

**МИНИСТЕРСТВО ЦИФРОВОГО РАЗВИТИЯ, СВЯЗИ И МАССОВЫХ
КОММУНИКАЦИЙ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего
образования**

«Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики»

Л.А. МАРЫКОВА

**МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ
по выполнению контрольной работы по дисциплине
«Транспортные радиосети и системы»**

Учебно-методическое пособие

**для студентов заочной формы обучения по направлению подготовки 11.03.02
«Инфокоммуникационные технологии и системы связи»**

Самара, 2023

УДК 621.396.43 (076)

БКК

М-30

Рекомендовано к изданию методическим советом ПГУТИ, протокол №46 от 11.04.2023 г.

Марыкова, Л. А.

М-30 Методические рекомендации по выполнению контрольной работы по дисциплине «Транспортные радиосети и системы» для студентов заочной формы обучения по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи» : учебно-методическое пособие / Л.А. Марыкова. - Самара: ПГУТИ, 2023. - 32 с.

Учебно-методическое пособие «Методические рекомендации по выполнению контрольной работы «Проектирование цифровых радиорелейных линий связи прямой видимости» по дисциплине «Транспортные радиосети и системы», содержит задание на контрольную работу и методические указания по ее выполнению.

Разработано в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», предназначено для студентов (бакалавриат) заочной и дистанционной форм обучения для подготовки к самостоятельной работе и сдаче зачета по дисциплине «Транспортные радиосети и системы».

Методические указания утверждены на заседании кафедры ССС №8 от 28.03.23г.

© Марыкова Л.А., 2023

© Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Задание на контрольную работу.....	5
1.1 Постановка задачи.....	5
1.2 Исходные данные и задание.....	5
1.3 Содержание и правила оформления.....	6
2 Структурная схема проектируемой ЦРРЛ ПВ.....	8
3 Построение профиля пролета.....	13
4 Выбор оптимальных параметров пролета.....	16
5 Расчет минимально допустимого множителя ослабления.....	20
6 Расчет диаграммы уровней распространения сигнала на пролете.....	23
Рекомендуемая литература.....	26
Приложение.....	27

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Транспортные радиосети и системы» относится к блоку 1 «Дисциплины (модули)» части формируемой участниками образовательных отношений основной профессиональной образовательной программы (ОПОП) высшего образования (ВО) - бакалавриат по направлению подготовки 11.03.02 «Инфокоммуникационные технологии и системы связи», предназначена для студентов 4 курса (7 семестр) заочной формы обучения. Дисциплина реализуется кафедрой сетей и систем связи факультета оптических и квантовых коммуникаций.

Целью освоения дисциплины является получение базовых знаний по планированию, функционированию и эксплуатации транспортных радиосетей на основе систем сотовой, радиорелейной и спутниковой связи.

Задачи дисциплины:

- изучить классификацию транспортных радиосетей и систем;
- изучить теорию распространения радиоволн диапазонов радиочастот;
- изучить особенность планирования и функционирования транспортных радиосетей и систем;
- изучить способы организации радиолиний на основе радиорелейных и спутниковых систем связи;
- изучить принципы построения приемопередающей радиоаппаратуры, конструкцию и параметры антенно-фидерных трактов и антенн транспортных радиосетей;
- рассмотреть методы проектирования транспортных радиосетей.

Контрольная работа по дисциплине «Транспортные радиосети и системы» позволяет студентам изучить особенности проектирования и оценки качества работы цифровой радиорелейной линии связи прямой видимости (ЦРРЛ ПВ).

В методических указаниях по выполнению контрольной работы (КЗ) рассмотрены основные этапы проектирования ЦРРЛ ПВ.

1 ЗАДАНИЕ НА КОНТРОЛЬНУЮ РАБОТУ

1.1 Постановка задачи

Задачами на выполнение контрольной работы являются:

1. Используя исходные данные, разработать структурную схему РРЛ ПВ.
2. Построить профиль одного пролета заданной протяженности с учетом кривизны поверхности Земли.
3. Выбрать оптимальные параметры пролета и рассчитать линию прямой видимости.
4. Определить высоты подвеса передающей и приемной антенн на рассматриваемом пролете.
5. Рассчитать минимально допустимый множитель ослабления сигнала на пролете.
6. Рассчитать и построить диаграмму уровней радиосигнала и оценить устойчивость связи на пролете ЦРРЛ.

1.2 Исходные данные и задание

Номер варианта - N соответствует двум последним цифрам номера зачетной книжки (см. табл. 1, 2 Приложения).

В табл. 1 Приложения представлены исходные для выполнения контрольной работы в соответствии с номером варианта.

В табл. 1 обозначено:

L_{LC} – длина трассы, км;

R_0 – длина пролета, км;

f – диапазон рабочих частот ЦРРЛ, ГГц;

P_{nd} – уровень мощности передатчика, дБ;

$P_{n.m \text{ don}}$ – пороговый уровень сигнала на входе приемника, при котором обеспечивается вероятность коэффициента ошибок $P_{out}=10^{-3}$, дБ.

В табл. 2 Приложения заданы высотные отметки рельефа местности одного пролета ЦРРЛ для построения профиля пролета.

1.3 Содержание и правила оформления

Пояснительная записка к КЗ должна быть оформлена на отдельных листах в формате А4, заполненных с одной стороны листа. Текст работы печатается через полтора интервала шрифтом Times New Roman кеглем в 14 пунктов. Размеры полей: левое – 30 мм, правое – 15 мм, верхнее – 20 мм, нижнее – 20 мм., абзацный отступ - 1,25 см. Текст работы должен быть выровнен по ширине листа. Ориентация книжная, нумерация страниц в нижнем правом углу. Текст делится на разделы, каждый раздел начинается с нового листа. Расстояние между заголовками разделов, и следующим текстом должно составлять одну строку.

Рисунки в работе располагаются непосредственно на странице с текстом после абзаца, в котором они упоминаются впервые, или отдельно на следующей странице. Иллюстрации должны иметь наименование, которое располагается после номера рисунка. Иллюстрации обозначаются словом «Рис.» и нумеруются последовательно в пределах раздела. Номер иллюстрации должен состоять из номера раздела и порядкового номера иллюстрации в разделе, разделенных точкой. После наименования рисунка точка не ставится.

Формулы в КЗ (если их более одной) нумеруются в пределах раздела. Номер формулы состоит из номера раздела и порядкового номера формулы в разделе, разделенных точкой. Пояснение значений символов и числовых коэффициентов необходимо приводить непосредственно под формулой в той же последовательности, в какой они даны в формуле. В конце формулы ставится точка. Если в формуле дается пояснение, то в конце формулы ставится запятая, а первую строку пояснения следует начинать со слов «где» без двоеточия.

Все рассчитанные параметры должны иметь размерность.

