ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО СВЯЗИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ им. проф. М.А. БОНЧ-БРУЕВИЧА»

А. Н. Ликонцев

«Проектирование цифровой спутниковой линии связи»

Учебно-методическое пособие по выполнению курсовых работ и проведению практических занятий

СПб ГУТ)))

Санкт-Петербург
2016

УДК 621.396.946 (621.371.36)
ББК 32.884.1
Л ..

Рецензент
доцент кафедры РС и В (СПбГУТ) *В.М. Устименко*

Рекомендовано к печати редакционно-издательским советом СПбГУТ

Ликонцев, А. Н.
Л .. Учебно-методическое пособие по выполнению курсовых работ и проведению практических занятий **«Проектирование цифровой спутниковой линии связи»** / А. Н. Ликонцев ; СПбГУТ. – СПб., 2016 – 34 с.

Написано в соответствии с программами дисциплин «Космические и радиорелейные линии связи» и «Радиорелейные и спутниковые системы специального назначения». Целью издания является развитие навыков у студентов по расчету цифровых спутниковых линий связи.

Предназначено для подготовки бакалавров по направлению 11.03.01 (210400) «Радиотехника» и специалистов по специальности 11.05.04 (210701) «Инфокоммуникационные технологии и системы специальной связи».

УДК 621.396.946
(621.371.36)
ББК 32.884.1

ВВЕДЕНИЕ

Спутниковая связь - один из видов радиосвязи, основанный на использовании искусственных спутников земли (ИСЗ) в качестве ретрансляторов. Спутниковая связь осуществляется между наземными станциями с помощью ИСЗ, расположенного на большой высоте (десятки тысяч км).

Системы VSAT (Very Small Aperture Terminal - терминал с очень маленькой апертурой). Это наземная станция спутниковой связи небольших размеров с диаметром антенны от 0,55…3,8 метра в зависимости от энергетики ИСЗ. Так, VSAT-терминалы, работающие в $\mathbf{K_u}$ -диапазоне, обычно используют параболические антенны с диаметром 0,75…1,8 м. В настоящее время быстрыми темпами развивается связь в **Ka** диапазоне.

Спутниковая связь, включает в себя три основные составляющие:

- центральная земная станция (ЦЗС),
- ИСЗ - ретранслятор,
- абонентский терминал.

ЦЗС (примерный внешний вид приведен на рис.1) предназначена для координации работы спутниковой сети.

Рис.1.ЦЗС сети VSAT "Медвежьи озера"

В VSAT-сети функции ретранслятора выполняют спутники связи, находящиеся на геостационарной орбите. В нашей стране в спутниковых сетях широко используются ИСЗ (рис.2) Экспресс-АМ6, Yamal-402 и ряд других. Спутниковый ретранслятор является связующим звеном между абонентским терминалом и ЦСЗ.

Рис.2.Спутник связи

Абонентский VSAT-терминал (примерный вид показан на рис.3) - это комплект абонентского спутникового оборудования, обеспечивающий надежную связь.

В комплект оборудования абонентского терминала входят: спутниковая антенна с опорно-поворотным устройством, устройство крепления, приемо-передатчик, спутниковый модем.

Рис.3.Терминал VSAT на базе модема Hughes 9200 (или 9400) и антенны Prodelin 1,2 м

Спутники сети VSAT также широко используются для передачи программ цифрового телевидения.

ЗАДАНИЕ НА КУРСОВОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ «РАСЧЕТ ЦИФРОВОЙ СПУТНИКОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ»

Спутниковая цифровая линия связи работает через геостационарный ИСЗ (см. пример в Приложении). Центральная земная станция (ЦЗС) находится в г. Санкт-Петербурге с координатами 59,9° северной широты и 30,3° восточной долготы. Приемная земная станция (ЗС) располагается в одном из городов (см. таблицу вариантов – табл.1 и табл.2), обозначенных буквами $Г_1$ - $Г_{10}$.

Известны значения:

- долготы подспутниковой точки ИСЗ $Д_{исз}$ (в градусах восточной долготы);
- широт центральной $Ш_{цзс}$ и приемной ЗС $Ш_{зс}$ (в градусах с.ш.);
- долгот центральной $Д_{цзс}$ и приемной ЗС $Д_{зс}$ (в градусах в.д.);
- частоты на линии «вверх» $f_{вверх}$, МГц;
- частоты на линии «вниз» $f_{вниз}$, МГц;
- коэффициент усиления антенны центральной ЗС $G_{цзс}$, дБ;
- скорость передачи цифрового сигнала $B_{инф}$, кбит/с;
- скорость кодирования $R_к$;
- коэффициент скругления спектра $\alpha_с$;
- выходная мощность передатчика ИСЗ на ствол $P_{пер.исз}$, Вт;
- количество несущих в одном стволе, $n_{нес}$,

а также вид модуляции сигнала.

Требуется, используя данные вариантов, рассчитать спутниковую цифровую линию связи, диаметр раскрыва приемной параболической антенны земной станции и построить диаграмму уровней.

Таблица 1

Информация по координатам размещения приемных ЗС

Условное обозначение города	Название города	Координаты в градусах	
		Ш, с.ш.	Д, в.д.
$Г_1$	Москва	55,8	37,6
$Г_2$	Минск	53,9	27,6
$Г_3$	Астана	51,2	71,4
$Г_4$	Ереван	40,1	44,5
$Г_5$	Бишкек	42,9	74,6
$Г_6$	Ташкент	41,3	69,3
$Г_7$	Душанбе	38,5	68,8
$Г_8$	Сочи	43,6	39,7
$Г_9$	Ашхабад	37,6	58,2

$Г_{10}$	Севастополь	44,6	33,5

Таблица 2

Данные вариантов задания

Предпоследняя цифра номера зачетной книжки										
Параметр	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$P_{пер.изз}$, Вт	103,5	103,5	103,5	103,5	82	38	82	38	82	38
$B_{инф}$, кбит/с	128	256	512	128	256	512	128	256	512	128
$Д_{изз}$, град в.д.	53	53	53	53	53	40	40	40	40	40
$f_{вверх}$, МГц, поляриза-ция	13781,25 V	13781,25 H	14031,25 V	14031,25 H	14468,75 V	14041,67 V	14041,67 H	14208,33 V	14208,33 H	14458,33 V
$f_{вниз}$, МГц, поляриза-ция	12531,25 H	12531,25 V	11481,25 H	11481,25 V	11168,75 H	10991,67 H	10991,67 V	11158,33 H	11158,33 V	11658,33 H
Вид модуля-ции	QPSK	BPSK	8PSK	QPSK	BPSK	8PSK	QPSK	BPSK	8PSK	QPSK

Последняя цифра номера зачетной книжки										
Параметр	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$n_{нес}$	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$R_к$	1/2	3/4	7/8	1/2	3/4	7/8	1/2	3/4	7/8	1/2
$\alpha_с$	0,2	0,25	0,3	0,35	0,3	0,25	0,2	0,25	0,3	0,35
$G_{1.прд.цзс}$, дБ	35	36	37	38	39	40	39	38	37	36
город	$Г_1$	$Г_2$	$Г_3$	$Г_4$	$Г_5$	$Г_6$	$Г_7$	$Г_8$	$Г_9$	$Г_{10}$

Пояснительная записка к курсовому проекту (работе) должна содержать:

1.Введение, содержащее информацию об особенностях организации и работы спутниковых линий связи на 8 - 15 страницах.

2.Результаты расчета значений азимутов и углов места на спутник от центральной земной станций (ЦЗС) и земной станции (ЗС) спутниковой связи с использованием выражений (1) – (3).

3.Результаты расчета величин ослабления в свободном пространстве и дополнительных потерь на трассах ЦЗС – ИСЗ и ИСЗ – ЗС с использованием выражений (4) – (7).

4.Результаты расчета значений ослабления в дожде на трассах ЦСЗ – ИСЗ и ИСЗ – ЗС с использованием изолиний на рис.6 -13 и выражений (8) – (19).

5.Результаты расчета значений суммарной шумовой температуры ИСЗ и ЗС, приведенной к облучателю приемной антенны с использованием выражений (20) – (23).

6.Результаты расчета требуемого отношения мощности несущей к спектральной плотности шума $q_{fтреб}$ с использованием выражений (24) – (30).

7.Результаты расчета значения эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (ЭИИМ) ИСЗ с использованием выражений (32) – (33).

8.Результаты расчета добротности тракта ИСЗ с помощью выражения (34).

9.Результаты расчета плотности потока мощности (ППМ) на входе ИСЗ, необходимой для обеспечения на линии «вверх» требуемого отношения $q_{fтреб.вверх}$ для случая ясного неба и дождя с помощью выражения (35) и проверки с помощью формулы (36).

10.Результаты расчета требуемых значений ЭИИМ одной несущей, излучаемой ЦЗС в условиях ясного неба и дождя с помощью выражения (37).

11.Результаты расчета значений мощности одной несущей и передатчика ЦЗС с использованием выражений (38) – (39).

12.Результаты расчета значений добротности антенны земной станции, максимального коэффициента усиления и диаметра антенны с использованием выражений (40) – (42).

13.Результаты расчета значения ППМ сигнала у поверхности Земли с использованием выражений (43) – (44) и сравнения с допустимым значением.

14.Построенную диаграмму уровней.

