметка Земли, м	400	490	480	540	520	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0{,}2 \cdot R_0$	$0{,}4 \cdot R_0$	$0{,}7 \cdot R_0$	R_0	18

Вариант 16	Аппаратура Natesk-Mikrolink					
Отметка Земли, м	600	650	710	730	750	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0{,}3 \cdot R_0$	$0{,}6 \cdot R_0$	$0{,}8 \cdot R_0$	R_0	12

Вариант 17	Аппаратура Natesk-Mikrolink					
Отметка Земли, м	390	430	440	400	380	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0{,}2 \cdot R_0$	$0{,}5 \cdot R_0$	$0{,}7 \cdot R_0$	R_0	17

Вариант 18	Аппаратура Minilnk					
Отметка Земли, м	580	570	610	650	640	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0{,}3 \cdot R_0$	$0{,}6 \cdot R_0$	$0{,}8 \cdot R_0$	R_0	7

Вариант 19	Аппаратура Pasolink NEO					
Отметка Земли, м	540	520	480	540	450	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0{,}2 \cdot R_0$	$0{,}4 \cdot R_0$	$0{,}7 \cdot R_0$	R_0	9

Вариант 20	Аппаратура Natesk-Mikrolink					
Отметка Земли, м	290	330	350	360	300	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0{,}11 \cdot R_0$	$0{,}44 \cdot R_0$	$0{,}88 \cdot R_0$	R_0	7

Методика решения

Продольный профиль интервала представляет собой вычерченный в определенном масштабе вертикальный разрез местности по линии, соединяющей две соседние радиорелейные станции. Продольные профили интервалов РРЛ полно и наглядно характеризуют рельеф местности на каждом интервале связи и являются основными рабочими документами, позволяющими выполнить расчет устойчивости работы радиорелейной линии при заданных нормах на ее качественные показатели.

Построение продольных профилей производится в прямоугольной системе координат с применением разных масштабов по горизонтали и вертикали. Высоты препятствий на поверхности Земли измеряются в метрах, а расстояния между ними радиорелейными станциями – в километрах. Таким образом, высоты откладываются на профиле не по линиям, проходящим через центр Земли (т.е. по радиусу Земли), а по вертикали (по оси ординат), и отсчет их ведется не от горизонтальной линии профиля, а от линии кривизны земной

поверхности, принимаемой за линию уровня моря или за условный нулевой уровень. Расстояния же между станциями откладываются не по криволинейной поверхности, а по горизонтали (оси абсцисс). При таком построении профиля земная поверхность изображается не окружностью, а параболой. Построение дуги земной кривизны (параболы) производится после определения расстояний между станциями и максимальной разности высот на поверхности земли, так как в зависимости от расстояния меняется масштаб по вертикали. Расстояния между станциями (R_0, км), а также наиболее низкие (*hmin*) и наиболее высокие (*hmax*) точки профиля интервала РРЛ связи определяются по данным топографических карт, и затем вычисляется максимальная разность высот, м.

После выбора масштабов производится построение дуги земной кривизны. Для ее построения необходимо построить участок окружности на интервале [0, R_0].

Уравнение окружности:

$$(y-y_0)^2+(x-x_0)^2=R^2, \qquad (1.2)$$

где R – радиус окружности, в данном случае равный радиусу Земли, т.е. $R=R_з=6371$ км.

x_0, y_0 – координаты центра окружности, $x_0=R_0/2, y_0=-\sqrt{R_3^2-(R_0/2)^2}$.

Из (1.2) следует, что

$$y=\sqrt{R^2-(x-x_0)^2}+y_0. \qquad (1.3)$$

В качестве x в данное выражение следует подставлять расстояния от передающей антенны в разных точках трассы, т.е. данные из третьей строки с заданием для Вашего варианта.

Если дуга построена правильно в точке с координатой x=R0/2 высота дуги будет равна $y_{кз}$.