Титульный лист пояснительной записки должен содержать название дисциплины, по которой выполнена КЗ, и информацию о студенте (ФИО, номер группы и зачетной книжки) и номер выполненного варианта.

В начале пояснительной записки приводится содержание КЗ с указанием разделов и номерами соответствующих страниц. Далее в записке должны присутствовать задание и сходные данные, в соответствии с выбранным вариантом. В пояснительной записке должны быть проработаны все разделы, рекомендованные в указаниях.

Все вычисления в работе должны сопровождаться письменным пояснением с расшифровкой численных значений, подставляемых в формулы.

Пояснительная записка к КЗ должна содержать графический материал:

- структурная схема проектируемой ЦРРЛ;
- профиль одного пролета;
- диаграмма уровней сигналов одного пролета;

Список использованных источников информации приводится на отдельной странице, после текста пояснительной записи. Ссылки на источники в тексте КЗ указываются в квадратных скобках.

2 СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПРОЕКТИРУЕМОЙ ЦРРЛ ПВ

Цепочка приемо-передающих станций, антенны которых отстоят, друг от друга на расстояние прямой видимости образует радиорелейную линию (рис. 2.1). Передача информации в РРЛ происходит в соответствии с принципом ретрансляции, когда каждая станция в составе РРЛ, принимает, усиливает и переизлучает сигнал в направлении соседней станции. Чтобы выбрать оптимальную трассу для размещения РРС нужно руководствоваться основными принципами построения РРЛ.

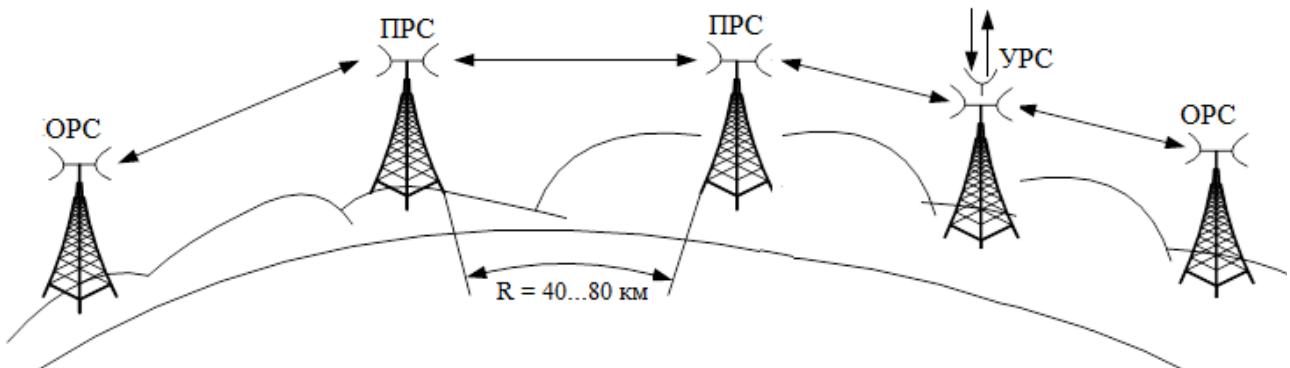


Рис. 2.1 - Радиорелейная линия связи прямой видимости (РРЛ ПВ)

От того, насколько верно выбрана трасса, будет зависеть стоимость строительства проектируемой РРЛ и ее последующей эксплуатации. Но на этапе проектирования необходимо учитывать также специфику местности и региона: какие материалы можно применять при строительстве, как они будут доставляться, каким образом станции будут обеспечиваться электроэнергией.

Условия выбора трассы на этапе проектирования:

- Условие зигзагообразности — важнейшее, которое необходимо соблюдать при выборе трассы проектируемой РРЛ (рис. 2.2). Чтобы снизить взаимные помехи между радиорелейными станциями, работающими на одинаковых частотах станции, располагаются по трассе зигзагообразно.

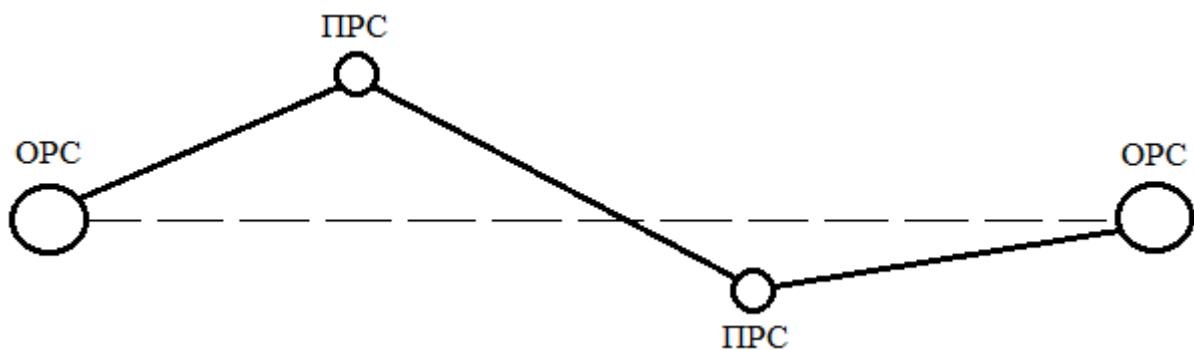


Рис. 2.2 – Зигзагообразное расположение станций вдоль трассы ЦРРЛ ПВ

- Каждая площадка радиорелейной станции должна иметь спокойный рельеф (за исключением гористой местности), располагаться на доминирующей высоте, вблизи дорог и населенных пунктов.
- Грунты площадок должны иметь хорошую несущую способность, участки с риском оползней и карстовых провалов должны исключаться. Площадка должна быть сухой и не затапливаться.
- В силу высокой стоимости работ и оборудования, трасса РРЛ должна иметь минимальное число пролетов и препятствий.
- Поскольку строения в населенных пунктах могут стать причиной перекрытия сигнала, то если есть возможность, трассу нужно прокладывать вблизи села или города. Это позволит снизить риск возможных помех и одновременно будет экономически целесообразно на этапе эксплуатации объекта.
- Необходимо учитывать зависимость дальности связи прямой видимости от диапазона частот.

Станции РРЛ подразделяют на:

- оконечные (OPC);
- промежуточные (ПРС);
- узловые станции (УРС).

Такое дифференцирование зависит от расположения, назначения и комплектации конкретной станции.

ОПС содержат модуляторы и передатчики в направлении передачи сигналов и приемники с демодуляторами в направлении приема. Их устанавливают в крайних пунктах линии связи. Одна антенна, соединенная с трактами приема и передачи при помощи антенного разветвителя (дуплексора) применяется для приема и передачи сигнала. Модуляция и демодуляция сигналов проводится на промежуточных частотах 70 или 140 МГц.