15.Заполненную сводную таблицу с данными варианта и результатами расчета.

16.Заключение по результатам расчета.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ЗАДАНИЯ

Для определения величины потерь на трассе геостационарный ИСЗ – Земля необходимо определить значения угла места или возвышения β (в вертикальной плоскости) и азимутального угла φ (в горизонтальной плоскости). Эти углы показаны на рис.4. Угол места β отсчитывается от касательной к поверхности Земли до линии (наклонной дальности), соединяющей ЗС на Земле со спутником. Азимутальный угол φ отсчитывается от направления на Северный полюс по меридиану, до направления на подспутниковую точку по часовой стрелке.

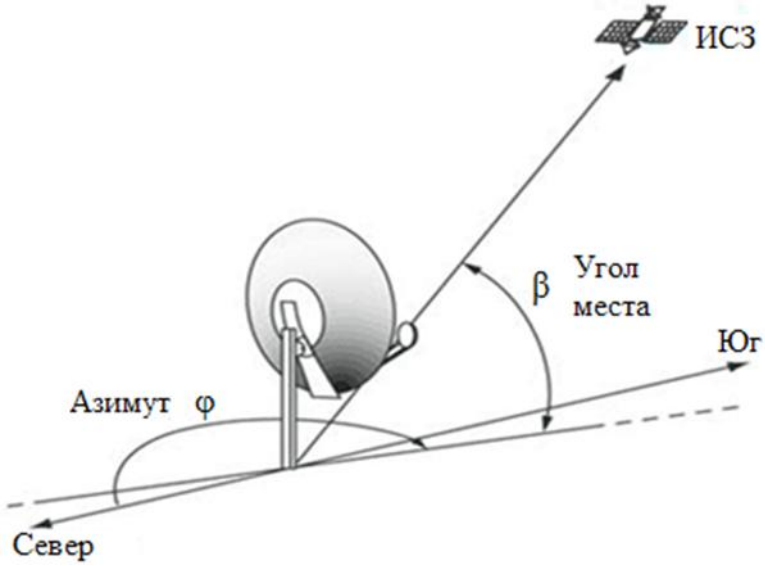

Рис.4. К определению значений углов β и φ

Формулы для определения приближенных значений угла места β и азимута φ имеют вид:

$$\beta = arctg[(\cos\rho - 0{,}15105)/\sin\rho], \quad (1)$$

$$\varphi = 180^\circ + arctg[tg(Д_{зс} - Д_{исз})/\sin Ш_{зс}], \quad (2)$$

$$\rho = arccos[\cos(Д_{зс} - Д_{исз}) \cdot \cos Ш_{зс}], \quad (3)$$

где ρ – топоцентрическое расстояние (центральный угол) - угол между направлениями из центра Земли на точку наблюдения и на спутник (угловое расстояние между точкой наблюдения и спутником, если смотреть из центра Земли).

Расчет ослабления (*затухания*) *сигнала в свободном пространстве.*

Основные потери передачи L_0 определяются по формуле

$$L_{\text{о}} = 20lgf_{(\text{МГц})} + 20lgd_{(\text{км})} + 32{,}45\text{, дБ,} \qquad (4)$$

или $$L_{\text{о}} = 20lg(4\pi d/\lambda)\text{, дБ,} \qquad (4.а)$$

где d (рис.5) – наклонная дальность, м

$$d = \sqrt{R_{\text{з}}^2 + R_{\text{орб}}^2 - 2R_{\text{з}}R_{\text{орб}} \cdot \cos\rho}\ ; \qquad (5)$$

λ – длина волны, м (λ = $\lambda_{\text{вверх}}$ на линии «вверх» и λ = $\lambda_{\text{вниз}}$ на линии «вниз»);

$R_{\text{з}}$ – радиус Земли ($R_{\text{з}}$ = 6,37·10^6 м);

$R_{\text{орб}}$ – радиус геостационарной орбиты ИСЗ ($R_{\text{орб}}$ = 42,164·10^6 м).

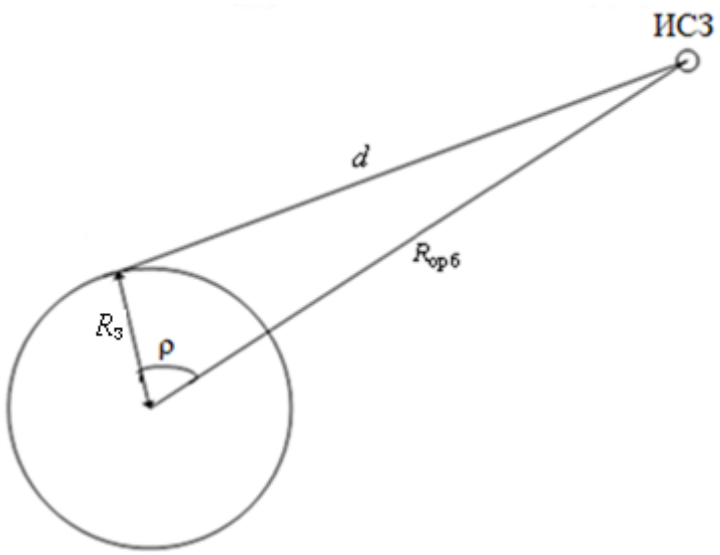

Рис.5. К определению наклонной дальности

Расчёт потерь начинают с определения ослабления сигналов на участках трассы, как в условиях «ясного неба» (при отсутствии дождя), так и при дожде заданной интенсивности. Расчёт проводят для направлений «вверх» (на ИСЗ) и «вниз» (на ЗС), учитывая значения наклонной дальности d для этих случаев.

Общее ослабление энергии радиоволн

$$L_{\Sigma} = L_{\text{о}} + L_{\text{доп}}\text{, дБ.} \qquad (6)$$

Дополнительное ослабление энергии радиоволн $L_{\text{доп}}$ при распространении в реальных условиях равно

$$L_{\text{доп}} = L_{\text{атм}} + L_{\text{д}} + L_{\text{н}} + L_{\text{п}}\text{, дБ,} \qquad (7)$$

где $L_{\text{атм}}$- ослабление в спокойной атмосфере, дБ;

$L_д$ - ослабление в осадках, дБ (в условиях «ясного неба» полагают $L_д = 0$);

$L_н$ - ослабление из-за неточности наведения антенн, дБ;

$L_п$ - поляризационные потери, дБ.

Величина $L_{доп}$ зависит от значений рабочей частоты и угла места, характеристик антенн, вида поляризации волны и систем их наведения. Кроме того, ослабление в осадках зависит от климатического района, в котором находится ЗС, и изменяется во времени.

Ослабление в спокойной атмосфере $L_{атм}$ возникает из-за поглощения сигнала в кислороде и водяных парах и может быть рассчитано по методике рекомендаций МСЭ-Р (см. табл.3).

Таблица 3

Ослабление радиоволн в спокойной атмосфере $L_{атм}$ дБ

Угол места, град.	Частота, ГГц									
	4	6	10	11	12	14	16	18	20	30
90,0	0,04	0,05	0,07	0,07	0,08	0,10	0,14	0,22	0,44	0,38
80,0	0,04	0,05	0,07	0,07	0,08	0,11	0,15	0,23	0,44	0,39
40,0	0,07	0,08	0,10	0,11	0,13	0,16	0,22	0,35	0,68	0,60
30,0	0,09	0,10	0,13	0,14	0,16	0,21	0,29	0,45	0,88	0,77
20,0	0,13	0,15	0,19	0,21	0,24	0,30	0,42	0,65	1,28	1,12
10,0	0,25	0,29	0,37	0,41	0,47	0,60	0,82	1,29	2,52	2,21
5,0	0,51	0,57	0,75	0,83	0,93	1,19	1,64	2,57	5,03	4,41

*Потери из-за несогласованности поляризаций антенн***.** В спутниковых системах связи применяют как круговую (на частотах до 10 ГГц обязательно), так и линейную (выше 10 ГГц) поляризацию волн. Потери возникают при несовпадении видов поляризации приёмной антенны и волны в точке приёма. На практике удаётся свести эти потери до величины 0,2-0,5 дБ.

Ослабление из-за неточности наведения антенн. Эти потери определяются угловым отклонением оси главного лепестка диаграммы направленности от истинного направления на ИСЗ, а также шириной и формой главного лепестка ДН антенны. Для снижения этих потерь антенны большого диаметра снабжаются системами автоматического наведения на ИСЗ.

В существующих системах спутниковой связи ослабление из-за неточности наведения антенн составляет порядка 0,15-0,3 дБ. Для дальнейших расчетов значение $L_н$ выбирают в этих пределах.

*Расчёт ослабления в дожде***.** Величина ослабления $L_д$ связана с поглощением и рассеянием энергии радиоволн каплями дождя и может быть

рассчитана в соответствии с рекомендацией Р-618 МСЭ-Р. Для расчёта величины ослабления необходимы следующие данные:

- координаты ЗС - $Ш_{зс}$ - широта ЗС (со знаком плюс для Северного полушария и со знаком минус - для Южного), $Д_{зс}$ – долгота ЗС, $H_{зс}$ - высота над уровнем моря (в км);

- рабочая частота - f,

- угол места - β, процент времени месяца (или года), для которого определяются потери - $T_{мес}$ (или $T_{год}$).

Методика включает следующие шаги.

