

Министерство образования и науки Украины
Севастопольский национальный технический университет

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ
к выполнению контрольной работы
по дисциплине «Наземные и космические системы связи»
для студентов заочной формы обучения
специальности «Радиотехника» (7.05090101 и 8.05090101)

Севастополь

2013

Методические указания к выполнению контрольной работы по дисциплине «Наземные и космические системы связи» для студентов для студентов заочной формы обучения специальности «Радиотехника» (7.05090101 и 8.05090101) / Сост. А.А. Савочкин. — Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013. — 20 с.

Целью методических указаний является оказание помощи студентам заочной формы обучения в изучении теоретического материала и выполнении контрольной работы.

Методические указания предназначены для студентов специальности 7.05090101 и 8.05090101 — «Радиотехника» заочной формы обучения.

Методические рекомендации утверждены на заседании кафедры радиотехники и телекоммуникаций «27» августа 2013 года, протокол № 1.

Рецензент: профессор кафедры радиотехники и телекоммуникаций, д-р техн. наук И.Л. Афонин

Ответственный за выпуск: заведующий кафедрой радиотехники и телекоммуникаций, д-р техн. наук, профессор Ю.Б. Гимпилевич

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	4
1. Анализ режима работы пролета радиорелейной линии	5
2. Расчет статистических характеристик множителя ослабления на интервале радиорелейной линии	11
3. Определение минимально допустимого значения для множителя ослабления радиорелейной линии.....	15
4. Разработка структуры системы связи.....	18
Библиографический список.....	20

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Наземные и космические системы связи» (НКСС) является одной из специальных дисциплин в системе высшего радиотехнического образования, завершающих подготовку по специальности 7.05090101 — «Радиотехника» (специалисты) и по специальности 8.05090101 — «Радиотехника» (магистры).

Дисциплина НКСС завершает единую теоретическую базу, изученную студентами в курсах «Информационные радиосистемы» и «Радиотехнические системы». Цель дисциплины НКСС заключается в изучении основных направлений в развитии современных систем связи и овладении методами анализа и синтеза систем связи различного назначения. Этой цели подчинен подбор материала и порядок его изучения.

В результате изучения дисциплины студент должен знать: принципы построения и расчета современных систем связи (радиорелейных линий прямой видимости (РЛЛ), линий дальнего тропосферного распространения (ДТР), космических систем связи, систем оптической связи, систем подвижной связи), осуществляющих передачу сообщений в аналоговой и цифровой форме.

В результате изучения дисциплины НКСС студент должен уметь: определять структуру и технические параметры систем связи исходя из заданных требований; ориентироваться в особенностях использования и проектирования систем связи различного назначения с учетом требований электромагнитной совместимости; умело пользоваться справочной литературой при разработке систем связи и их отдельных элементов.

Целью выполнения контрольной работы является углубление знаний о современных системах связи, овладение методикой расчета основных технических показателей радиорелейных, космических и оптических линий связи.

Контрольная работа состоит из трех контрольных заданий и одного теоретического вопроса.

Выполняется контрольная работа по вариантам. Номер варианта определяется номером индивидуального плана (зачетной книжки) студента (m и n — две последние цифры номера индивидуального плана). Каждый студент выполняет один вариант задания.

Контрольная работа должна содержать исходные данные по расчету, методику расчета, промежуточные и итоговые результаты. В конце каждого задания помещаются выводы по проделанной работе и рекомендации по практическому применению полученных результатов.

Список необходимой для изучения дисциплины литературы приведен в библиографическом списке данных методических указаний.

1. АНАЛИЗ РЕЖИМА РАБОТЫ ПРОЛЕТА РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ

Задание посвящено расчету интервала радиорелейной линии связи прямой видимости. При выполнении задания необходимо рассчитать статистические характеристики множителя ослабления на интервале РРЛ для заданного климатического района. Геометрия интервала и рабочая длина волны λ определяются по таблице 1.1 исходных данных, где L — протяженность интервала (пролета); L_1 — расстояние от передатчика до препятствия; h_1 — высота расположения передающей антенны над уровнем моря; h_2 — то же для приемной антенны; H_1 — высота препятствия; R — коэффициент отражения от подстилающей поверхности. Среднее значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы g и его стандартное отклонение σ_e для климатического района, номер которого n совпадает с последней цифрой номера индивидуального плана (зачетной книжки), определяется из таблицы 1.2.

Таблица 1.1 — Характеристики пролета РРЛ

n	L , км	L_1 , км	H_1 , м	m	h_1 , м	h_2 , м	l , м	R
1	50	25	200	1	150	250	0,8	0,9
2	55	30	150	2	300	150	0,6	0,8
3	65	35	150	3	100	400	0,14	0,7
4	47	15	100	4	250	100	0,1	0,6
5	45	20	300	5	200	300	0,2	0,7
6	55	30	150	6	100	160	0,15	0,5
7	60	40	400	7	300	500	0,1	0,3
8	70	23	190	8	150	450	0,25	0,7
9	80	50	200	9	200	120	0,1	0,8
0	44	20	100	0	80	160	0,3	0,9

Следует отметить, что при длине пролета L менее 50 км стандартное отклонение σ_e отличается от приведенного в таблице 1.2 значения и должно определяться по формуле

$$\sigma_e(L) = \left(10 \cdot 10^{-8} + \frac{g}{3,1} \right) \left(\frac{1}{y} - 1 \right) + \frac{\sigma_e}{y},$$

где величина y определяется в соответствии с рис. 1.1.

Таблица 1.2 — Параметры статистического распределения вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы

n	Климатический район	Среднее значение $\bar{g}$, 1/м	Стандартное отклонение s , 1/м
1	Север и Запад европейской территории России (Кольский полуостров, Карелия, Коми, Архангельская обл.), Прибалтика, Белоруссия	$-9 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-8}$
2	Центральные области европейской территории России.	$-1,2 \cdot 10^{-8}$	$8 \cdot 10^{-8}$
3	Украина, Молдавия (за исключением приморских районов), Юго-запад европейской территории России (Курская обл., Воронежская обл.).	$-9 \cdot 10^{-8}$	$7,5 \cdot 10^{-8}$
4	Степные районы Крыма, Поволжья, Дона, Краснодарского и Ставропольского края.	$-8 \cdot 10^{-8}$	$8,5 \cdot 10^{-8}$
5	Оренбургская область и прилегающие районы юго-востока европейской территории России.	$-6 \cdot 10^{-8}$	$7 \cdot 10^{-8}$
6	Район Прикаспийской низменности	$-13 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$
7	Прикаспийские районы Средней Азии и Апшеронский полуостров	$-11 \cdot 10^{-8}$	$11 \cdot 10^{-8}$
8	Пустынные районы южного Казахстана	$-6 \cdot 10^{-8}$	$10 \cdot 10^{-8}$
9	Степная полоса южной Сибири и Казахстана	$-7 \cdot 10^{-8}$	$9 \cdot 10^{-8}$
0	Средняя полоса Западно-Сибирской низменности	$-10 \cdot 10^{-8}$	$9 \cdot 10^{-8}$