Промежуточные станции размещают на расстоянии прямой видимости. Они только принимают от предыдущей станции СВЧ сигнал, усиливают его после преобразований СВЧ-ПЧ-СВЧ и передают на следующую станцию.

Узловые станции вводят и выводят информацию, одновременно выполняя функции ПРС. В связи с этим они устанавливаются в крупных населенных пунктах или в точках пересечения (ответвлений) линий связи.

Расстояние между ближайшими станциями называется *пролетом* (или *интервалом*) РРЛ. Длина пролета зависит от многих причин и, в среднем, достигает 50-60 км в диапазонах частот до 10 ГГц и нескольких км в диапазонах 30-50 ГГц.

Для удобства управления и эксплуатации РРЛ условно разбивают на секции (или участки). *Секция* – это промежуток между ОПС и ближайшей УРС или между узловыми станциями. В участок может входить до десятка и более интервалов, а, соответственно, и ПРС.

В соответствии с заданием в КЗ проектируется внутризоновая ЦРРЛ ПВ. Гипотетическая цепь ЦРРЛ ПВ – это цепочка станций, имеющих определенную протяженность и включающая в себя определенное число преобразований сигнала. Структурная схема полной гипотетической (эталонной) внутризоновой линии изображена на рис. 2.2 и, представляет собой цепь номинальной длиной в 600 км, состоящую из трех секций длиной 200 км ($L_{сек}$).

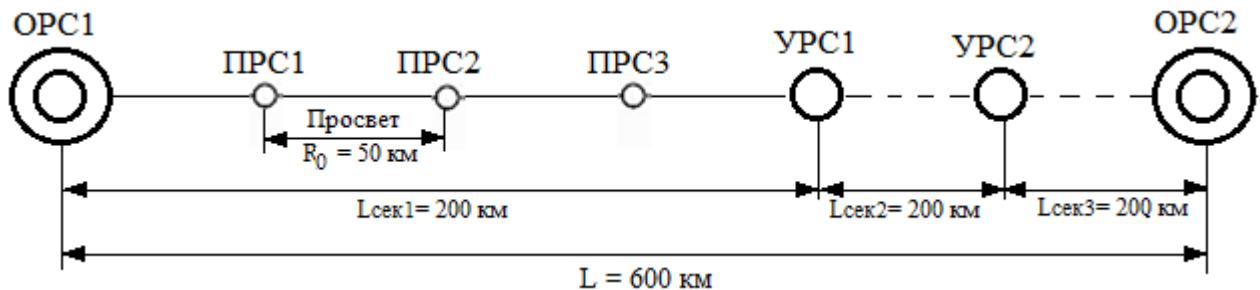


Рис. 2.2 – Структурная схема полной гипотетической внутризоновой ЦРРЛ ПВ

Для определения структуры проектируемой ЦРРЛ ПВ заданной длины (L_{LC}) требуется рассчитать число секций (m) на линии по формулам:

$$m = \frac{L_{LC}}{L_{эт.сек.}}, \quad (2.1)$$

где L_{LC} – длина проектируемой трассы (см. задание на КЗ), км;

$L_{эт.сек.}$ – длина эталонной секции ($L_{эт.сек.} = 200$ км).

В задании к контрольной работе предусмотрено, что длина рассчитываемой ЦРРЛ для всех вариантов меньше длины эталонной секции. Следовательно, $m = 1$, а длина секции равна длине линии связи.

$$L_{сек} = L_{LC}.$$

Число пролетов (n) на линии связи:

$$n = \frac{L_{LC}}{R_0}, \quad (2.2)$$

где R_0 – длина пролета, км.

Число пролетов должно быть целым числом. Округление результата, рассчитанного по формуле (2.2), всегда производится в большую сторону.

По результатам расчетов по выражениям (2.1) и (2.2) на рисунке строится структурная схема проектируемой ЦРРЛ ПВ. Например, на рис. 2.3

изображена структурная схема ЦРРЛ ПВ, которая состоит из одной секции протяженностью 135 км. На секции расположены четыре пролета, три из которых заданной протяженности 35 км и одного пролета с результирующей длиной 30 км.

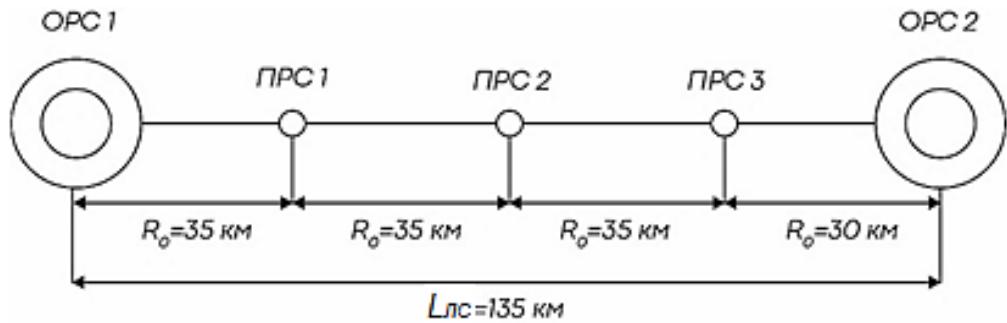


Рис. 2.3 – Пример структурной схемы внутризоновой ЦРРЛ ПВ

3 ПОСТРОЕНИЕ ПРОФИЛЯ ПРОЛЕТА

Особенностью радиорелейной связи является необходимость размещения антенн на достаточно высокой мачте или башне (в пределах 100 м), чтобы обеспечить прямую видимость между антеннами соседних станций ЦРРЛ. Определения высоты подвеса антенн имеет большое значение для всего процесса проектирования, поэтому он осуществляется на начальном этапе, что позволяет осуществить оптимальный выбор просветов и более точную статистическую оценку влияния субрефракционных замираний. Определение высот подвеса антенн выполняют с учетом рельефа местности, для чего строят профиль пролета.

При проектировании ЦРРЛ ПВ рельеф местности учитывают с помощью профилей пролетов. *Профиль пролета – это вертикальный разрез местности, с изображением его особенностей.* Реальный профиль отражает все высотные отметки местности (рельеф), включая строения, лесные, водные поверхности и т.д. Профили строят в прямоугольной системе координат, откладывая длину пролета по оси абсцисс, а высоты по оси ординат.

Для учета кривизны поверхности Земли и удобства построения профиля пролета используется параболический масштаб, путем изображения условного нулевого уровня в виде параболы. В настоящее время в проектных организациях данный этап расчета ЦРРЛ ПВ полностью автоматизирован, и программа выдает готовый профиль пролета, в соответствии с заданными координатами станций и топографическим рельефом между ними.