1.Определяется эффективная высота дождевой зоны $H_д$, км. Для Северного полушария

$$H_д = 5 - 0{,}075 \cdot (Ш_{зс} - 23) \text{ для } Ш_{зс} > 23° \text{ и } H_д = 5 \text{ для } 0° \le Ш_{зс} \le 23°. \quad (8)$$

2. Определяется путь сигнала в дожде l_s

$$l_s = (H_д - H_{зс}) / \sin\beta, \text{ км} \quad (9)$$

(формула справедлива для углов β ≥ 5°).

3. Рассчитывается горизонтальная проекция l_g

$$l_g = l_s \cdot \cos\beta, \text{ км.} \quad (10)$$

4. По картам рекомендации Р-837-6 МСЭ-Р (см. рис.6 - 13) определяется значение $R_{0,01}$- интенсивности дождя в мм/ч, превышаемое в данной зоне в течение 0,01 % времени года.

5.Рассчитывается коэффициент уменьшения $r_{0,01}$, учитывающий пространственную неравномерность дождя

$$r_{0,01} = 1/[1 + (l_g / l_0)], \quad (11)$$

где l_0 - опорное расстояние, зависящее от $R_{0,01}$,

$$l_0 = 35 \cdot \exp(-0{,}015 \cdot R_{0,01}), \text{ км.} \quad (12)$$

При > 100 мм/ч следует принять l_0 = 7,81 км.

6.В соответствии с рекомендацией Р-838 МСЭ-Р рассчитывается удельное затухание сигнала в дожде γ_r , дБ/км. Оно зависит от рабочей частоты f, вида поляризации волны и интенсивности дождя

$$\gamma_r = k \cdot (R_{0,01})^{\alpha}, \quad (13)$$

где коэффициенты k и α рассчитываются по формулам:

$$k = [k_н + k_v + (k_н - k_v) \cdot \cos^2\beta \cdot \cos 2\tau]/2, \quad (14)$$

$$\alpha = [k_н \cdot \alpha_н + k_v \cdot \alpha_v + (k_н \cdot \alpha_н - k_v \cdot \alpha_v) \cdot \cos^2\beta \cdot \cos 2\tau]/2k. \quad (15)$$