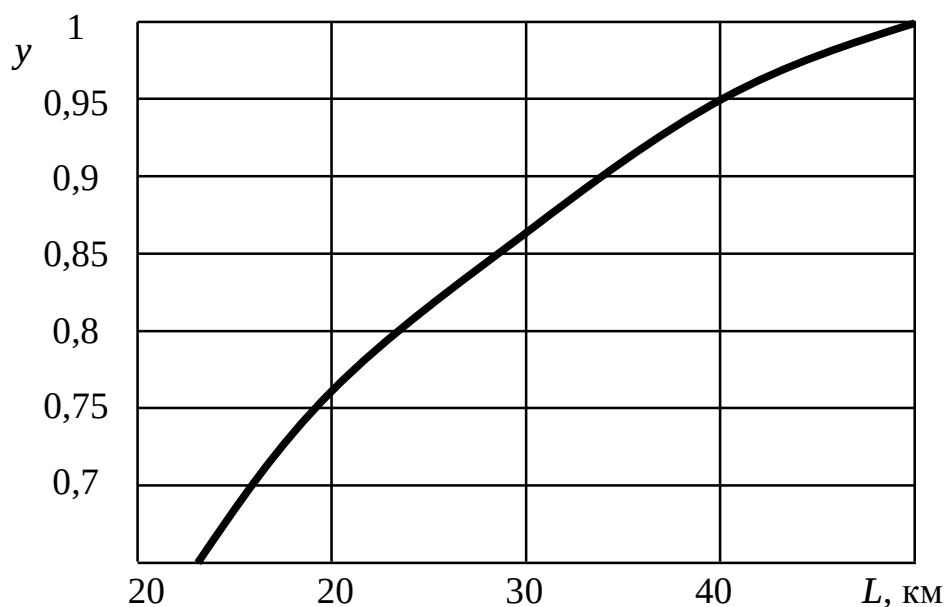


Рис. 1.1 — Зависимость параметра y от протяженности пролета

Профилем пролета называется вертикальный разрез местности между двумя соседними радиорелейными станциями с учетом леса, строений, особенностей рельефа и др. Пример такого профиля показан на рис. 1.2.

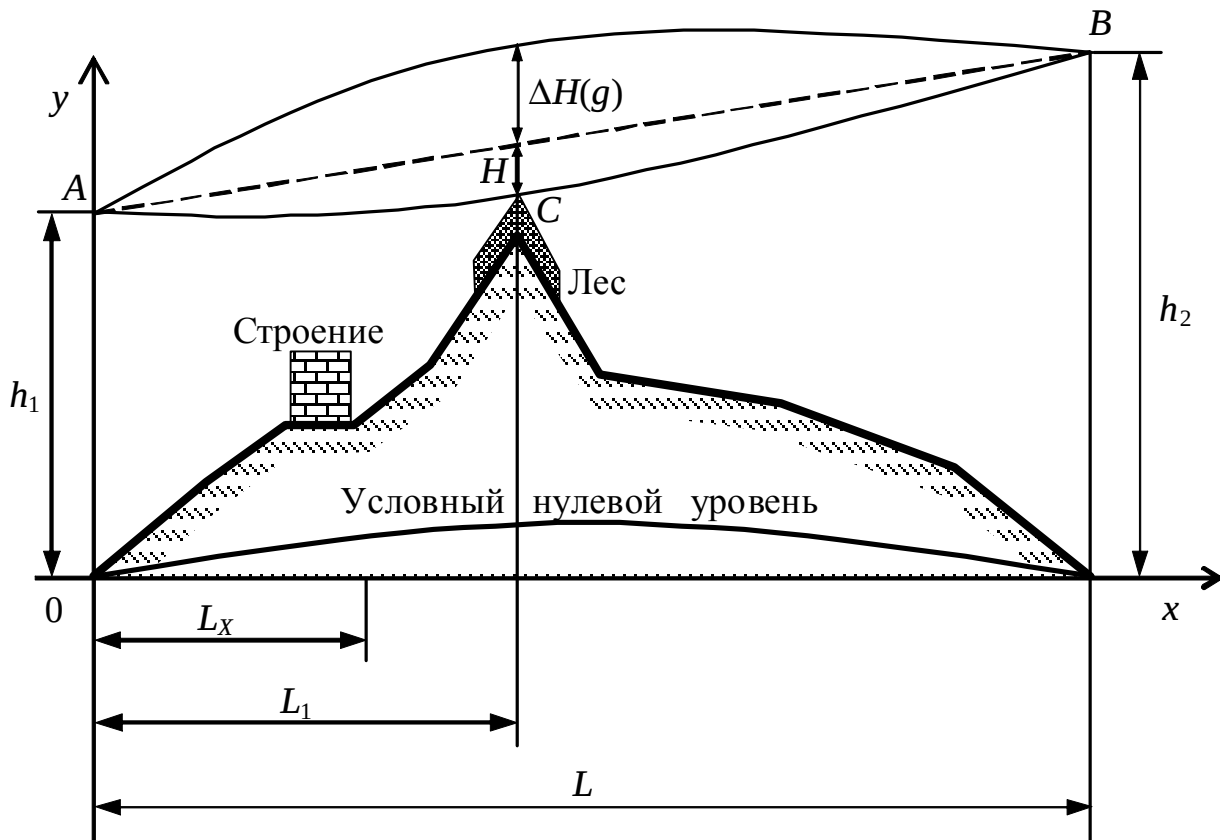


Рис. 1.2 — Пример профиля трассы РРЛ

Строится профиль трассы обычно в прямоугольной системе координат. Сначала вдоль оси абсцисс откладывается отрезок, соответствующий в принятом масштабе длине пролета L . Затем, чтобы учесть общую форму земной поверхности, строится линия, изображающая уровень моря. Она достаточно точно аппроксимируется параболой

$$Y = \frac{X \cdot (L - X)}{2 \cdot R_3},$$

где $R_3 = 6370$ км — радиус Земли.