Для сокращения размеров чертежа высокие отметки отсчитываются от линии условного горизонта, которая выбирается в зависимости от рельефа местности, как правило на уровне точки, расположенной на наименьшей высоте:

$$H_{3min}=\min(H_3), \qquad (1.4)$$

где H_3 – отметки Земли в соответствии с вариантом,

$$H_{3разні}= H_{3i} - H_{3min}, \qquad (1.5)$$

где $H_{3разні}$ – отметка Земли, характеризующая возвышение данной точки трассы над точкой с минимальной высотой.

i – индекс точки радиотрассы, $i=\overline{1,5}$.

Полученная кривая характеризует профиль интервала данного участка радиотрассы.

Пример решения и его оформления

Задача 2

Исходные данные:

Вариант 20	Аппаратура Natesk-Mikrolink					
Отметка Земли, м	290	330	350	360	300	f, ГГц
Расстояние, км	0	$0{,}11 \cdot R_0$	$0{,}44 \cdot R_0$	$0{,}88 \cdot R_0$	R_0	7

Найти: построить профиль радиотрассы.

Решение

Производим построение условного нулевого уровня:

$R_з$=6371 км, R_0=44 км.

$$x_0 = R_0 / 2 = 44 / 2 = 22 (км),$$

$$y_0 = -\sqrt{R_З^2 - (R_0/2)^2} = -\sqrt{6371^2 - (44/2)^2} \approx -6371 (км)$$

$$y_i = \sqrt{R^2 - (x_i - x_0)^2} + y_0 = \sqrt{6371^2 - (x_i - 22)^2} - 6371$$

Расстояние, км	0	$0{,}11 \cdot R_0$	$0{,}44 \cdot R_0$	$0{,}88 \cdot R_0$	R_0
x_i, км	0	4,84	19,36	38,72	44
y_i, м	0	14,87	37,44	16,04	0

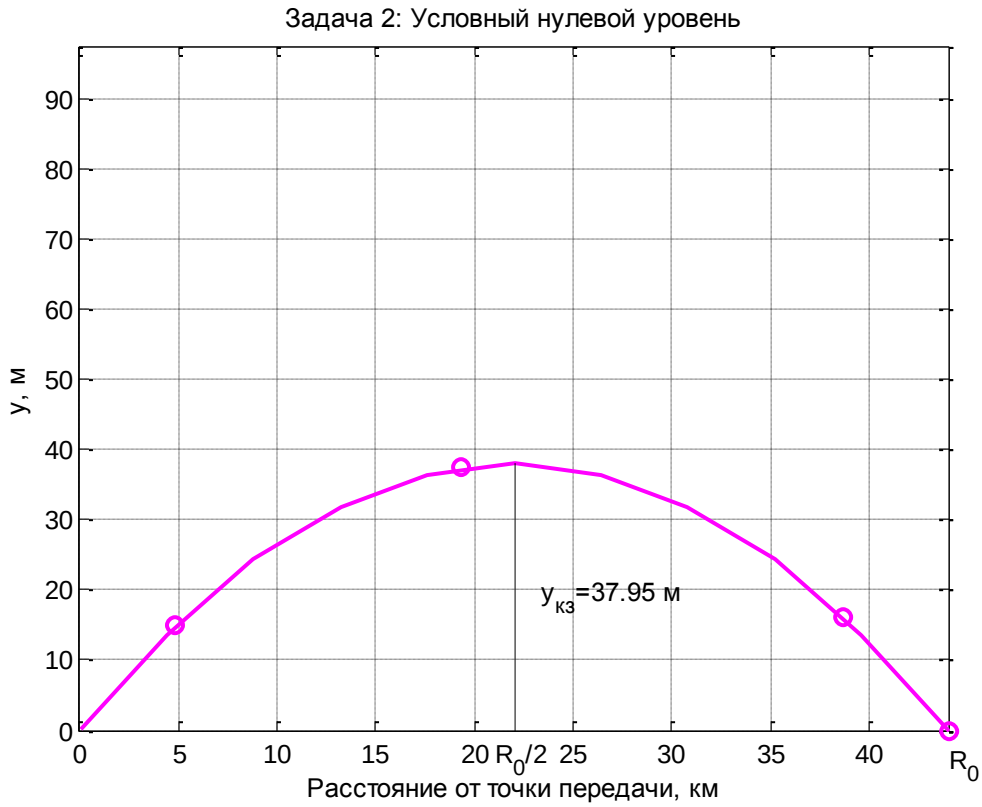

Рисунок 1 – Условный нулевой уровень

Вычисляем высоту линии условного горизонта. В таблице с исходными данными ищем наименьшую отметку Земли, получаем $H_{Зmin}$=290 м.