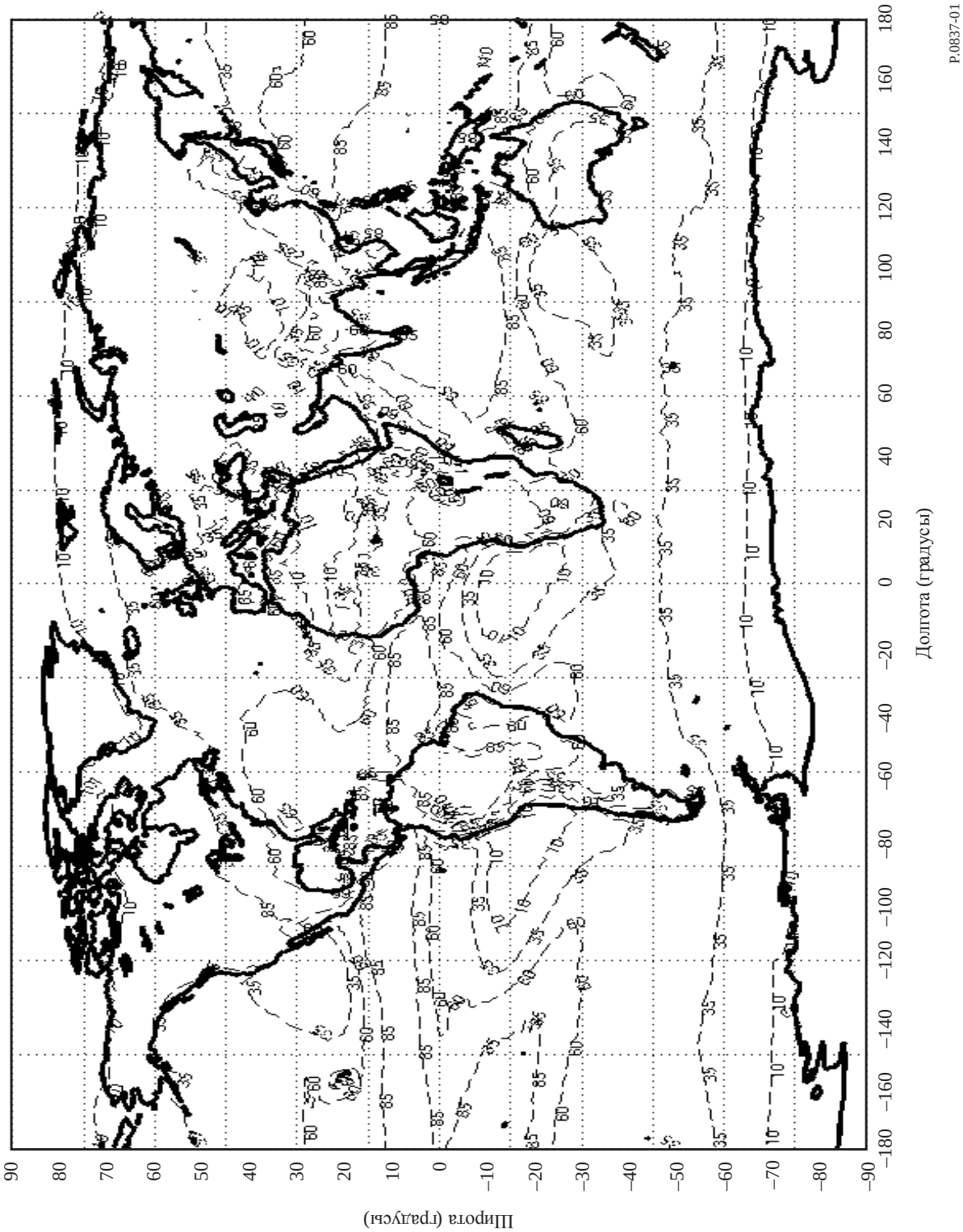

Рис.6. К определению значения $R_{0,01}$

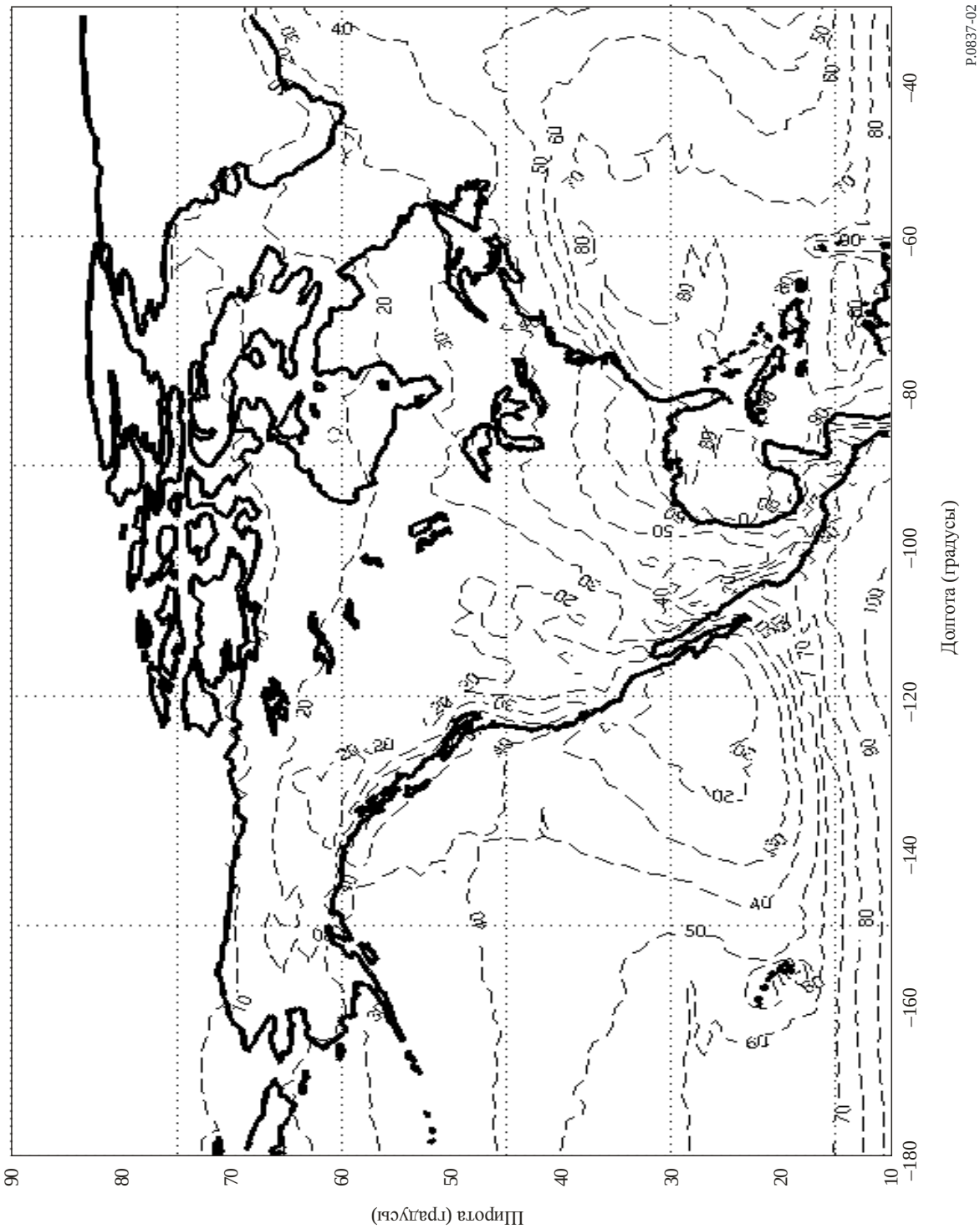

Рис.7. К определению значения $R_{0,01}$

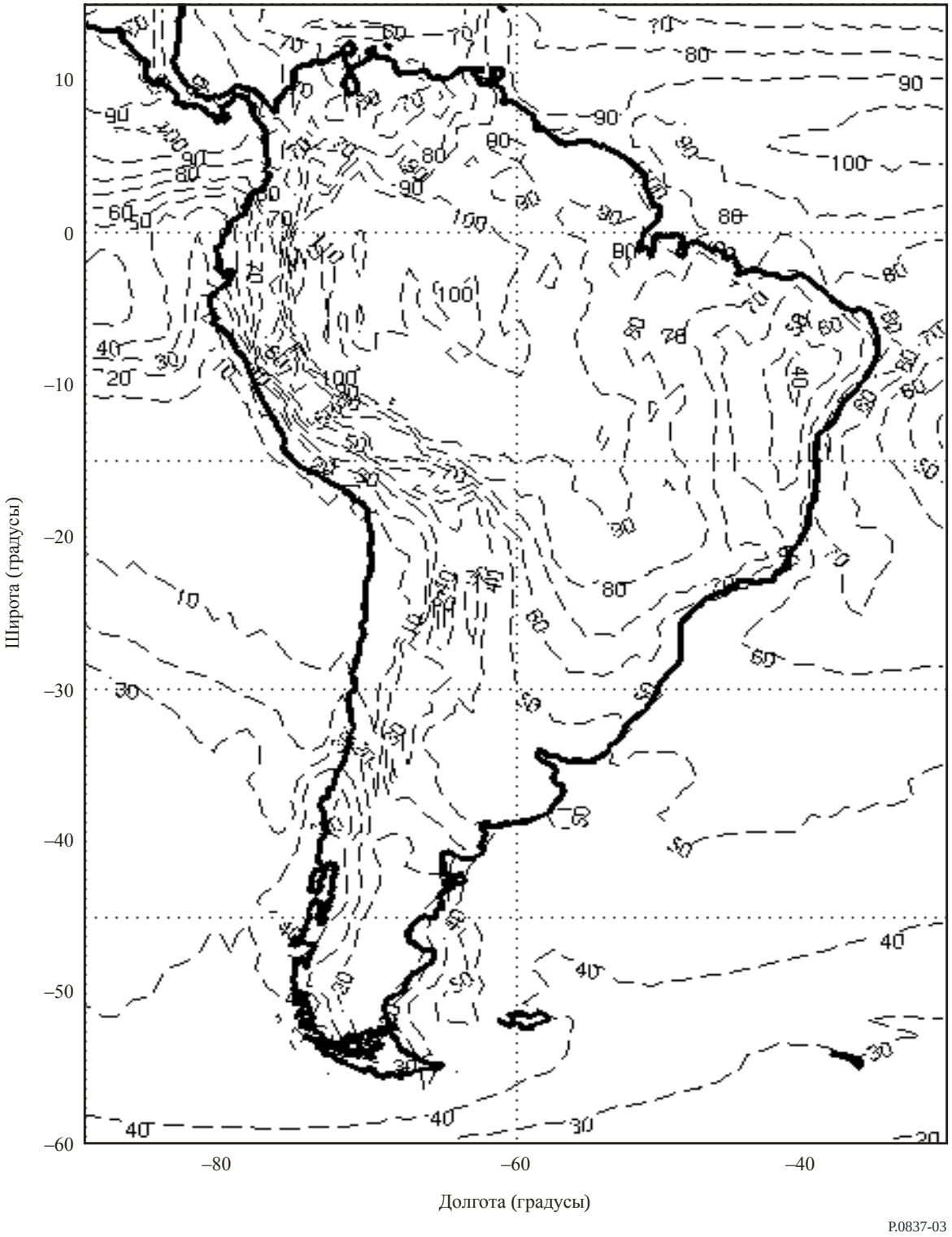

Рис.8. К определению значения $R_{0,01}$

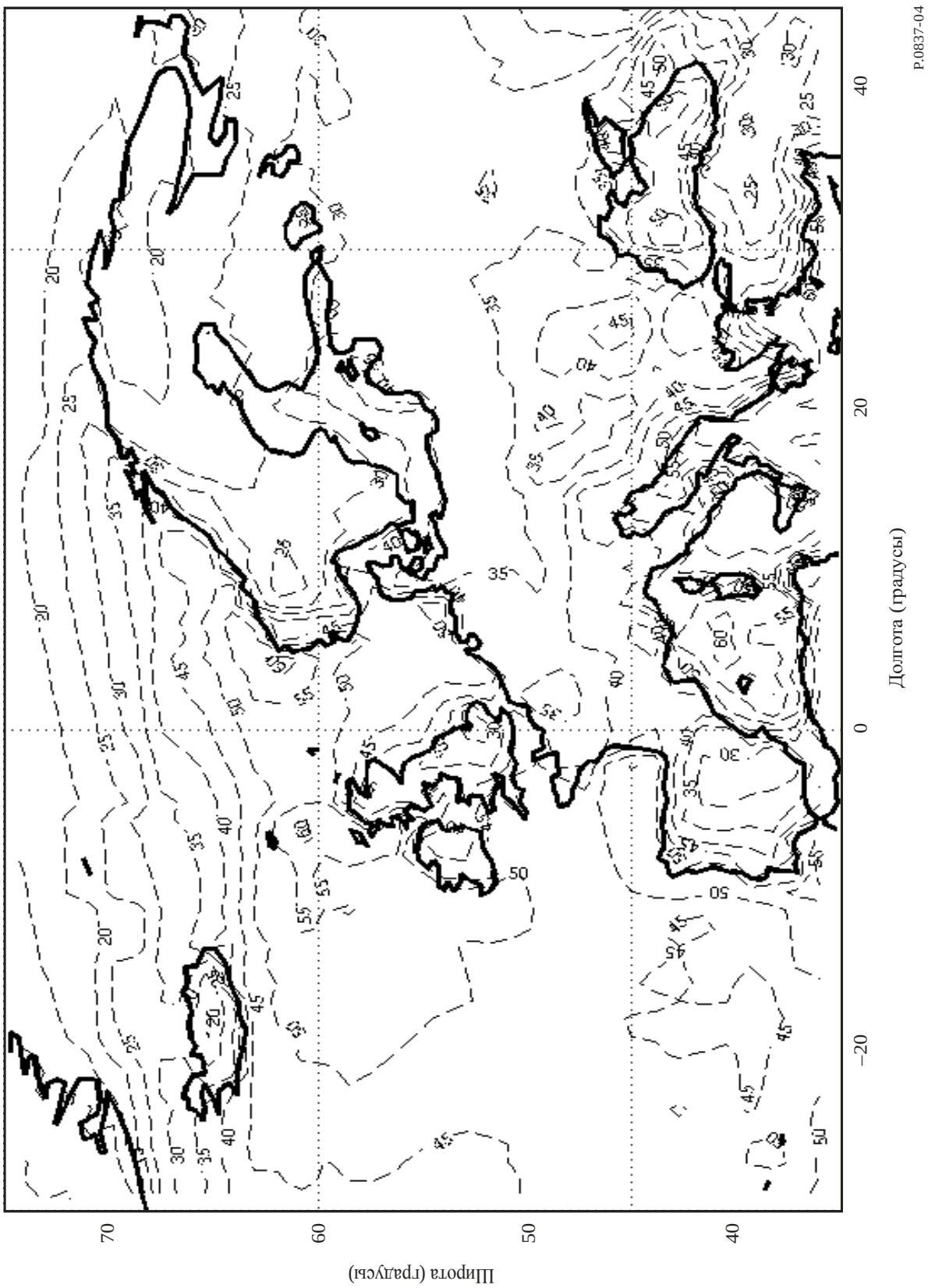

Рис.9. К определению значения $R_{0,01}$

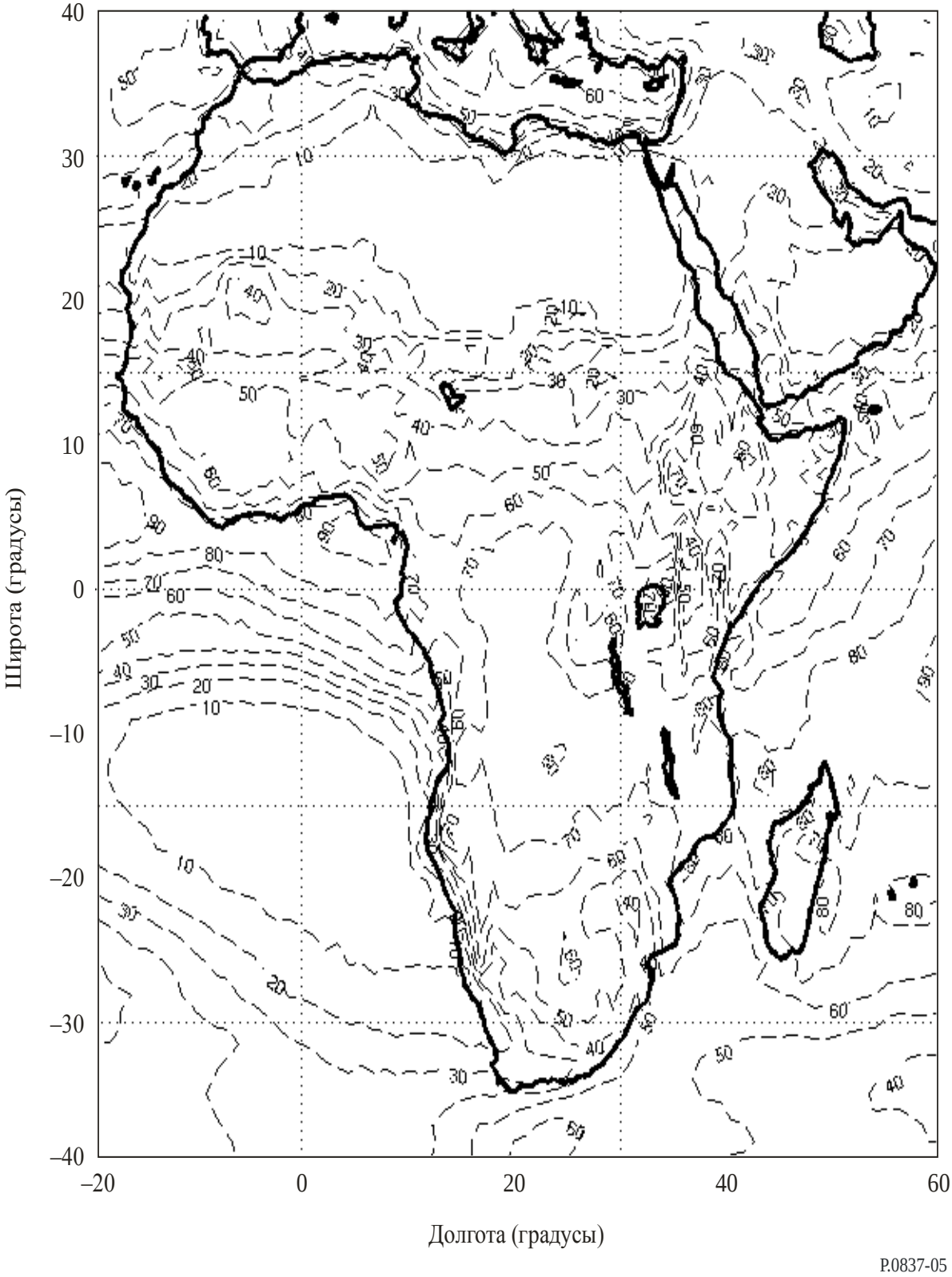

Рис.10. К определению значения $R_{0,01}$

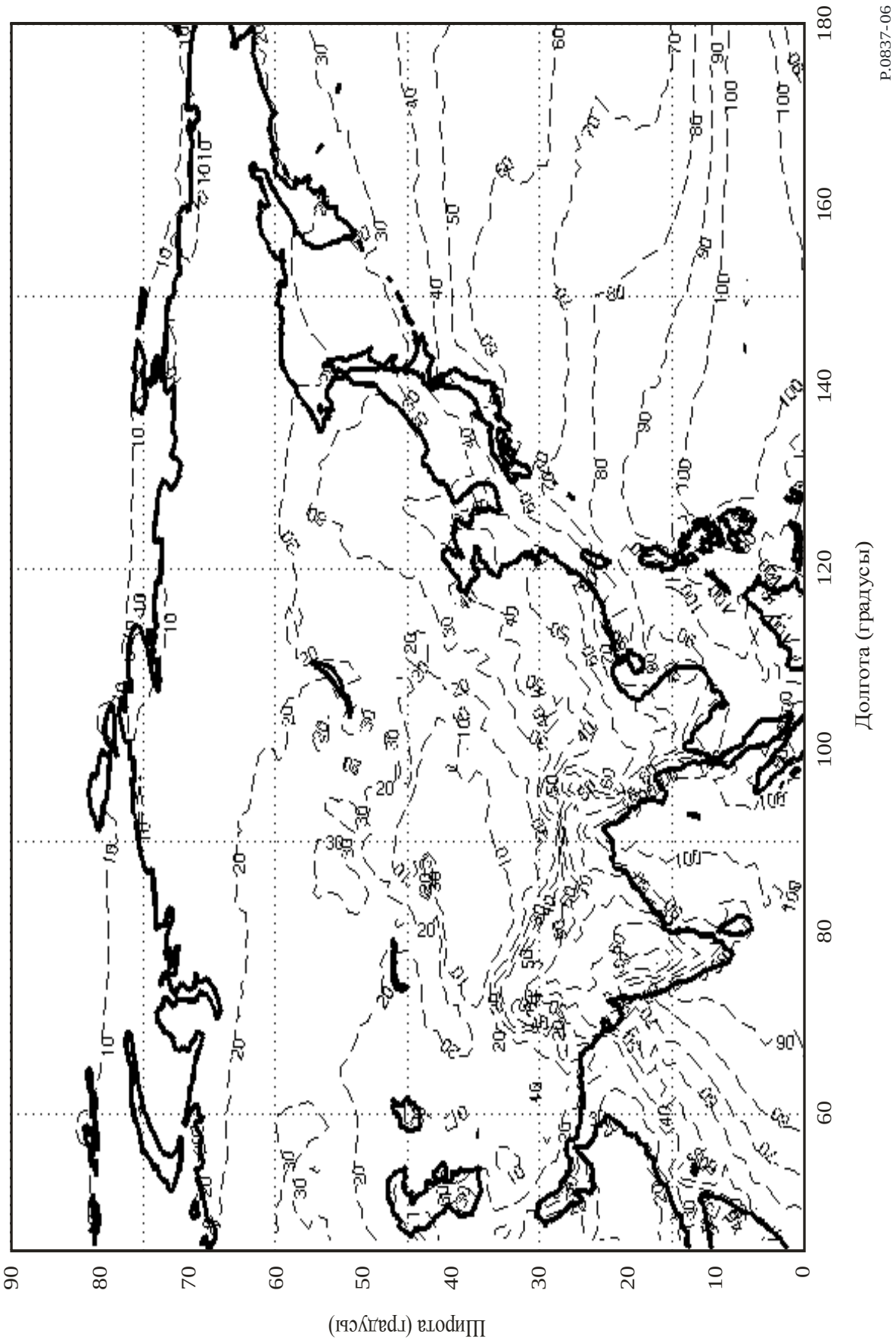

Рис.11. К определению значения $R_{0,01}$

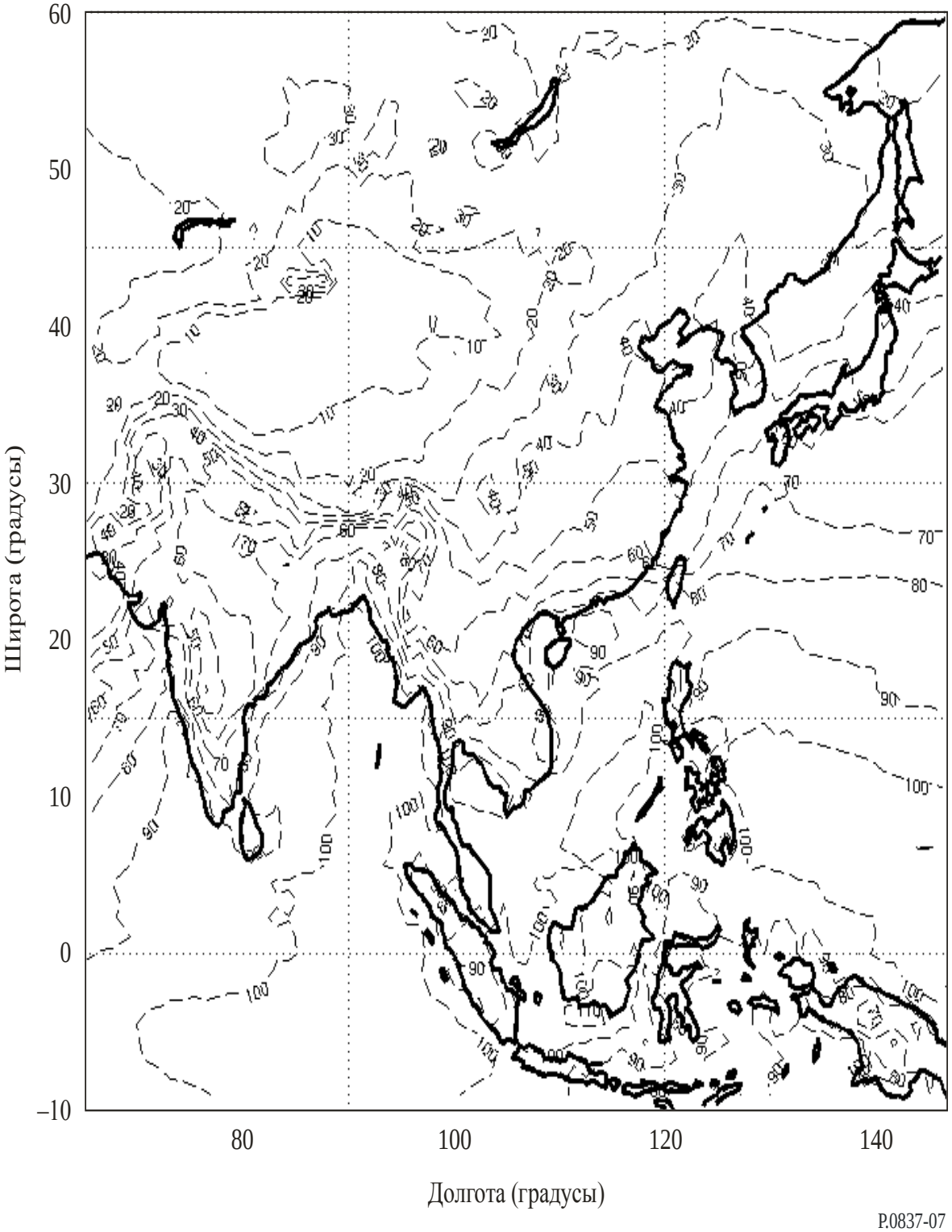

Рис.12. К определению значения $R_{0,01}$

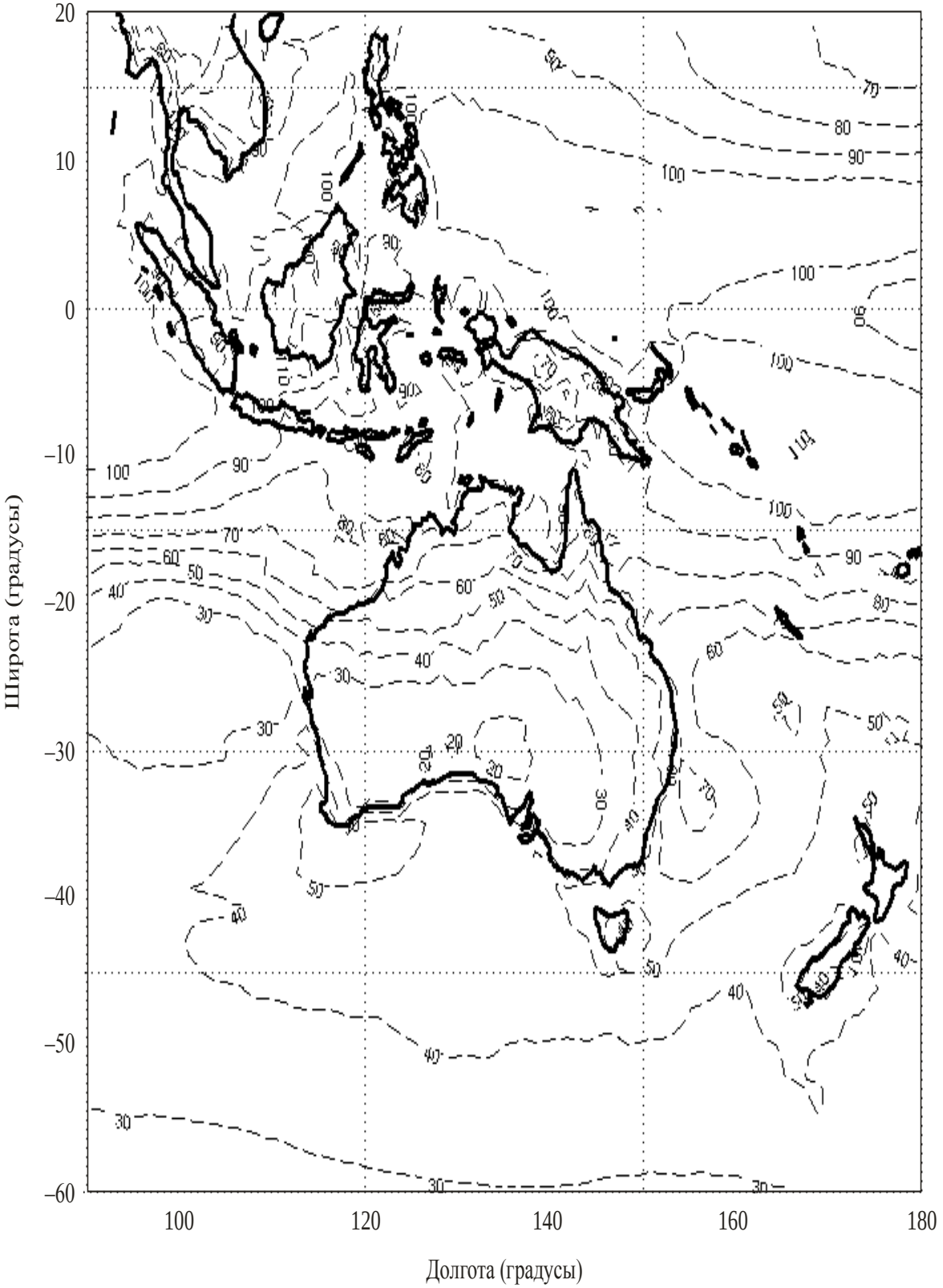

Рис.13. К определению значения $R_{0,01}$

Здесь β - угол места, τ - угол наклона плоскости поляризации к горизонту (при круговой поляризации τ = 45°). Коэффициенты k_H, k_V, α_H, α_V определяются из табл.4.

7. Потери в дожде $L_{д0,01г}$, превышаемые в течение не более чем 0,01% года, определяются по формуле

$$L_{д\,0,01г} = \gamma_г \cdot l_s \cdot r_{0,01}, \text{ дБ}. \qquad (16)$$

Таблица 4

Коэффициенты регрессии для оценки удельного затухания в дожде

f, ГГц	k_H	k_V	α_H	α_V
1	0,0000387	0,0000352	0,912	0,880