От условного нулевого уровня откладывают по вертикали высотные отметки препятствий. Концы указанных отрезков соединяют ломаной линией.

Механизм распространения радиоволн на участке от передающей антенны (точка A) до приемной (точка B) существенно зависит от величины просвета H между линией «прямой видимости» AB , соединяющей центры антенн, и ближайшей к ней (по вертикали) точкой препятствия C .

При этом можно выделить три основные группы пролетов (для некоторого фиксированного состояния тропосферы):

- 1) открытые, когда $H_0 \leq H$;
- 2) полуоткрытые, когда $0 \leq H < H_0$;
- 3) закрытые, когда $H < 0$.

Через H_0 здесь обозначен просвет, при котором в точке приема векторная сумма напряженности поля прямого и отраженного сигналов равна напряжен-

ности поля в свободном пространстве ($V = 1$). Величина H_0 называется оптимальным просветом. В общем случае оптимальный просвет определяется по формуле

$$H_0 = \sqrt{\frac{L \lambda K_1 (1 - K_1)}{3}},$$

где $K_1 = L_1/L$ — относительная координата точки препятствия C .

Профиль пролета позволяет учесть влияние Земли на процесс распространения радиоволн. В частности, с помощью профиля можно получить представление об отражении радиоволн от поверхности Земли. Но в целом характер передачи сигналов на участке AB будет приближенным, если не учесть влияние тропосферы. При этом здесь основную роль играет неоднородность тропосферы в вертикальной плоскости. Рефракцию учитывают тем, что в величину просвета над определяющими точками профиля вносится поправка

$$\Delta H(g) = \frac{-L^2 g K_1 (1 - K_1)}{4},$$

где g — эффективный вертикальный градиент диэлектрической проницаемости воздуха.

При изменении метеорологических условий на пролете изменяется величина $H(g) = H + \Delta H(g)$, что может привести к резким колебаниям множителя ослабления.

На открытых трассах ($H_0 \leq H$) напряженность поля в точке приема определяется в основном интерференцией прямой и отраженных от земной поверхности волн. В случае одной отраженной волны множитель ослабления для реальных условий можно представить в виде

$$V = \sqrt{1 + R^2 - 2 R \cdot \cos\left(p^2(g) \cdot \frac{\pi}{3}\right)},$$

где $p(g) = H(g) / H_0 = (H + \Delta H(g)) / H_0$ — относительный (нормированный) просвет.

Зависимость V от $p(g)$ показана на рис. 1.4. Интерференционные максимумы множителя ослабления имеют место при

$$p(g) = \sqrt{3(2m - 1)},$$

где m — номер максимума, а интерференционные минимумы — при

$$p(g) = \sqrt{6n},$$

где n — номер минимума.

На полуоткрытых и закрытых пролетах, где $p(g) < 1$, уровень поля в точке приема обусловлен главным образом процессом дифракции радиоволн, т.е. сгибанием ими земной поверхности. Множитель ослабления в этом случае рассчитывается на основе приближенных методов, с применением аппроксимации реального препятствия частью сферической поверхности.

Прежде чем найти V , необходимо определить вспомогательный параметр μ , характеризующий радиус кривизны сферы, аппроксимирующей препятствие. Величина хорды препятствия d определяется в соответствии с рис. 1.3 для заданной геометрии пролёта РРЛ.

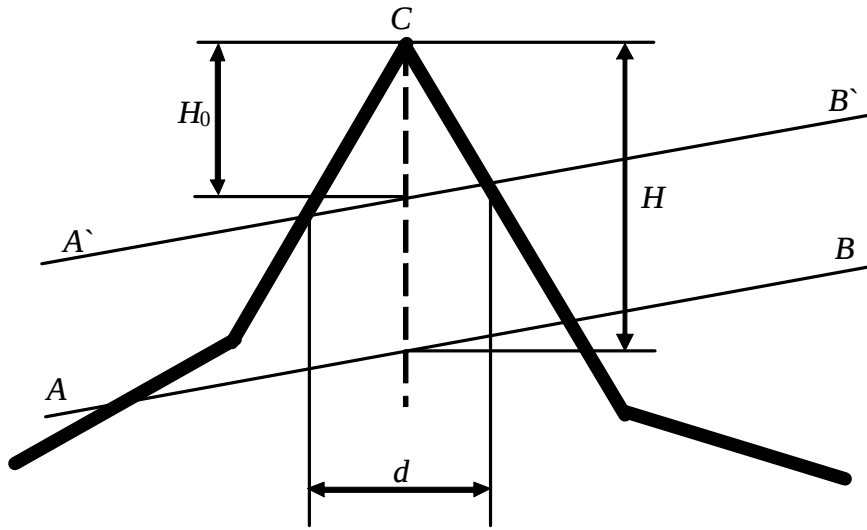


Рис. 1.3 — К определению параметра d

Для пролетов, имеющих среднюю протяженность и одно препятствие, во многих случаях можно руководствоваться приближенным значением V определяемым из графиков рис. 1.4, полагая, что

$$\mu = 2 \sqrt[3]{\frac{K_1^2 (1 - K_1)^2}{S^2}},$$

где $S = d / L$ (см. рис. 1.3).

Для выполнения задания необходимо предварительно изучить материалы, проведенные выше и в [1] на С. 115-119. Расчёты рекомендуется выполнять в следующем порядке:

- 1) Построить профиль трассы с учетом кривизны Земли для заданной по варианту геометрии.
- 2) Из профиля определить просвет H при нулевом значении градиента коэффициента преломления g тропосферы.
- 3) Рассчитать величину оптимального просвета H_0 .
- 4) Рассчитать зависимость изменения просвета ΔH и относительного просвета $p(g)$ от градиента диэлектрической проницаемости g , задавая значения g от величины превышаемой в течение 99,9 % до 0,1 % времени наблюдения, что соответствует значениям g в пределах $\bar{g} \pm 3,3\sigma$.
- 5) По результатам расчёта $p(g)$ определить, к какой группе относится рассматриваемая трасса:
 - а) при $P(g_e) \geq 1$ — трасса открытая;
 - б) при $0 \leq P(g_e) < 1$ — полуоткрытая;
 - в) при $P(g_e) < 0$ — закрытая.