Производим расчет разностных отметок Земли:

$H_{Зразн1}$= $H_{З1}$ - $H_{Зmin}$ = 290 – 290 = 0 (м),

$H_{Зразн2}$= $H_{З2}$ - $H_{Зmin}$ = 330 – 290 = 40 (м),

$H_{Зразн3}$= $H_{З3}$ - $H_{Зmin}$ = 350 – 290 = 60 (м),

$H_{Зразн4}$= $H_{З4}$ - $H_{Зmin}$ = 360 – 290 = 70 (м),

$H_{3разн5} = H_{35} - H_{3min} = 300 – 290 = 10$ (м).

На графике (рисунок 1) откладываем полученные значения высот от условного нулевого уровня (т.е. от дуги) и соединяем. Полученная кривая представляет собою профиль заданной радиотрассы.

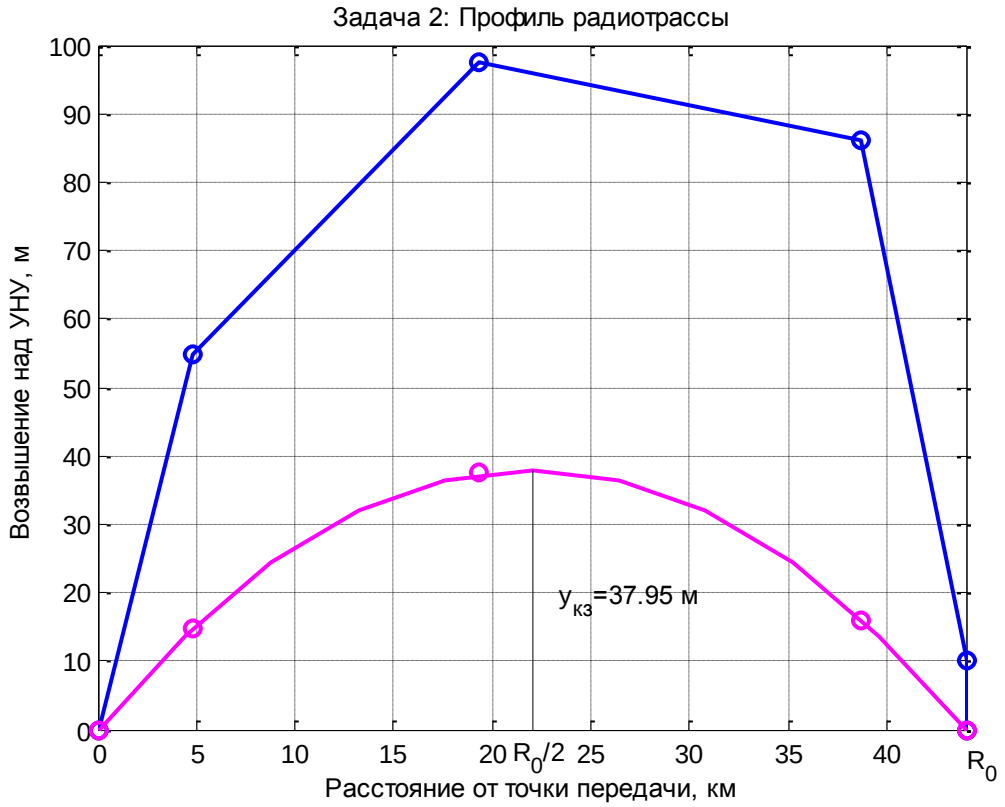

Рисунок 2 – Профиль радиотрассы

Задача 3

Рассчитать минимальный радиус зоны Френеля и просвет в отсутствии рефракции (принять $\sigma = 9 \cdot 10^{-8}$ м$^{-1}$ и $g = -7 \cdot 10^{-8}$ м$^{-1}$).