Для построения профиля пролета рассчитывается линия условного нулевого уровня (y_0). Расчет линии условного нулевого уровня производится для 11 точек (k_i) с координатами 0,0; 0,1; 0,2; 0,3; ...; 1,0. Высоту текущей точки y_{0i} линии нулевого уровня находят по формуле:

$$y_{0i} = \frac{R_0^2}{2R_s} k_i (1 - k_i), \quad (3.1)$$

где k_i – относительная координата текущей точки на оси абсцисс;

R_3 – геометрический радиус Земли ($R_3 = 6370$ км).

Рассчитанные значения заносятся в таб. 3.1.

Таблица 3.1

Высотные отметки местности для построения профиля пролета

Координата k_i	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
Отметки h_i , м											
Расчетные значения y_{0i} , м											
Высота текущей точки профиля $h_{\Sigma} = y_{0i} + h_i$, м											

Для оценки рельефа местности на рис. 3.1 приведен пример построения.

На рисунке в прямоугольной системе координат по оси абсцисс отложить заданную длину пролета (R_0) с координатами (k_i). По оси ординат – высотные отметки местности (h), взятые из табл. 3.1.

Для построения условного нулевого уровня найденные значения y_{0i} откладывают в виде точек вертикально вверх от оси абсцисс с координатами k_i и соединяют их плавной пунктирной линией.

От построенной линии нулевого уровня откладывают вертикально вверх отметки рельефа местности (h_i) из табл. 3.1. Полученные точки высот профиля пролета соединяют отрезками ломаной линии и получают искомый профиль пролета. Пример построения профиля пролета для оценки рельефа местности представлен на рис. 3.1.

Визуально на построенном профиле пролета определяют наивысшую точку препятствия. На рис. 3.1 координата для наивысшей точки $k_i = 0,7$. Эта точка считается критической, то есть $k_{kp} = k_{0,7}$.

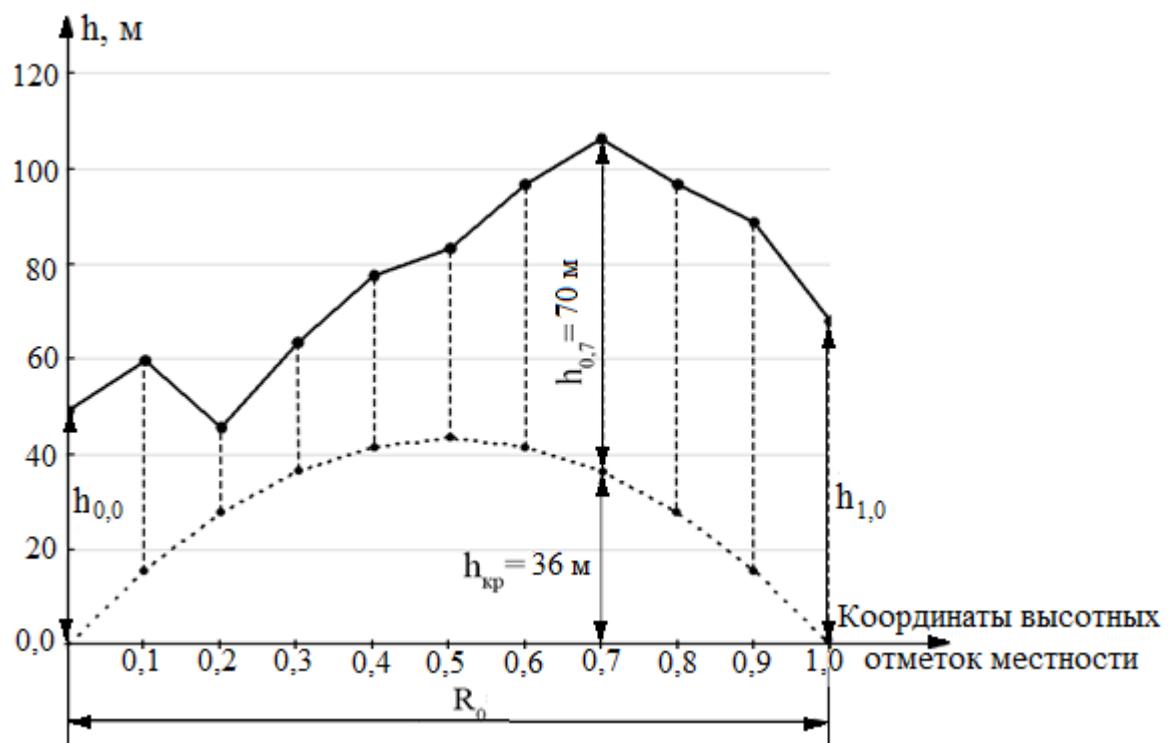


Рис. 3.1 – Пример построения профиля пролета

4 ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЛЕТА

Оптимальные параметры пролета зависят от высот подвеса антенн (h_1 и h_2). Основным критерием для расчета высоты подвеса антенн на пересеченном пролете является условие отсутствия экранировки препятствиями минимальной зоны Френеля при субрефракции радиоволн. Как известно, основная часть энергии передатчика распространяется в сторону приемной антенны внутри минимальной зоны Френеля, представляющей эллипсоид вращения с фокусами в точках передающей и приемной антенн (рис. 4.1).