2	0,000154	0,000138	0,963	0,923
4	0,000650	0,000591	1,121	1,075
6	0,00175	0,00155	1,308	1,265
7	0,00301	0,00265	1,332	1,312
8	0,00454	0,00395	1,327	1,310
10	0,0101	0,00887	1,276	1,264
12	0,0188	0,0168	1,217	1,200
15	0,0367	0,0335	1,154	1,128
20	0,0751	0,0691	1,099	1,065
25	0,124	0,113	1,061	1,030
30	0,187	0,167	1,021	1,000
35	0,263	0,233	0,979	0,963
40	0,350	0,310	0,939	0,929

Значения k и α для частот, отличных от приведенных в табл.4, могут быть получены интерполяцией с использованием логарифмической шкалы для частот k и линейной шкалы для α.

В случае, если заданы другие проценты времени, то величина потерь $L_{дТг}$ в дожде, которая превышается для другого процента времени года $T_г$ $L_{дТг}$ в диапазоне 0,001...1%, может быть пересчитана по формуле

$$L_{дТг} = L_{д\,0,01г} \cdot 0{,}12 \cdot T_г^{-(0{,}546+0{,}043 lg T_г)}, \text{ дБ}. \qquad (17)$$

При требовании обеспечения необходимого уровня сигнала в определённом проценте времени месяца $T_м$ в рекомендации Р-841 МСЭ-Р содержится формула для пересчёта $T_М$ в $T_Г$, которой можно пользоваться при $1{,}9 \cdot 10^{-4}$ % < $T_М$ < 7,8%