Методика решения

Из-за неравномерности вертикального градиента диэлектрической проницаемости атмосферы радиолуч получает искривление, что приводит к ухудшению радиосвязи. Если он встречается с естественным препятствием, то связь нарушается. Поэтому необходимо правильно установить просвет трассы путем выбора высот подвеса антенн.

Радиолуч перемещается внутри зоны Френеля, которая представляет собой эллипсоид вращения в точке приема и передачи. Минимальный радиус зоны Френеля определяется по формуле:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} \cdot R_0 \cdot \lambda \cdot k(1-k)}, \text{ м}, \qquad (1.6)$$

где $\lambda = \frac{c}{f}$, м – длина волны передачи;

f – частота передачи сигнала между радиорелейными станциями,

k - координата критической точки:

$$k = \frac{R_{max}}{R_0} \tag{1.7}$$

где R_{max} – расстояние до препятствия (наивысшей точки профиля).

Просвет при отсутствии рефракции рассчитывается по формуле

$$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g} + \sigma_{R_0}), \text{ м} , \tag{1.8}$$

где H_0 – минимальный радиус зоны Френеля, м,

$\Delta H(\bar{g} + \sigma_{R_0})$ - среднее значение изменения просвета за счет рефракции, существующее в течение 80% времени:

$$\Delta H(\bar{g} + \sigma_{R_0}) = -\frac{R_0^2}{4} \cdot (\bar{g} + \sigma_{R_0}) \cdot \kappa \cdot (1 - \kappa), \tag{1.9}$$

где $\bar{g}$ и σ_{R_0} – соответственно среднее значение и стандартное отклонение вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха;

k – координата критической точки.

При длине пролета меньше 50 км стандартное отклонение вертикального градиента диэлектрической проницаемости воздуха должно определяться по формуле

$$\sigma_{R_0} = \left(10 \cdot 10^{-8} + \frac{\bar{g}}{3{,}1}\right) \cdot \left(\frac{1}{y} - 1\right) + \frac{\sigma}{y}, \tag{1.10}$$

где σ – значение стандартного отклонения, 1/м;

y – параметр, определяемый из рисунка 1.1. Для нахождения этого параметра необходимо по оси абсцисс отложить длину радиотрассы и провести из этой точки перпендикуляр до пересечения с кривой.

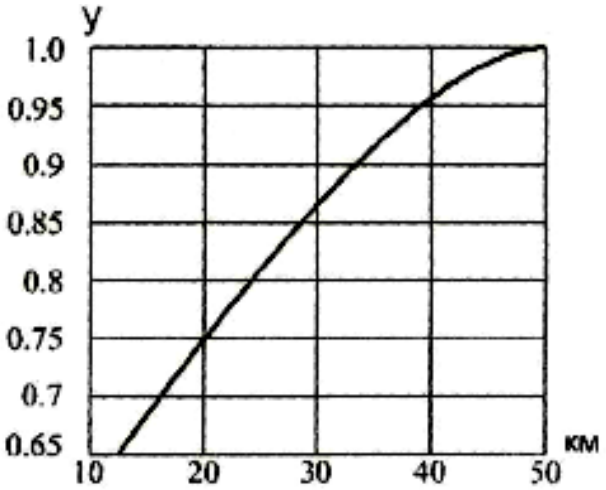

Рисунок 1.1. – Зависимость параметра y от длины радиотрассы

Пример решения и оформления

Задача 3

Исходные данные:
радиотрасса (рисунок 2);
R_0=44 км;
f=7 ГГц;
$g = -7\cdot10^{-8}$;
$\sigma = 9\cdot10^{-8}$.
Найти: H_0, $H(0)$.
Решение
Минимальный радиус зоны Френеля определяется по формуле:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3}\cdot R_0\cdot\lambda\cdot k(1-k)},\ \text{м},$$

где $\lambda = \frac{c}{f}$, м – длина волны передачи;
f – частота передачи сигнала между радиорелейными станциями,
k – координата критической точки.
Рассчитываем длину волны:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3\cdot10^8}{7\cdot10^9} \approx 0{,}04\,\text{м}.$$