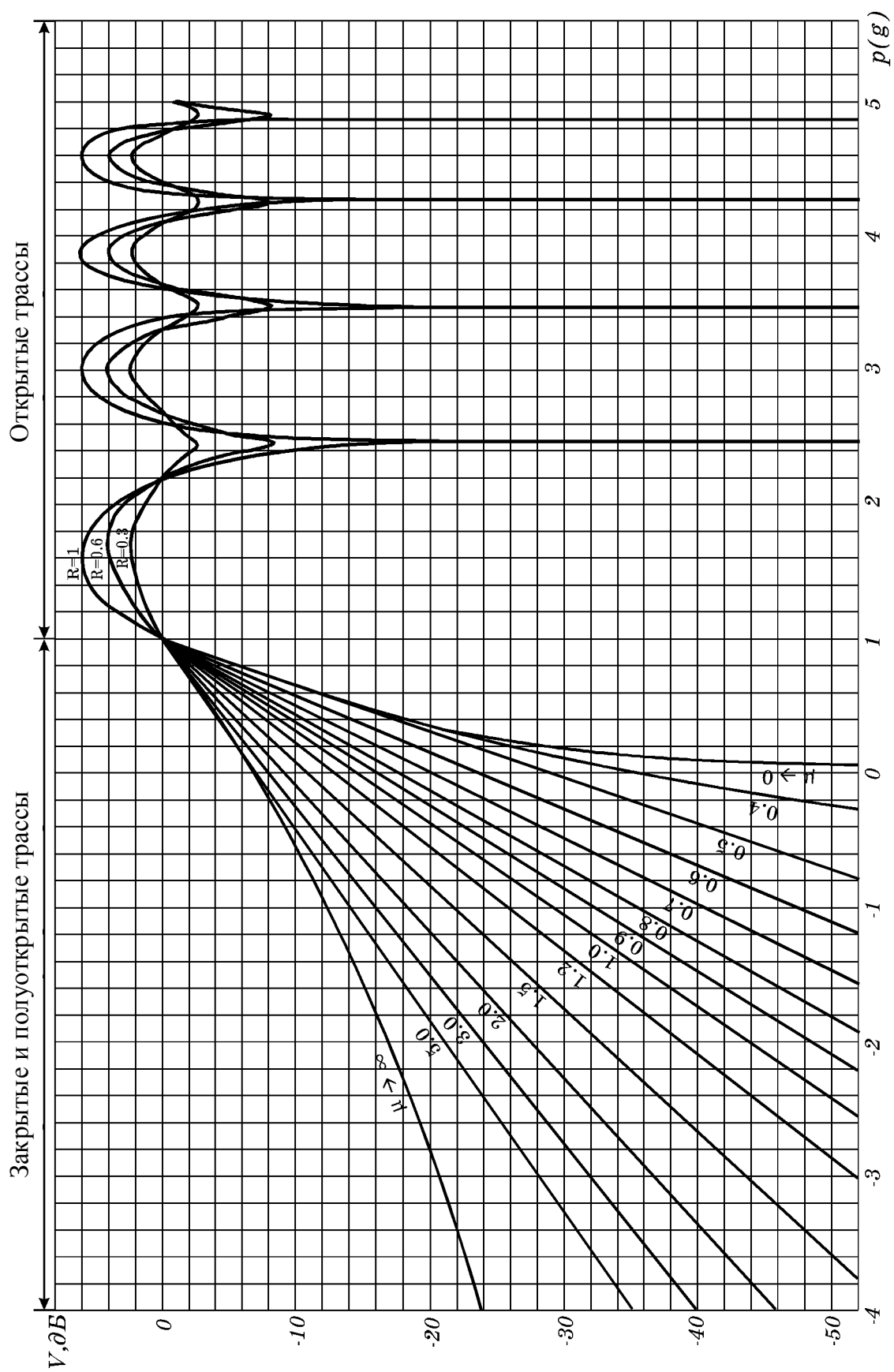


Рис. 1.4 — Зависимость множителя ослабления от относительного просвета

Возможны случаи, когда с изменением g меняется характер трассы, например, при алгебраическом увеличении g открытая прежде трасса может стать полуоткрытой или даже закрытой.

6) Рассчитать множитель ослабления $V(g)$ для выбранного ранее ряда значений g . Для случая открытой трассы нужно пользоваться интерференционной формулой, для полуоткрытой и закрытой трасс — использовать приближённые методы, основанные на теории дифракции (см. выше).

7) Построить зависимость $V(g)$ для изменения g в пределах $\bar{g} \pm 3,3\sigma$.

8) Сделать подробные выводы по работе, в которых указать возможные рекомендации по изменению геометрии трассы для улучшения энергетического режима РРЛ.

2. РАСЧЕТ СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МНОЖИТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ НА ИНТЕРВАЛЕ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ

При выполнении задания необходимо рассчитать статистические характеристики множителя ослабления на интервале РРЛ для заданного климатического района. Все необходимые для расчета данные берутся из первого задания.

Как видно из результатов выполнения первого задания, множитель ослабления может изменяться в широких пределах. Для оценки устойчивости связи необходимо знать статистические характеристики множителя ослабления на РРЛ (одной из важнейших является интегральный закон распределения).

Принцип построения интегрального закона удобно рассмотреть на примере для наиболее общего случая, когда зависимость $V(g)$ является многозначной функцией см. рис. 2.1, а).

Интегральный закон распределения (или интегральная функция распределения) множителя ослабления $P(Z) = P(V < Z)$, определяющий вероятность того, что множитель ослабления V при случайных изменениях градиента коэффициента преломления воздуха g принимает значения меньше Z , можно получить графическим методом.