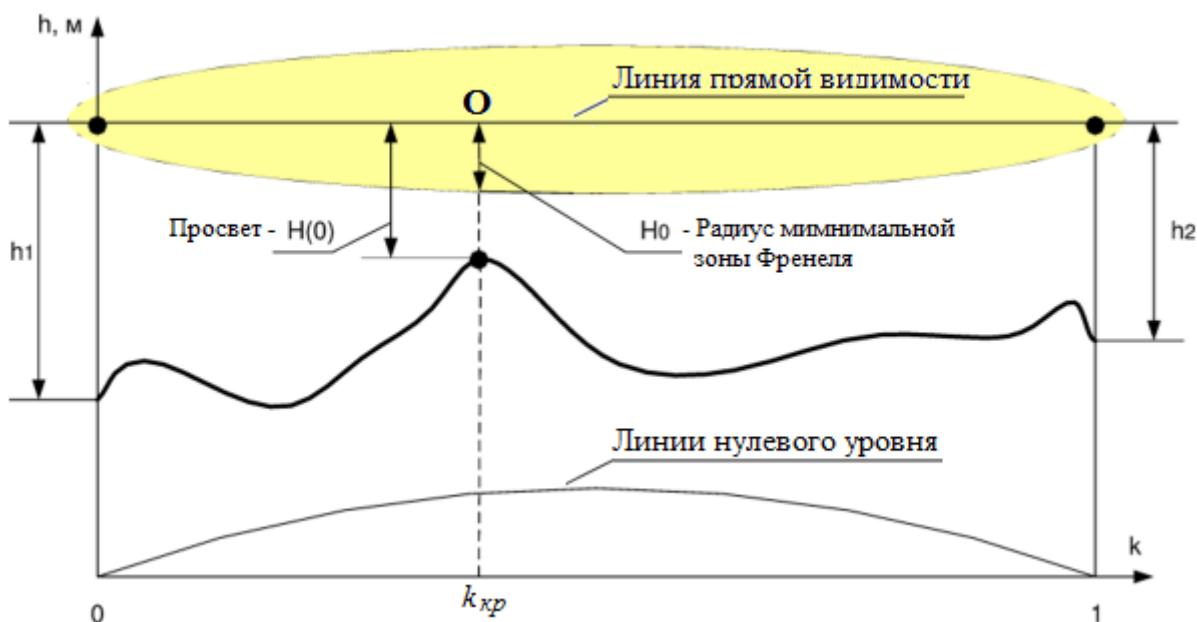


Рис. 4.1 – К определению линии прямой видимости

Для открытых пролетов, на которых местность не пересеченная (нет зеркального отражения от земли), величина просвета рассчитывается по формуле:

$$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g} + \sigma) + d, \quad (4.1)$$

где $H(0)$ – просвет над критической точкой рельефа, м;

H_0 – радиус минимальной зоны Френеля, м;

$\Delta H(g + \sigma)$ – приращение (изменение) просвета за счет атмосферной рефракции, которая искривляет траекторию распространения радиоволн, м;

d – средняя ошибка топографической карты. В расчетах рекомендуется использовать величину $d = 9$ м.

Радиус минимальной зоны Френеля определяют с учетом координаты k_{kp} по формуле:

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda k_{kp} (1 - k_{kp})}, \quad (4.2)$$

где λ – длина волны радиосигнала, м.

Длина волны определяется по формуле:

$$\lambda = \frac{c}{f}, \quad (4.3)$$

где c – скорость света. В расчетах принять $c = 3 \cdot 10^8$ м/с;

f – диапазон рабочих частот ЦРРЛ, ГГц (см. исходные данные).

Приращение просвета $\Delta H(\bar{g} + \sigma)$ определяют по формуле:

$$\Delta H(\bar{g} + \sigma) = -\frac{R_0^2}{4} (\bar{g} + \sigma) \cdot k_{kp} \cdot (1 - k_{kp}), \quad (4.4)$$

где \bar{g} – среднее значение эффективного градиента диэлектрической проницаемости атмосферы для заданного климатического района, м^{-1} ;

σ – стандартное отклонение от эффективного градиента диэлектрической проницаемости атмосферы для заданного климатического района, м^{-1} .

Значения параметров статистических распределений эффективных градиентов (\bar{g} ; σ) для разных климатических районов приведены в [2]. Для районов Среднего Поволжья в расчетах используют:

$$\bar{g} = -9 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}; \quad \sigma = 7,5 \cdot 10^{-8} \text{ м}^{-1}.$$

На рис. 4.2 показан пример построения профиля пролета в контрольной работе. На рисунке профиля пролета рассчитанное значение $H(0)$ откладывают вертикально вверх от критической точки и отмечают точкой (0). Через найденную точку 0, проводят линию прямой видимости (ПВ), которая условно соединяет центры передающей и приемной антенн соседних станций, ограничивающих пролет. Линия ПВ должна быть проведена с учетом следующих условий:

- высоты $h_{1,2}$ должны быть не менее 20 м и не более 150 м;
- желательно, чтобы значения $h_{1,2}$ были одинаковы.

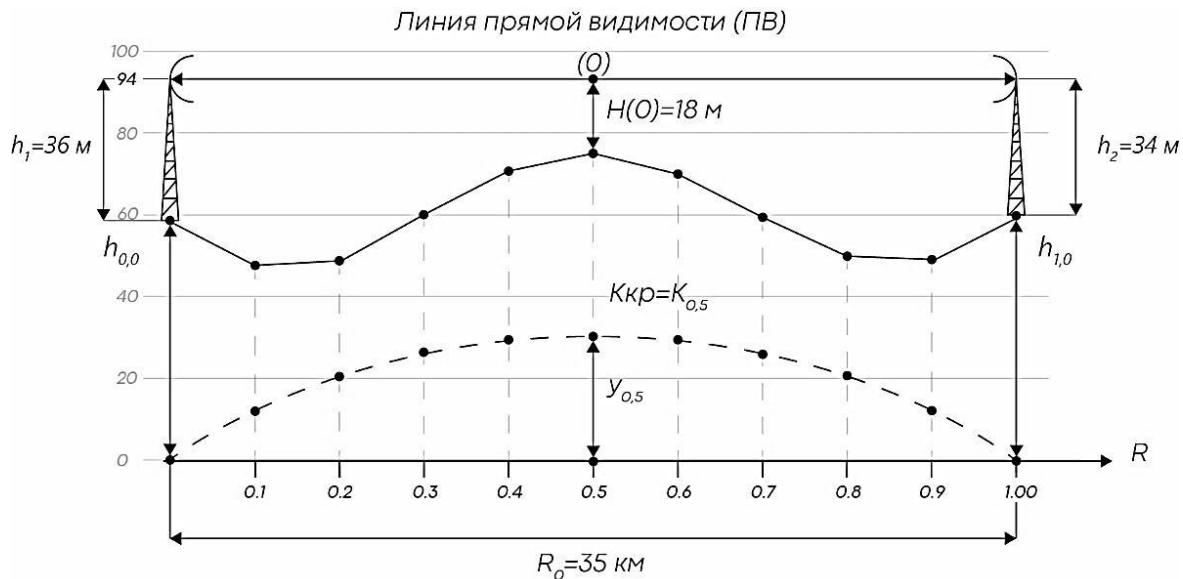


Рис. 4.2 – Пример построения профиля пролета

На рисунке отмечают высоты подвеса передающей (h_1) и приемной (h_2) антенн.

Расстояние до линии прямой видимости может быть рассчитано по формуле:

$$H_{\text{ПВ}} = h_{kp} + H(0). \quad (4.5)$$

Высоты подвеса передающей (h_1) и приемной (h_2) антенн определяют по формулам:

$$\begin{aligned} h_1 &= H_{PB} - h_{0,0}; \\ h_2 &= H_{PB} - h_{1,0}. \end{aligned} \tag{4.6}$$

5 РАСЧЕТ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО МНОЖИТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ

Диэлектрическая проницаемость тропосфера зависит от температуры и давления сухого воздуха, а также давления водяных паров. В хорошо перемешанной тропосфере содержание водяных паров и температура воздуха падают с высотой, поэтому и значение диэлектрическая проницаемость уменьшается по высоте. Траектория электромагнитной волны в такой тропосфере будет искривлена относительно траектории в свободном пространстве. Искривление траекторий волн, обусловленное неоднородным строением тропосферы, называется атмосферной рефракцией.