Для расчета координаты критической точки ищем наивысшую точку рельефа, т.е. max($H_{Зразн}$+y):

Расстояние, км	0	$0{,}11\cdot R_0$	$0{,}44\cdot R_0$	$0{,}88\cdot R_0$	R_0
y_i, м	0	14,87	37,44	16,04	0
$H_{Зразні}$, м	0	40	60	70	10
$H_{Зразні}+y_i$, м	0	54,87	97,44	86,04	10

В данном случае . max($H_{Зразн}$+y)=97,44 м, т.е. Rmax=$0{,}44\cdot R_0$.

Следовательно $k = \frac{R_{max}}{R_0} = \frac{0{,}44\cdot R_0}{R_0} = 0{,}44$. Тогда

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3}\cdot R_0\cdot\lambda\cdot k(1-k)} = \sqrt{\frac{1}{3}\cdot 44\cdot10^3\cdot0{,}04\cdot0{,}44\cdot(1-0{,}44)} = 12{,}45\,\text{м}$$

По рисунку 3 определяем значение параметра y:

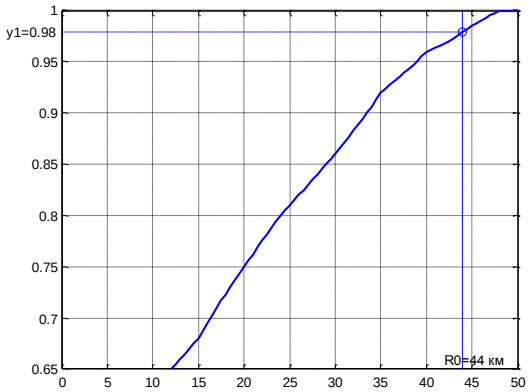

Рисунок 3 – Определение параметра y

Значение параметра y≈0,98, тогда

$$\sigma_{R_0} = \left(10\cdot 10^{-8} + \frac{\bar{g}}{3{,}1}\right)\cdot\left(\frac{1}{y}-1\right) + \frac{\sigma}{y} = \left(10\cdot 10^{-8} + \frac{-7\cdot 10^{-8}}{3{,}1}\right)\cdot\left(\frac{1}{0{,}98}-1\right) + \frac{9\cdot 10^{-8}}{0{,}98} =$$

$$= 9{,}36\cdot 10^{-8}\, 1/\text{м}$$

$$\Delta H(\bar{g}+\sigma_{R_0}) = -\frac{R_0^2}{4}\cdot(\bar{g}+\sigma_{R_0})\cdot\kappa\cdot(1-\kappa) = -\frac{(44\cdot 10^3)^2}{4}\cdot(-7\cdot 10^{-8}+9{,}36\cdot 10^{-8})\times$$

$$\times 0.44\cdot(1-0{,}44) = -2{,}81\ \text{м}$$

$$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g}+\sigma_{R_0}) = 12{,}45-(-2{,}81) = 15{,}26\ \text{м}.$$

Ответ: минимальный радиус зоны Френеля $H_0 = 12{,}45$м, просвет в отсутствии рефракции $H(0) = 15{,}26$ м.

Задача 4

Определить высоты подвеса антенн по результатам задачи 1, 2, 3.

Методика решения

Высоты подвеса антенн выбираются методом оптимизации. Для этого от критической точки профиля откладывается расстояние $\Delta y = H(0)$ и через данную точку проводится три произвольных луча. Выбирается тот луч, у которого *h1+h2=min*, где *h1* – высота подвеса передающей антенны, *h2* – высота подвеса приемной антенны.

В результате такой оптимизации получаем следующие формулы для расчета высот подвеса антенн:

$$h_1 = MN + y(R_{max}) + H(0) - CD,\ \text{м};$$

$$h_2 = MN + y(R_{max}) + H(0) - XY,\ \text{м}. \qquad (1.11)$$

где $MN = H_{Зразн}(R_{max})$;

CD, XY – высота профиля соответственно в начале и в конце тракта.