Исходим из известного для данной трассы нормального закона распределения градиента g коэффициента преломления тропосферы

$$w(g) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left(-\frac{(g - \bar{g})^2}{2\sigma^2}\right). \quad (1)$$

При построении графика $w(g)$ (см. рис. 2.1, б) удобно использовать характерные точки:

$$\text{при } g = \bar{g} \quad w(g) = w_{\max} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma};$$

$$g = \bar{g} + \sigma \quad w(g) = \frac{w_{\max}}{\sqrt{e}} \sim 0,6 w_{\max};$$

$$g = \bar{g} + 2\sigma \quad w(g) = \frac{w_{\max}}{e^2} \sim 0,14 w_{\max};$$

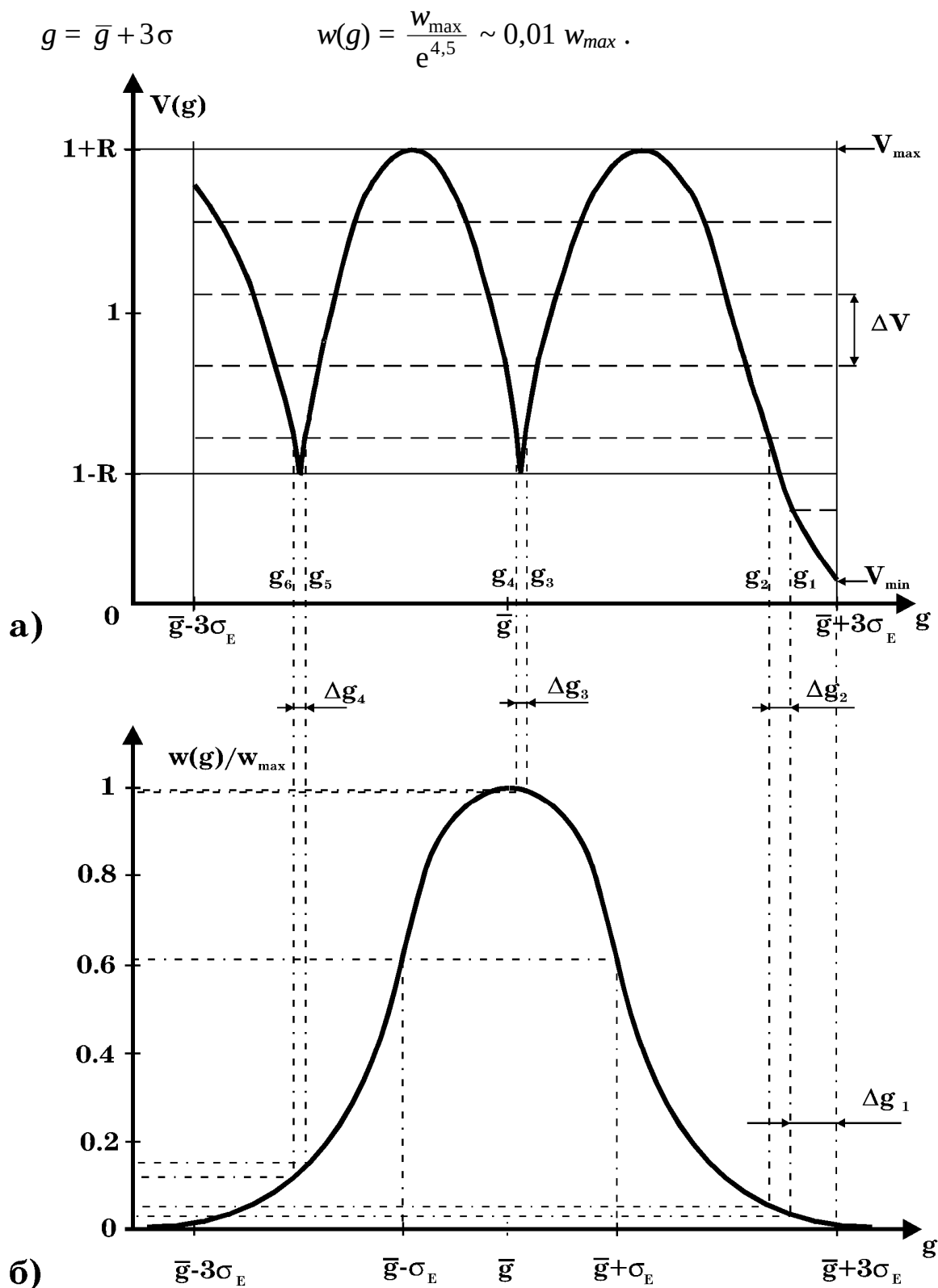


Рис. 2.1 — Пример зависимости множителя ослабления $V(g)$

Используя графики на рис. 2.1, построим гистограмму (дифференциальный закон) множителя ослабления $w(V)$. Для этого разобьем диапазон изменения множителя ослабления от $V_{\min}$ до $V_{\max}$ на 5...10 интервалов с равным шагом ΔV (см. рис. 2.1, б).

Вероятность попадания V в интервал от V_{min} до $V_{min} + \Delta V$ в данном примере равна вероятности попадания g в интервал от g_1 до $(\bar{g} + 3\sigma)$ (см. рис. 2.1), которую можно определить как площадь трапеции

$$P(V_{min} < V < V_{min} + \Delta V) \approx w_1(g) \Delta g_1,$$

где $w_1(g) = w\left(\frac{g_1 + \bar{g} + 3\sigma}{2}\right)$ — средняя высота трапеции;

$$\Delta g_1 = \frac{\bar{g} + 3\sigma - g_1}{2} \text{ — ширина (величина основания) трапеции.}$$

Используя (1), найдем плотность вероятности $w_1(V)$:

$$w_1(V) = w\left(V_{min} + \frac{\Delta V}{2}\right) \approx \frac{P(V_{min} \leq V \leq V_{min} + \Delta V)}{\Delta V}.$$

Вероятность попадания V в интервал от $(V_{min} + \Delta V)$ до $(V_{min} + 2\Delta V)$ равна сумме трех слагаемых:

$$P(V_{min} + \Delta V < V < V_{min} + 2\Delta V) = w_2(g) \Delta g_2 + w_3(g) \Delta g_3 + w_4(g) \Delta g_4,$$

где $w_2(g) = w\left(\frac{g_1 + g_2}{2}\right)$; $\Delta g_2 = g_1 - g_2$; $w_3(g) = w\left(\frac{g_3 + g_4}{2}\right)$; $\Delta g_3 = g_3 - g_4$;

$$w_4(g) = w\left(\frac{g_5 + g_6}{2}\right); \Delta g_4 = g_5 - g_6, \quad w_2(V) = \frac{P(V_{min} + \Delta V \leq V \leq V_{min} + 2\Delta V)}{\Delta V}.$$

Проводя аналогичные построения, получаем зависимость плотности распределения вероятностей $w(v)$ для множителя ослабления в виде, показанном на рис. 2.2.

Интегральный закон $F(v)$, соответствующий плотности распределения $w(v)$, приведен на рис. 2.3. Вероятность того, что множитель ослабления будет меньше V_{max} , определяется площадью фигуры, ограниченной контуром гистограммы $w(V)$, и практически равна единице. Вероятность $P(V < V_{max} - \Delta V)$ меньше единицы на величину, равную отношению затемненной площадки (см. рис. 2.2) к площади всей фигуры.