$$T_г = 0{,}3 \cdot T_м^{1{,}15}, \text{ \%}. \qquad (18)$$

Поскольку для цифровой спутниковой линии связи требуется $T_М$ = 0,03%, то из (18) и (17) следует

$$L_{дТг} = 1{,}255 \cdot L_{д0,01г} = L_д, \text{ дБ}. \qquad (19)$$

Значения $L_{Д}$ и L_{Σ} рассчитываются, как в направлении «вверх» - $L_{Д.вверх}$ и $L_{\Sigma вверх}$, так и в направлении «вниз» - $L_{Д.вниз}$ и $L_{\Sigma вниз}$.

Расчет шумовой температуры. Суммарная шумовая температура ИСЗ, приведенная к облучателю приемной антенны, определяется выражением

$$T_{\Sigma исз} = T_{а.исз} + T_0 \cdot (10^{\eta_{афт.прм.исз}/10} - 1) + T_{прм.исз} \cdot 10^{\eta_{афт.прм.исз}/10}, \text{ К.} \qquad (20)$$

Здесь $T_{а.исз}$ - результирующая шумовая температура антенны ИСЗ, $\eta_{афт.прм.исз}$ - потери в антенно-фидерном тракте ИСЗ на приём; $T_{прм.исз}$ – эквивалентная шумовая температура (ЭШТ) приемника ИСЗ, обусловленная собственными тепловыми шумами малошумящего усилителя (МШУ) приемника. Значение $T_{прм.исз}$ можно выбрать в пределах 220…280К.

При расчетах с достаточной точностью можно полагать:

$T_{а.исз} = T_0 = 290$ К, $\eta_{афт.прм.исз} = 0{,}5$ дБ.