Пример решения и оформления

Задача 4

Исходные данные: профиль радиотрассы

Расстояние, км	0	$0{,}11\cdot R_0$	$0{,}44\cdot R_0$	$0{,}88\cdot R_0$	R_0
$H_{Зразні}$, м	0	40	60	70	10
y_i, м	0	14,87	37,44	16,04	0

$R_{max}=0{,}44R_0$,

H(0)=15,26 м.

Найти: h_1, h_2.

Решение.

$MN = H_{Зразн}(R_{max}) = H_{Зразн}(0{,}44R_0) = 60$ м;

$CD = H_{Зразн}(0) = 0$ м;

$XY = H_{Зразн}(R_0) = 10$ м.

$$h_1 = MN + y(R_{max}) + H(0) - CD = 60 + 37{,}44 + 15{,}26 - 0 = 112{,}70 \text{ м};$$

$$h_2 = MN + y(R_{max}) + H(0) - XY = 60 + 37{,}44 + 15{,}26 - 10 = 102{,}70 \text{ м}.$$

На чертеже откладываем высоты антенн от высот рельефа в начале и конце пролета (т.е. в начале от нуля будем откладывать высоту $CD+h_1$, а в конце – $XY+h_2$).

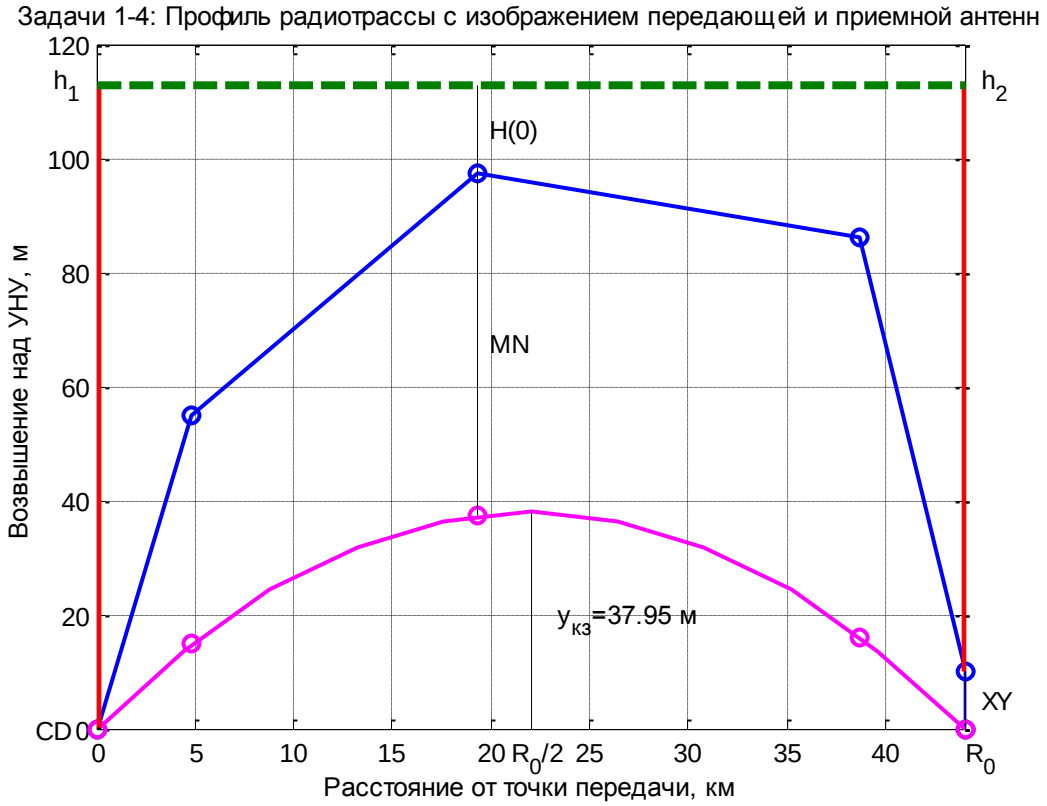

Рисунок 4 – Профиль радиотрассы с изображением передающей и приемной антенн

Ответ: $h_1 = 112{,}70$ м; $h_2 = 102{,}70$ м.