Остальные точки зависимости $F(z)$ определяются аналогично рассмотренному выше случаю.

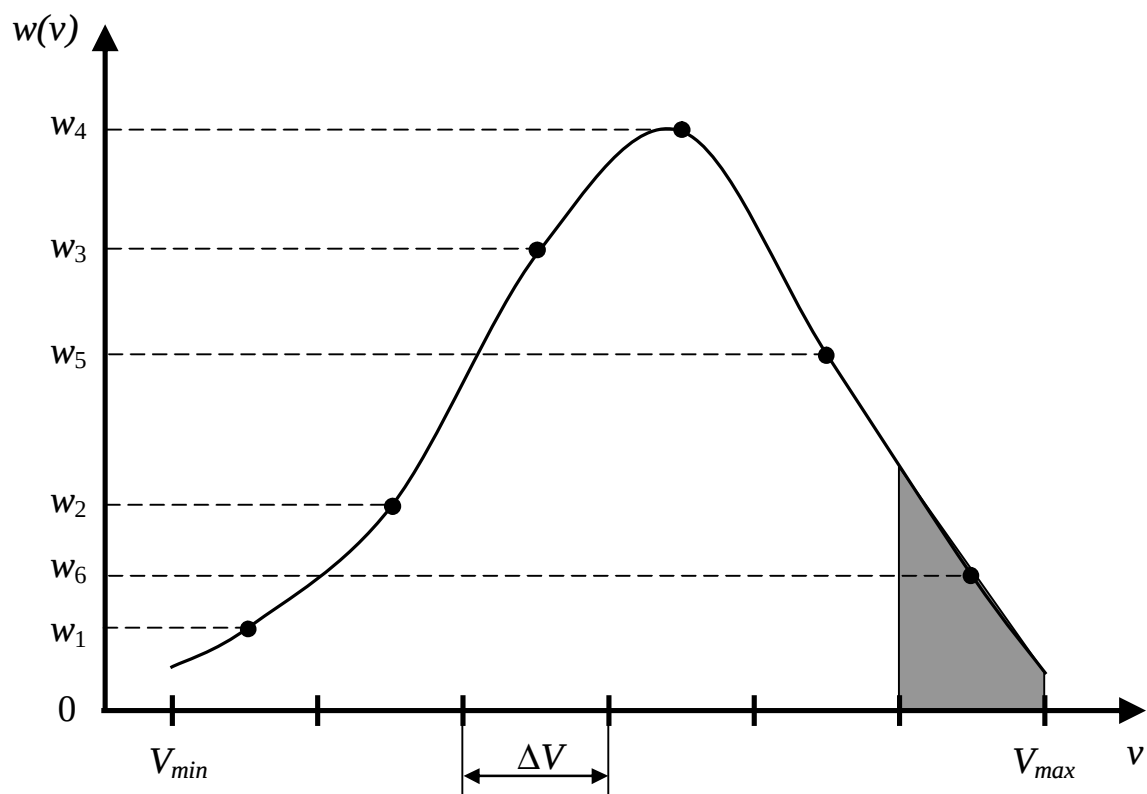


Рис. 2.2 — Зависимость плотности распределения вероятностей $w(V)$ для множителя ослабления

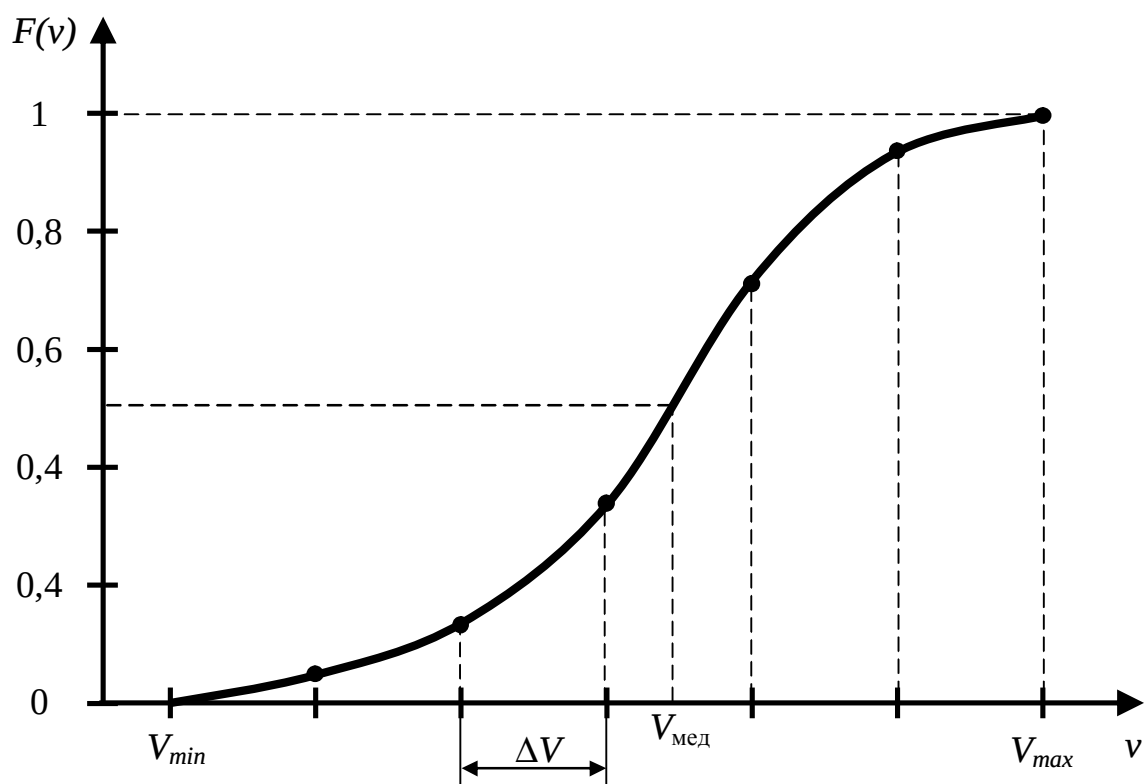


Рис. 2.3 — Интегральный закон множителя ослабления

По графику интегрального закона определяется медианное значение множителя ослабления $V_{\text{мед}}$, которое соответствует 50-процентной вероятности превышения этой величины.