Суммарная шумовая температура ЗС при «ясном небе» и дожде, приведенная к облучателю приемной антенны, определяется по формулам:

$$T_{\Sigma зс.ян} = T_{а.зс.ян} + T_0 \cdot (10^{\eta_{афт.прм}/10} - 1) + T_{прм.зс} \cdot 10^{\eta_{афт.прм}/10}, \text{ К,} \qquad (21)$$

$$T_{\Sigma зс.д} = T_{а.зс.д} + T_0 \cdot (10^{\eta_{афт.прм}/10} - 1) + T_{прм.зс} \cdot 10^{\eta_{афт.прм}/10}, \text{ К,} \qquad (21.а)$$

где $T_{прм.зс}$ - ЭШТ приемника ЗС, К. Она может быть выбрана в пределах 35-50 К для диапазона **С**, 60-80 К для диапазона $\mathbf{K_u}$ и 180-250 К для диапазона $\mathbf{K_a}$; $\eta_{афт.прм}$ (обычно не более 0,5дБ) - ослабление сигнала в антенно-фидерном тракте ЗС на приём; $T_0 = 290$ К; $T_{а.зс}$ - шумовая температура антенны ЗС при «ясном небе» и дожде, определяемая по формулам:

$$T_{а.зс.ян} = T_к + c_{бл} \cdot T_0 + T_{атм.ян}(\beta), \text{ К.} \qquad (22)$$

$$T_{а.зс.д} = T_к + c_{бл} \cdot T_0 + T_{атм.д}(\beta), \text{ К.} \qquad (22.а)$$

Здесь $T_к$ - ЭШТ космического излучения. В диапазонах частот 4 ГГц и выше этим видом шумов можно пренебречь (за исключением шумов от Солнца, которые могут «подсвечивать» приёмную антенну ЗС и вызывать прогнозируемые кратковременные перерывы связи); $c_{бл} = 0{,}2$-$0{,}4$ - коэффициент, учитывающий интегральный уровень боковых лепестков приёмной антенны ЗС;

$T_{атм}(\beta)$ - ЭШТ атмосферы при «ясном небе» и дожде, которые определяются по формулам:

$$T_{атм.ян}(\beta) = T_{а.ср} \cdot (1 - 10^{-L_{атм}/10}), \text{ К,} \qquad (23)$$

$$T_{атм.д}(\beta) = T_{а.ср} \cdot (1 - 10^{-(L_{атм} + L_{д.вниз})/10}), \text{ К,} \qquad (23.а)$$

где $T_{а.ср}$ ≈ 260К - яркостная температура спокойной (при отсутствии дождя) атмосферы.

Системы спутниковой связи, входящие в состав сетей общего пользования, обычно проектируют исходя из требований рекомендации МСЭ-Р S-614:

- в условиях «ясного неба» $K_{ош} \leq 10^{-7}$;

- в условиях дождя $K_{ош} \geq 10^{-3}$ в течение не более, чем $T_м$ = 0,2%, из которых 0,17% относятся к периоду неготовности, а 0,03% - определяют ухудшение качества связи в период готовности.

Ширина спектра модулированного радиосигнала $\Delta f_с$ (в Гц) численно равна результирующей скорости передачи $B_{рк}$ (в бит/с) с учетом коэффициента скругления спектра $\alpha_с$

$$\Delta f_с = B_{рк} \cdot (1+\alpha_с)\text{, Гц;} \tag{24}$$

$$B_{рк} = B_{вх} / [R_к \cdot log_2(M)], \tag{25}$$

где M = 2 при модуляции BPSK, M = 4 при модуляции QPSK и M = 8 при модуляции 8PSK; $R_к$ – скорость кода с прямым исправлением ошибок.

Пренебрегая скоростью передачи сигналов служебной связи, получаем $B_{вх} = B_{инф}$.

Требуемое для обеспечения заданной достоверности значение $h_{доп}$ (отношение энергии несущей, приходящейся на 1 бит цифрового сигнала к спектральной мощности шума) на входе демодулятора приемной ЗС определяется из табл.5 в зависимости от кодовой скорости $R_к$ и требуемого значения коэффициента ошибок $K_{ош}$ ($K_{ош} = 10^{-7}$ и 10^{-3}) цифрового сигнала на выходе декодера. Данные приведены для декодирования по алгоритму Витерби и учитывают погрешности аппаратурной реализации.

Таблица 5

Значения допустимых величин $h_{доп}$, дБ

Коэффициент ошибок $K_{ош}$	$R_к$ = 1/2	$R_к$ = 3/4	$R_к$ = 7/8
10^{-3}	4,1	5,2	6,2
10^{-6}	6,0	7,5	8,6
10^{-7}	6,6	8,2	9,3
10^{-8}	7,1	8,7	10,2

При проектировании следует иметь в виду, что на входе приемника ЗС помимо полезного сигнала и теплового шума могут присутствовать также мешающие сигналы от других систем связи и интермодуляционные шумы, возникающие в передатчиках ИСЗ и ЗС, работающих в многосиг-

нальном режиме. Данные помехи могут быть учтены прибавкой к $h_{доп}$ запаса $\Delta_{доп}$ = 1-2 дБ, т.е. $h_{треб} = h_{доп} + \Delta_{доп}$.

Затем рассчитывают требуемые значения отношения мощности несущей к спектральной мощности (СПМ) шума $q_{fтреб}$ и $q_{треб}$ в дБГц для заданных значений $K_{ош}$

$$q_{fтре} = h_{треб} + 10lgB_{вх}, \quad (26)$$

$$q_{треб} = q_{fреб} - 10lg\Delta f_{с}. \quad (27)$$

Для обеспечения требуемого отношения $q_{fлинии}$ в конце спутниковой линии, состоящей из двух участков - «вверх» и «вниз», на каждом оно должно обеспечиваться с запасом. На участке «вверх» энергетический потенциал обеспечить легче, поэтому коэффициент энергетического запаса $a_з$ на этом участке выбирают больше $a_з$ = 5-10, а на участке «вниз» коэффициент энергетического запаса $b_з$ рассчитывают по формуле

$$b_з = a_з/(a_з - 1) \quad (28)$$

и распределяют требуемое отношение q_f по участкам для «ясного неба» и дождя:

$$q_{fтреб.вверх} = q_{fтре} + 10lga_з, \text{ дБГц}; \quad (29)$$

$$q_{fтреб.вниз} = q_{fтреб} + 10lgb_з, \text{ дБГц}. \quad (30)$$

Далее может быть выбран следующий порядок расчета:

1.Коэффициенты усиления передающей $G_{пер.исз}$ и приёмной $G_{прм.исз}$ антенн ИСЗ считаются одинаковыми и выбираются в пределах 25-30 дБ. *Примечание к п.1. Если известны значения в градусах ширины главного лепестка антенны ИСЗ по половинной мощности в двух взаимно перпендикулярных плоскостях Δφ и Δβ, то коэффициент усиления антенны определяется по формуле*

$$G_{исз} = 45{,}05 - 10lg(\Delta\varphi \cdot \Delta\beta), \text{ дБ}. \quad (31)$$

2.Определяются значения эквивалентной изотропно-излучаемой мощности (ЭИИМ)

$$P_{\Sigma исз} = 10lgP_{пер.исз} - \eta_{афт.пер.исз} + G_{пер.исз}, \text{ дБВт}, \quad (32)$$

где $P_{пер.исз}$ – выходная мощность передатчика ИСЗ, Вт; $\eta_{афт.пер.исз}$ – потери в антенно-фидерном тракте передачи ИСЗ (принимаем $\eta_{афт.пер.исз}$ = 1 дБ), а ЭИИМ в расчёте на одну несущую

$$P_{\Sigma 1.исз} = P_{\Sigma исз} - \Delta_{кр} - 10lg\Delta_{р.вых} - 10lg\, n_{нес}, \text{ дБВт}, \quad (33)$$

где $\Delta_{кр}$ = 3 дБ, если ЗС находится ближе к краю зоны обслуживания; $\Delta_{р.вых}$ – коэффициент недоиспользования выходной мощности в многосигнальном режиме; обычно $\Delta_{р.вых}$ = 2-5; $n_{нес}$ – количество полос частот (несущих).

При этом добротность тракта ИСЗ

$$[G/T]_{исз} = G_{прм.исз} - 10lgT_{\Sigma исз}, \text{ дБ/К.} \quad (34)$$

3.Рассчитывается плотность потока мощности (ППМ) - параметр *SFD* (Saturated Flux Density) на входе ИСЗ, необходимый для обеспечения на линии «вверх» требуемого отношения $q_{fтреб.вверх}$

$$SFD_{ян} = q_{fтреб.вверх.ян} - 207{,}15 - [G/T]_{исз} + \Delta_{[G/T]} + 20\,lgf_{вверх}, \text{дБВт/м}^2, \quad (35)$$

$$SFD_{д} = q_{fтреб.вверх.д} - 207{,}15 - [G/T]_{исз} + \Delta_{[G/T]} + 20\,lgf_{вверх}, \text{дБВт/м}^2, \quad (35.а)$$

где $\Delta_{[G/T]}$ = 3 дБ, если ЗС находится ближе к краю зоны обслуживания, а значение $f_{вверх}$ подставляется в ГГц.