Для учета влияния рельефа местности и метеорологических условий на распространение сигнала вводится понятие множителя ослабления поля свободного пространства. Это отношение напряженности поля в реальных условиях к напряженности поля в этой же точке в условиях свободного пространства.

Каждый тип РРЛ допускает строго определенную величину минимального множителя ослабления на интервалах, который на одном интервале полностью определяется параметрами аппаратуры РРС и протяженностью интервала. Эта величина называется минимально допустимым множителем ослабления ($V_{min\ don}$).

Для того чтобы рассчитать минимально допустимый множитель ослабления нужно вычислить постоянные потери мощности сигнала на пролете РРЛ, которые определяются потерями в тракте распространения (потерями в свободном пространстве) и потерями в антенно-фидерном тракте, КПД антенно-фидерного тракта.

Особенностью ЦРРЛ ПВ является зависимость вероятности ошибок (P_{oui}) на выходе линии от порогового уровня сигнала на входе приемника (P_{nm}). Величина P_{nm} , при котором обеспечивается допустимое значение вероятности ошибок ($P_{oui,don}$) равное 10^{-3} является определяющим техническим параметром

аппаратуры и характеризуется минимально допустимым множителем ослабления (V_{min}).

Для ЦРРЛ ПВ значение V_{min} определяют по формуле:

$$V_{min} = P_{nm} - P_{nd} - G_1 - G_2 + b_1 + b_2 + L_0, \quad (5.1)$$

где P_{nm} – пороговый уровень сигнала на входе приемника, при котором обеспечивается вероятность коэффициента ошибок (см. исходные данные), дБ;

P_{nd} – уровень мощности передатчика (см. исходные данные), дБ;

G_1, G_2 – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, используемых на пролете, дБ;

b_1, b_2 – потери сигнала в фидерах на передающей и приемной стороне пролета, дБ;

L_0 – потери в свободном пространстве, дБ.

Коэффициент усиления антенны G показывает, во сколько раз придется увеличить подводимую мощность, если данную направленную передающую антенну заменить ненаправленной, при условии, что напряженность поля в точке приема не изменится.

Коэффициент усиления характеризует способность передающей антенны сконцентрировать основную часть излучаемой мощности в главном направлении, которая получила название эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (ЭИИМ). Для определения G_1, G_2 (для параболических структур) используем формулу:

$$G = 10 \lg \frac{\pi^2 D^2}{\lambda^2} K_{ucn}, \text{дБ,} \quad (5.2)$$

где D – диаметр антенны, $D = 2,5$ м;

K_{ucn} – коэффициент использования поверхности антенн, $K_{ucn} = 0,5$.

Так как в работе предполагается аппаратура наружного размещения (АНР) с конфигурацией системы (1+0), то потери сигнала в фидерах можно принять равными $b_1 = b_2 = 2$ дБ.

Потери в открытом пространстве рассчитывают по формуле:

$$L_0 = 20 \lg \frac{4\pi R_0}{\lambda}. \quad (5.3)$$

6 РАСЧЕТ ДИАГРАММЫ УРОВНЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЯ СИГНАЛА НА ПРОЛЕТЕ

Рассмотрим упрощенную структурную схему пролета ЦРРЛ ПВ и соответствующую ей диаграмму уровней, представленную на рис. 6.1.

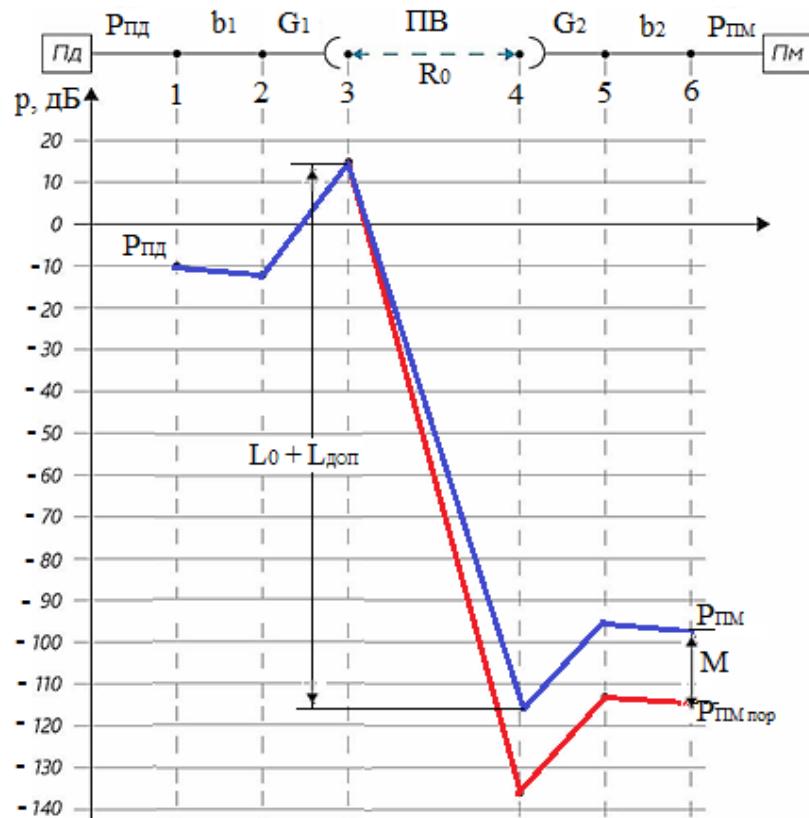


Рис. 6.1 – Пример построения диаграммы уровней сигналов на пролете

На диаграмме уровней видно, что сигнал излучается передатчиком (Π_d) с уровнем $P_{n\delta}$, проходит через фидерную линию, в котором уровень упадет за счет внутренних потерь и поступает в передающую антенну с коэффициентом усиления G_1 . За счет потерь в фидерной линии b_1 уровень сигнала еще уменьшится, а в передающей антенне увеличится на величину G_1 . При распространении сигнала на пролете РРЛ (протяженностью R_0 , на рабочей частоте f) уровень сигнала упадет за счет потерь свободного пространства (L_0) и некоторых дополнительных потерь ($L_{\text{доп}}$). Общее ослабление сигнала за счет

этих причин (V_0) может достигнуть 130-140 дБ и больше. В приемной антенне уровень сигнала увеличится на величину G_2 , затем уменьшится в приемной фидерной линии и поступит на вход приемника (Пм) с уровнем P_{nm} . Это значение получается в отсутствии замираний сигнала на пролете РРЛ. Запас на замирания (M) является разницей между пороговым значением уровня сигнала на входе приемника P_{nm} и пороговым значением $P_{nm\,nop}$, которое определяется из параметров конкретной аппаратуры ЦРРЛ для заданной величины коэффициента ошибок (10^{-3}).