Для выполнения задания необходимо предварительно изучить материалы, проведенные выше. Расчёты рекомендуется выполнять в следующем порядке:

1) На основании результатов выполнения задания построить график изменения множителя ослабления как функцию вертикального градиента диэлектрической проницаемости атмосферы. Множитель ослабления на графике откладывать в относительных единицах

2) Произвести необходимые вычисления и построить гистограмму множителя ослабления.

3) Произвести необходимые вычисления и построить интегральный закон распределения множителя ослабления $P(Z) = P(V < Z)$.

4) Определить медианное значение множителя ослабления.

5) Сделать подробные выводы по работе, в которых охарактеризовать полученные результаты точки зрения надежности связи и указать возможные рекомендации по изменению геометрии трассы для улучшения энергетического режима РРЛ.

3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНО ДОПУСТИМОГО ЗНАЧЕНИЯ ДЛЯ МНОЖИТЕЛЯ ОСЛАБЛЕНИЯ РАДИОРЕЛЕЙНОЙ ЛИНИИ

При выполнении задания необходимо рассчитать минимально допустимое значение V_{min} множителя ослабления при работе на интервале РРЛ, рассмотренном в заданиях 1 и 2, с использованием стандартных каналов для передачи телефонных и телевизионных сообщений методом частотного разделения каналов (ЧРК) и частотной модуляции (ЧМ) с заданным качеством связи.

Под минимально допустимым значением V_{min} множителя ослабления понимается такое значение множителя ослабления, при котором суммарная мощность помех $P_{\text{п. вых}}$ или отношение эффективного взвешенного напряжения теплового шума на выходе канала к напряжению сигнала $(V_{\text{T}}/V_{\text{p}})^2$ в канале на конце линии равны максимально допустимым значениям $P_{\text{п. вых. max}}$ или $(V_{\text{T}}/V_{\text{p}})^2_{\text{max}}$.

При передаче многоканальных сообщений в качестве такой нормы принята мощность $P_{\text{п. вых. max}} = 47500$ пВт, превышаемая в течение не более 0,1 % времени. Возрастание мощности помех до этой величины происходит при глубоких замираниях сигнала.

Как показали исследования, вероятность глубоких замираний, наблюдаемых в течение примерно 0,1% времени одновременно на разных пролетах, очень мала. Поэтому при расчетах можно принять, что если такое замирание возникает на одном из пролетов, то на других оно отсутствует. Значительное возрастание мощности $P_{\text{п. вых}}$ при глубоком замирании на i -том пролете (когда уменьшается $P_{\text{п. вх } i}$) происходит за счет увеличения мощности тепловых шумов $P_{\text{T } i}$. Мощность помех (в том числе и тепловых шумов, вносимых другими пролетами) составляет примерно 7500 пВт. Таким образом, за допустимую мощ-

ность тепловых шумов при глубоком замирании на одном пролете можно принять величину $P_{T \max} = 47500 - 7500 = 40000$ пВт.

В основе расчета величины $V_{\min}$ лежит связь между психофотметрической мощностью тепловых шумов $P_{T \text{ тлф}}$ в телефонном канале (ТК) с номером i и мощностью сигнала $P_{c \text{ вх}}$ на входе интервала РРЛ с ЧРК и ЧМ. Величина мощности тепловых шумов определяется выражением

$$P_{T \text{ тлф}} = [k \cdot T \cdot \Pi \cdot \Delta F_i k_{\Pi}^2 y_{Bi} (F_i / \Delta f_i)^2 / P_{c \text{ вх } i}] \cdot 10^9 \text{ пВт},$$

где ΔF_i — полоса частот i -го ТК ($\Delta F_i = 4$ кГц); k_{Π}^2 — психофотметрический коэффициент ($k_{\Pi}^2 = 0,56$); y_{Bi} — коэффициент, учитывающий изменение мощности тепловых шумов в ТК, обусловленное включением после частотного детектора восстанавливающего фильтра; F_i — частота i -го ТК в групповом спектре; Δf_i — эффективная девиация частоты на канал; $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Вт/(Гц·град) — постоянная Больцмана; T — температура входных цепей приемного устройства; Π — шум-фактор приемника.

Величина минимально допустимого значения множителя ослабления в случае ТК рассчитывается по формуле:

$$V_{\min TK}^2 = \frac{k T \Pi \Delta F_i k_{\Pi}^2 A_{CB0}}{P_{T \max} P_A G_A G_B h_A h_B} \left(\frac{F_i}{\Delta f_i} \right)^2 y_{Bi},$$

где $A_{CB0} = \left(\frac{4\pi L}{l} \right)^2$ — ослабление сигнала в свободном пространстве; P_A — мощность передатчика; G_A — коэффициент усиления передающей антенны; G_B — коэффициент усиления приемной антенны; η_A — КПД антенно-фидерного тракта передатчика; η_B — КПД антенно-фидерного тракта приемника; $P_{T \max}$ — допустимую мощность тепловых шумов при глубоком замирании на одном пролете; F_i — частота верхнего ТК, она определяется, исходя из нижней границы $F_{грн}$ полосы частот группового спектра телефонного ствола и ёмкости $n_{\text{тлф}}$ телефонного ствола.

Расчет $V_{\min \text{ тв}}$ для телевизионных сообщений может быть выполнен аналогично $V_{\min \text{ тлф}}$. Для удобства в подобных расчетах пользуются понятиями коэффициентов системы телефонного $K_{\text{тлф}}$ и телевизионного $K_{\text{тв}}$ стволов. Эти коэффициенты интегрально характеризуют параметры аппаратуры, определяющие отношение сигнал/шум на выходе каналов. Выражения для $K_{\text{тлф}}$ и $K_{\text{тв}}$ можно получить из уравнений передачи [1].

Соотношения для расчета $K_{\text{тлф}}$ и $K_{\text{тв}}$, имеют следующий вид:

$$K_{\text{тлф}} = \frac{P_A \left(\frac{\Delta f_i}{F_i} \right)^2}{k T \Pi \Delta F_i k_{\Pi}^2 y_{Bi}}, \quad K_{\text{тв}} = \frac{1,5 P_A \left(\frac{\Delta f}{F_B} \right)^2}{k T \Pi F_B k_B^2},$$

где $\Delta f = 8$ МГц — полоса частот, соответствующая размаху полного телевизионного сигнала; F_B — верхняя частота в спектре сигнала изображения ($F_B =$

6 МГц); k_b — визометрический коэффициент (при равномерно спектре помех и шумов $k_b = 0,389$); (расчет $K_{\text{тлф}}$ и $V_{\text{min тлф}}$ целесообразно проводить для верхнего ТК, где мощность шума максимальна, в этом случае $y_{bi} = 0,4$).