Таким образом, расчет уровней сигналов (дБ) на пролете ведется для 6 точек тракта, указанных на рис. 6.1, по формулам:

- 1) $p_1 = P_{n\sigma};$
- 2) $p_2 = p_1 - b_1;$
- 3) $p_3 = p_2 + G_1;$
- 4) $p_4 = p_3 + V(80\%);$
- 5) $p_5 = p_4 + G_2;$
- 6) $p_6 = p_5 + b_2.$

В расчетах значение множителя ослабления сигнала для открытых пролетов принимают равным $V(80\%) = -6$ дБ.

Ослабление сигнала в свободном пространстве (V_0) определяется по формуле:

$$V_0 = 20 \lg \frac{\lambda}{4\pi R_0}. \quad (6.1)$$

Атмосферные возбуждения имеют воздействие на условия передачи радиолиниями прямой видимости. Принятый сигнал изменяется во времени и характеристики системы определяются вероятностью того, уровень сигнала упадет ниже порогового уровня или спектр приёмного сигнала будет сильно искажен. Известно, что входной уровень сигнала снижается ниже порогового значения только в короткие промежутки времени. В эти интервалы времени

наблюдается ухудшение характеристик системы и возможные нарушения связи. Появление замираний главным образом связано, как сказано выше, с двумя причинами: многолучевым распространением и осадками.

Чем больше запас на замирания, тем меньше вероятность того, что уровень сигнала упадет ниже порога. Таким образом, чем больше запас на замирания, тем лучше характеристики системы. Это достигается увеличением уровня входного сигнала, использованием больших антенн, снижением порогового уровня, уменьшением протяженности пролета и т.д.

На основе построенной диаграммы уровней на одном пролете ЦРРЛ ПВ рассчитывается запас на замирания (M), как разность между пороговым значением уровня сигнала на входе приемника и заданным пороговым значением:

$$M = P_{np} - P_{np\ don.}$$

Если запас на замирания спроектированной ЦРРЛ положительный, то ЦРРЛ ПВ будет работать устойчиво при изменении условий окружающей среды.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи [Текст]: учебное пособие для вузов / М. А. Быховский [и др.]; ред. М. А. Быховский. - М. : Горячая линия-Телеком, 2014. - 332 с.: табл., рис., граф.
2. Справочник по радиорелейной связи / [Н. Н. Каменский, А. М. Модель, Б. С. Надененко и др.]; Под ред. С. В. Бородича. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Радио и связь, 1981. - 415 с. : ил.; табл., граф.
3. Кокорева, Е. В., Белезекова, А. С. Основы беспроводной связи [Электронный ресурс] : учеб.-метод. пособие / Е. В. Кокорева, А. С. Белезекова ; Сиб. гос. ун-т телекоммуникаций и информатики. - Электрон. дан. (1 файл). - Новосибирск: СибГУТИ, 2015. - 70 с. : ил. - Библиогр.: с. 69. - Загл. с титул. экрана. - Электрон. версия печ. публикации. - Режим доступа: http://ellib.sibsutis.ru/ellib/2015/508_Kokoreva_E._V.Osnovy_besprovodnoj_svjazi_.pdf.
4. Основы проектирования цифровых радиорелейных линий связи. Учебное пособие для вузов [Текст] / под ред. М. А. Быховского. - М.: Горячая линия-Телеком, 2014. - 332 с. : табл., рис., граф.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Исходные данные для выполнения контрольной работы

Таблица 1
Основные показатели оборудования ЦРРЛ ПВ

№ варианта	L_{DC} , км	R_0 , км	f , ГГц	P_{no} , дБ	$P_{np\ don}$, дБ
00	120	39	2	-8	119
01	130	37	4	-3	-124
02	140	35	6	-4	-117
03	150	38	8	-7	-105
04	160	36	11	-5	-112
05	170	40	2	-8	-118
06	180	41	4	-9	-121
07	190	43	6	-7	-111
08	123	45	8	-4	-114
09	133	47	11	-5	-117
10	143	49	2	-6	-102
11	153	42	4	-9	-103
12	163	44	6	-8	-112
13	173	46	8	-7	-109
14	183	48	11	-3	-107
15	193	40	2	-4	-114
16	122	51	4	-2	-107
17	132	53	6	-3	-102
18	142	55	8	-4	-101
19	152	52	11	-7	-104
20	162	54	2	-5	-103
21	172	39	4	-8	-117
22	182	37	6	-9	-105
23	192	35	8	-7	-112
24	125	38	11	-4	-118
25	135	36	2	-5	-121
26	145	40	4	-6	-111
27	155	41	6	-9	-114
28	165	43	8	-8	-117
29	175	45	11	-7	-102
30	185	47	2	-3	-103
31	195	49	4	-4	-107
32	124	42	6	-2	-102
33	134	44	8	-3	-101
34	144	46	11	-4	-104
35	154	48	2	-7	-103
36	164	40	4	-5	-117
37	174	39	6	-7	-105
38	184	37	8	-3	-112

Продолжение табл. 1

№ варианта	L_{LC} , км	R_0 , км	f , ГГц	P_{no} , дБ	$P_{np\ don}$, дБ
39	194	35	11	-4	-118
40	126	33	2	-2	-121
41	136	34	4	-3	-111
42	146	36	6	-4	-114
43	156	38	8	-7	-117
44	166	53	11	-5	-105
45	176	55	2	-8	-103
46	186	52	4	-9	-107
47	196	54	6	-3	-102
48	127	39	8	-4	-112
49	137	37	11	-2	-118
50	147	35	2	-3	-121
51	157	38	4	-4	-111
52	167	36	6	-7	-114
53	177	40	8	-5	-117
54	187	47	11	-8	-102
55	197	49	2	-9	-103
56	128	42	4	-7	-112
57	138	44	6	-3	-109
58	148	46	8	-4	-121
59	158	48	11	-7	-111
60	168	40	2	-5	-114
61	178	51	4	-8	-110
62	188	53	6	-9	-109
63	198	55	8	-7	-102
64	121	37	11	-4	-103
65	132	35	2	-5	-107
66	141	38	4	-6	-102
67	151	36	6	-3	-112
68	161	40	8	-4	-118
69	171	41	11	-2	-121
70	181	43	2	-3	-111
71	191	45	4	-4	-114
72	111	47	6	-7	-117
73	112	49	8	-5	-102
74	113	53	11	-8	-103
75	114	55	2	-9	-117
76	115	52	4	-7	-105
77	116	54	6	-4	-102
78	117	39	8	-2	-118
79	118	37	11	-3	-121
80	119	35	2	-4	-111
81	191	38	4	-7	-114
82	192	36	6	-5	-117
83	193	40	8	-8	-108
84	194	43	11	-6	-103

Продолжение табл. 1

№ варианта	L_{LC} , км	R_0 , км	f , ГГц	P_{no} , дБ	$P_{np\,don}$, дБ
85	185	50	2	-3	-115
86	175	40	4	-4	-117
87	120	30	6	-7	-105
88	190	55	8	-5	-102
89	135	35	11	-7	-118
90	145	31	2	-9	-121
91	110	45	4	-7	-111
92	120	35	6	-4	-114
93	155	33	8	-5	-117
94	140	47	11	-6	-108
95	197	37	2	-7	-103
96	195	35	4	-8	-125
97	168	47	6	-7	-109
98	140	34	8	-5	-107
99	196	30	11	-4	-127

Таблица 2
Высотные отметки рельефа местности на пролете

№ варианта	Высотные отметки профиля (в метрах) при значениях относительной координаты k_i 0,0; 0,1; 0,2; ...; 1,0										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
00	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
01	54	18	21	51	64	82	41	34	37	38	32
02	57	37	12	54	62	77	85	32	27	16	10
03	73	48	33	18	82	78	54	42	40	39	53
04	84	29	34	49	63	89	62	45	54	27	72
05	55	29	35	50	87	64	52	18	10	15	47
06	46	25	36	51	66	81	74	58	33	27	34
07	67	32	37	82	57	42	29	18	14	31	59
08	28	43	28	53	68	51	39	44	18	27	36
09	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
10	94	25	40	55	70	55	33	42	16	10	87
11	71	36	49	69	93	86	72	49	39	23	65
12	82	27	42	57	72	69	73	89	14	27	67
13	53	68	73	63	55	44	33	85	48	68	59
14	64	46	59	40	74	89	52	47	39	38	60
15	72	54	47	59	69	74	31	56	30	42	69
16	84	29	34	49	63	89	62	45	54	27	72
17	55	29	35	50	87	64	52	18	10	15	47
18	46	25	36	51	66	81	74	58	33	27	34
19	67	32	37	82	57	42	29	18	14	31	59
20	28	43	28	53	68	51	39	44	18	27	36
21	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
22	94	25	40	55	70	55	33	42	16	10	87
23	71	36	49	69	93	86	72	49	39	23	65
24	82	27	42	57	72	69	73	89	14	27	67

Продолжение табл. 2

№ варианта	Высотные отметки профиля (в метрах) при значениях относительной координаты k_i : 0,0; 0,1; 0,2; ...; 1,0										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	25	53	68	73	63	55	44	33	85	48	68
26	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
27	54	18	21	51	64	82	41	34	37	38	32
28	57	37	12	54	62	77	85	32	27	16	10
29	73	48	33	18	82	78	54	42	40	39	53
30	84	29	34	49	63	89	62	45	54	27	72
31	55	29	35	50	87	64	52	18	10	15	47
32	46	25	36	51	66	81	74	58	33	27	34
33	67	32	37	82	57	42	29	18	14	31	59
34	28	43	28	53	68	51	39	44	18	27	36
35	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
36	82	27	42	57	72	69	73	89	14	27	67
37	53	68	73	63	55	44	33	85	48	68	59
38	64	46	59	40	74	89	52	47	39	38	60
39	72	54	47	59	69	74	31	56	30	42	69
40	84	29	34	49	63	89	62	45	54	27	72
41	55	29	35	50	87	64	52	18	10	15	47
42	46	25	36	51	66	81	74	58	33	27	34
43	67	32	37	82	57	42	29	18	14	31	59
44	28	43	28	53	68	51	39	44	18	27	36
45	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
46	28	43	28	53	68	51	39	44	18	27	36
47	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
48	94	25	40	55	70	55	33	42	16	10	87
49	71	36	49	69	93	86	72	49	39	23	65
50	82	27	42	57	72	69	73	89	14	27	67
51	53	68	73	63	55	44	33	85	48	68	59
52	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
53	54	18	21	51	64	82	41	34	37	38	32
54	57	37	12	54	62	77	85	32	27	16	10
55	73	48	33	18	82	78	54	42	40	39	53
56	73	48	33	18	82	78	54	42	40	39	53
57	84	29	34	49	63	89	62	45	54	27	72
58	55	29	35	50	87	64	52	18	10	15	47
59	46	25	36	51	66	81	74	58	33	27	34
60	67	32	37	82	57	42	29	18	14	31	59
61	28	43	28	53	68	51	39	44	18	27	36
62	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
63	94	25	40	55	70	55	33	42	16	10	87
64	71	36	49	69	93	86	72	49	39	23	65
65	82	27	42	57	72	69	73	89	14	27	67
66	94	25	40	55	70	55	33	42	16	10	87
67	71	36	49	69	93	86	72	49	39	23	65
68	82	27	42	57	72	69	73	89	14	27	67
69	53	68	73	63	55	44	33	85	48	68	59
70	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62

Продолжение табл. 2

№ варианта	Высотные отметки профиля (в метрах) при значениях относительной координаты k_i : 0,0; 0,1; 0,2; ...; 1,0										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
71	54	18	21	51	64	82	41	34	37	38	32
72	57	37	12	54	62	77	85	32	27	16	10
73	73	48	33	18	82	78	54	42	40	39	53
74	73	48	33	18	82	78	54	42	40	39	53
75	84	29	34	49	63	89	62	45	54	27	72
76	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
77	82	27	42	57	72	69	73	89	14	27	67
78	53	68	73	63	55	44	33	85	48	68	59
79	64	46	59	40	74	89	52	47	39	38	60
80	72	54	47	59	69	74	31	56	30	42	69
81	84	29	34	49	63	89	62	45	54	27	72
82	55	29	35	50	87	64	52	18	10	15	47
83	46	25	36	51	66	81	74	58	33	27	34
84	67	32	37	82	57	42	29	18	14	31	59
85	54	18	21	51	64	82	41	34	37	38	32
86	57	37	12	54	62	77	85	32	27	16	10
87	73	48	33	18	82	78	54	42	40	39	53
88	84	29	34	49	63	89	62	45	54	27	72
89	55	29	35	50	87	64	52	18	10	15	47
90	46	25	36	51	66	81	74	58	33	27	34
91	67	32	37	82	57	42	29	18	14	31	59
92	28	43	28	53	68	51	39	44	18	27	36
93	39	64	39	54	69	84	17	24	33	54	62
94	94	25	40	55	70	55	33	42	16	10	87
95	71	36	49	69	93	86	72	49	39	23	65
96	82	27	42	57	72	69	73	89	14	27	67
97	53	68	73	63	55	44	33	85	48	68	59
98	64	46	59	40	74	89	52	47	39	38	60
99	72	54	47	59	69	74	31	56	30	42	69