Используя значения $K_{\text{тлф}}$ и $K_{\text{тв}}$ и рекомендаций Международного союза электросвязи, можно вычислить V_{min} для телефонного и телевизионного каналов:

$$V_{\text{min тлф}} [\text{дБ}] \approx 44 + A_{\text{св 0}} - G_A - G_B - K_{\text{тлф}} [\text{дБ}] + a_A + a_B,$$

$$V_{\text{min тв}} [\text{дБ}] \approx 49 + A_{\text{св 0}} - G_A - G_B - K_{\text{тв}} [\text{дБ}] + a_A + a_B,$$

где $K_{\text{тлф}} [\text{дБ}] = 10 \lg K_{\text{тлф}}$, $K_{\text{тв}} [\text{дБ}] = 10 \lg K_{\text{тв}}$, $a_A = -10 \lg \eta_A$, $a_B = -10 \lg \eta_B$.

При организации на РРЛ телевизионных и телефонных стволов в расчет принимается наибольшее из значений $V_{\text{min тлф}}$ или $V_{\text{min тв}}$ (худший случай).

Для выполнения задания необходимо предварительно изучить материалы, проведенные в [1] С. 119-122. Исходные для расчетов данные приведены в таблице 3.1 и условиях на выполнение заданий 1 и 2.

Расчёты рекомендуется выполнять в следующем порядке:

- 1) Произвести расчет коэффициентов системы телефонного $K_{\text{тлф}}$ и телевизионного $K_{\text{тв}}$ стволов. В расчетах принять, что $G_A = G_B$ и $\eta_A = \eta_B$.
- 2) Рассчитать минимально допустимое значение множителя ослабления при работе на интервале РРЛ, с использованием каналов тональной частоты для передачи телефонных и телевизионных сообщений методом частотного разделения каналов (ЧРК) и частотной модуляции (ЧМ) с заданным качеством связи.
- 3) Определить итоговое значение множителя ослабления для системы, использующей для передачи и телефонные и телевизионные сообщения.
- 4) Сделать выводы по заданию, в которых оценить характеристики рассматриваемой РРЛ с точки зрения обеспечения качественной связи.

Таблица 3.1 — Исходные данные для расчета V_{min}

n	P_A , Вт	G_A , дБ	η_A	Ш, дБ	Δf_i , кГц	$F_{\text{гр н}}$, кГц	$n_{\text{тлф}}$
1	1,6	32	0,90	7,5	200	2044	300
2	5,0	35	0,90	7,5	200	2044	300
3	0,5	40	0,95	9,5	200	5188	720
4	5,0	35	0,95	9,0	200	5188	720
5	7,5	43	0,95	10	140	5188	1320
6	4,0	45	0,95	10	140	5188	1320
7	0,4	45	0,95	9,0	200	2044	300
8	4,0	40	0,95	8,5	200	2044	300
9	0,35	44	0,95	9,0	200	2044	300
0	3,5	45	0,95	8,0	200	2044	300

4. РАЗРАБОТКА СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ СВЯЗИ

1) Разработать структурную схему радиорелейной системы для передачи N телефонных сообщений между двумя наземными пунктами, включая аппаратуру объединения телефонных каналов и описать принципы ее работы. При этом на первой ступени использовать метод частотного объединения каналов. На второй ступени модуляции использовать частотную модуляцию. Основные числовые данные для расчета приведены в табл. 4.1 и 4.2.

2) Выбрать основные технические параметры системы (мощность передатчика, коэффициенты усиления передающей и приемной антенн).

3) Рассчитать основные технические характеристики системы (необходимое число интервалов радиорелейной системы, ширину спектра сигнала на выходе первой и второй ступеней модуляции, соотношение сигнал-шум на входе приемного устройства и др.).

4) Провести сравнение различных видов модуляции применяемых на второй ступени. Привести их достоинства и недостатки.

Таблица 4.1 — Исходные данные для выполнения задания

m — предпоследняя цифра номера индивидуального плана	Дальность линии, км	Число каналов	Коэффициент шума приемного устройства, дБ
0	300	1920	1,8
1	350	1500	2,0
2	400	1300	2,4
3	450	1200	2,6
4	500	900	2,8
5	550	840	3,0
6	600	720	3,3
7	650	600	3,5
8	700	460	3,7
9	750	300	4,0

Таблица 4.2 — Исходные данные для выполнения задания

n — последняя цифра номера индивидуального плана	Минимальное значение множителя ослабления на пролете, дБ	Рабочая частота, ГГц	Способ приема
0	–25	4	когерентный
1	–30	5	когерентный
2	–35	6	когерентный
3	–40	7	когерентный
4	–44	8	когерентный
5	–48	9	некогерентный
6	–50	10	некогерентный
7	–28	12	некогерентный
8	–32	14	некогерентный
9	–20	18	некогерентный

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Калашников Н.И. Системы радиосвязи: Учебник для вузов. /Под ред. Н.И. Калашникова – М.; Радио и связь, 1988. — 352 с.
2. Романюк В.А. Основы радиосвязи: учеб. пособие для вузов / В.А. Романюк. — М.: Юрайт, 2011. — 288 с.
3. Гепко И.А. Современные беспроводные сети: состояние и перспективы развития / И.А. Гепко, В.Ф. Олейник, Ю.Д. Чайка, А.В. Бондаренко. — К.: Екмо, 2009. — 672 с.
4. Курицын С.А. Телекоммуникационные технологии и системы / С.А. Курицын. — М.: Академия, 2008. — 304 с.
5. Мордухович Л.Г. Системы связи. Курсовое проектирование / Л.Г. Мордухович, А.П. Степанов. — М.: Радио и связь, 1987. — 192 с.
6. Спутниковые системы связи, вещания и навигации: Учеб. пособие/ А.Г. Лукьянчук, Ю.П. Михайлюк, А.А. Савочкин. — Севастополь: СевНТУ, 2002. — 335 с.
7. Зюко А.Г. Теория передачи сигналов /А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, М.В. Назаров, Л.М. Финк. — М.: Связь, 1980. — 288 с.
8. Бронштейн И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов/ И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. — М.: Наука, 1986. — 544 с.

Заказ № _____ от «____» _____ 2013 г. Тираж ____ экз.
Изд-во СевНТУ