Примечание к п.3. При заданном значении SFD определяется значение $q_{fтреб.вверх}$ *по формуле*

$$q_{fтреб.вверх} = SFD_{д} + 207{,}15 + [G/T]_{исз} - \Delta_{[G/T]} - 20\,lgf_{вверх}, \text{дБГц}, \quad (36)$$

где $\Delta_{[G/T]}$ = 3 дБ, *если* ЗС *находится ближе к краю зоны обслуживания; значение* $f_{вверх}$ *подставляется в* ГГц. *Если рассчитанное значение* $q_{fтреб.вверх}$ *превышает или равно допустимому – расчет* ЭИИМ *закончен, если меньше – требуется скорректировать: либо коэффициенты* $a_з$ и $b_з$, *либо кодовую скорость R, либо параметр SFD ретранслятора, либо и то и другое вместе и повторить расчет.*

4.Определяются требуемые значения ЭИИМ одной несущей, излучаемой ЦЗС в условиях «ясного неба» и дождя

$$P_{\Sigma 1.цзс.ян} = SFD_{ян} + 20lgd + 71 + L_{атм} + L_{н} + L_{п}, \text{ дБВт}, \quad (37)$$

$$P_{\Sigma 1.цзс.д} = SFD_{д} + 20lgd + 71 + L_{атм} + L_{н} + L_{п} + L_{д.вверх}, \text{ дБВт}, \quad (37.а)$$

где значение *d* подставляется в км.

Выходная мощность передатчика определяется исходя из условий обеспечения рассчитанных выше значений ЭИИМ ($P_{\Sigma 1цзс}$ и $P_{\Sigma 1цзс.д}$) и добротности $[G/T]_{зс.ян.}$ и $[G/T]_{зс.д}$, требующихся как в условиях «ясного неба», так и дождя.

Уровень мощности одной несущей на выходе передатчика ЦЗС при «ясном небе» и дожде можно определить как:

$$P_{1.\text{пер.цзс.ян}} = P_{\Sigma 1.цзс.ян} - G_{цзс} + \eta_{\text{афт.пер.цзс}}, \text{ дБВт},$$

$$P_{1.\text{пер.цзс.ян}} = 10^{P_{1.\text{пер.цзс.ян}}/10}, \text{ Вт}, \quad (38)$$

$$P_{1.\text{пер.цзс.д}} = P_{\Sigma 1.цзс.д} - G_{цзс} + \eta_{\text{афт.пер.цзс}}, \text{ дБВт},$$

$$P_{1.\text{пер.цзс.д}} = 10^{P_{1.\text{пер.цзс.д}}/10}, \text{ Вт}. \quad (38.а)$$

Ослабление сигнала в антенно-фидерном тракте ЦЗС $\eta_{\text{афт.пер.цзс}}$ можно принять равным 0,5-2 дБ.

В случае если ЦЗС излучает *n* несущих, мощность насыщения передатчика должна быть не менее, чем

$$P_{1.\text{пер.цзс.макс}} = P_{1.цзс} + 10lgn + 7, \text{ дБВт}, \quad P_{1.\text{пер.цзс.макс}} = 10^{P_{1.\text{пер.цзс.макс}}/10}, \text{ Вт}, \quad (39)$$

где 7 дБ - запас, необходимый для работы передатчика в линейном режиме. В качестве $P_{1цзс}$ принимается максимальное из значений $P_{1.цзс.д}$ и $P_{1.цзс.ян}$.

Требуемое значение добротности приемной ЗС рассчитывается из условия обеспечения на линии «вниз» необходимых отношений $q_{f\text{треб.вниз}}$ при «ясном небе» и дожде

$$[G/T]_{зс.ян} = q_{f треб.ян} + L_{0.вниз} + L_{\text{атм}} + L_{\text{н}} + L_{\text{п}} - P_{\Sigma 1\text{исз}} - 228{,}6, \text{ дБ/К}, \quad (40)$$

$$[G/T]_{\text{зс.д}} = q_{f\text{треб.внизд}} + L_{0.\text{вниз}} + L_{\text{атм}} + L_{\text{н}} + L_{\text{п}} + L_{\text{д.вниз}} - P_{\Sigma 1\text{исз}} - 228{,}6, \text{ дБ/К}, \quad (40.а)$$

где $L_{0.\text{вниз}}$ и $L_{\text{д}}$ рассчитывается аналогично $L_{0.\text{вверх}}$ и $L_{\text{д}}$, но для частоты $f_{\text{вниз}}$, местоположения ЗС и для своего значения наклонной дальности *d*.

Рассчитываются значения коэффициента усиления приемной антенны: для «ясного неба» - $G_{\text{зс.ян}}$ и дождя - $G_{\text{зс.д}}$

$$G_{\text{зс.ян}} = [G/T]_{\text{зс.ян}} + 10lgT_{\Sigma\text{зс.ян}}, \text{ дБ}, \quad (41)$$

$$G_{\text{зс.д}} = [G/T]_{\text{зс.д}} + 10lgT_{\Sigma\text{зс.д}}, \text{ дБ} \quad (41.а)$$

и в качестве $G_{\text{зс}}$ выбирается большее значение, которое надо пересчитать в «разы» при расчете диаметра приемной антенны ЗС.

Диаметр антенны $D_{\text{ант}}$ ЗС рассчитывается с помощью формулы

$$G_{\text{зс}} = \nu\pi^2 \cdot D^2_{\text{ант}} / \lambda^2_{\text{макс}}, \quad (42)$$

где ν - коэффициент использования поверхности раскрыва антенны.

Значение ν = 0,5-0,6 в случае однозеркальной антенны и ν = 0,6-0,8 в случае двухзеркальной антенны.

С точки зрения электромагнитной совместимости необходимо отметить, что у поверхности Земли диапазоны частот 4 и 11 ГГц используются наземными радиорелейными линиями (РРЛ). Чтобы излучение ИСЗ проектируемой спутниковой радиорелейной линии не создавало для наземных РРЛ недопустимых помех, плотность потока мощности (ППМ) W сигнала передатчика ИСЗ у поверхности Земли в контрольной полосе частот $\Delta f_к$ не должна превышать допустимых значений. Эти значения, измеряемые в дБВт/м^2, для ИСЗ приведены в табл.6.

ППМ рассчитывается по формуле

$$W = P_{\Sigma 1 исз} - L_{0.вниз} - L_{атм} - L_н - L_п + 10lg(4\pi / \lambda^2) + 10lg(\Delta f_к / \Delta f_ш), \text{ дБВт/м}^2, \qquad (43)$$

где λ - длина волны на линии «вниз», м;

$\Delta f_К$ - эталонная полоса частот, равная 4 кГц,

$\Delta f_Ш$ - эквивалентная (энергетическая) шумовая полоса приемника

$$\Delta f_ш = \gamma_{прм} \cdot \Delta f_{прм}, \qquad (44)$$

$\gamma_{прм}$ - коэффициент, определяемый избирательными свойствами приемника ($\gamma_{прм}$= 1,1...1,2), $\Delta f_{прм}$ – полоса частот приемника ($\Delta f_{прм}$= $\Delta f_с$).

Если ППМ превышает допустимое значение, следует уменьшить мощность передатчика ИСЗ и повторить расчеты.

Таблица 6

Допустимые значения плотности потока мощности у поверхности Земли

Диапазон частот на участке «вниз», ГГц	Угол возвышения антенны ЗС, град.		
	$\beta \le 5$	$5 < \beta \le 25$	$25 < \beta \le 90$
3,4...4,2; 4,5...4,8; 7,25...7,75	-152	-152+0,5·(β - 5)	-142
10, 7 ... 11,7	-150	-150+0,5·(β - 5)	-140
12,2 ... 12,75	-148	-148+0,5·(β - 5)	-138

Рекомендуемый алгоритм расчета также представлен в виде сводной таблицы значений параметров (табл.7), которую необходимо заполнить с указанием размерностей заданных, рассчитываемых и выбранных величин параметров.

Таблица 7

Сводная таблица значений параметров

№ п/п	Величина	Значение	Примечание
1	2	3	4
заданные значения			
1	$Ш_{зс}$		для центральной ЗС
2	$Д_{зс}$		- · -
3	$Д_{исз}$		
4	$Ш_{зс}$		для приемной ЗС
5	$Д_{зс}$		- · -
6	$f_{вверх}$		
7	вид поляризации		для $f_{вверх}$
8	$f_{вниз}$		
9	вид поляризации		для $f_{вниз}$
10	вид модуляции		
11	$G_{1зс}$		
12	$B_{инф}$		
13	R		
14	$\alpha_{с}$		
15	$P_{пер.исз}$		на ствол
16	полоса частот		одного ствола
17	$n_{нес}$		на ствол
рассчитанные и выбранные значения			
1	β		на участке «вверх»
2	φ		- · -
3	ρ		- · -
4	d		- · -
5	$\lambda_{вверх}$		- · -
6	$L_{0.вверх}$		- · -
7	$L_{атм}$		- · -
8	$L_{н}$		- · -
9	$L_{п}$		- · -
10	$H_{зс}$		- · -
11	$H_{д}$		- · -
12	l_{s}		- · -
13	l_{g}		- · -
14	$R_{0,01}$		- · -
15	l_{0}		- · -
16	$r_{0,01}$		- · -
17	$k_{н}$		- · -

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
18	k_V		- · -
19	$\alpha_н$		- · -
20	α_V		- · -
21	τ		- · -
22	k		- · -
23	α		- · -
24	$\gamma_г$		- · -
25	$L_{д0,01г}$		- · -
26	$L_{дТг} = L_д$		
27	$L_{доп}$		- · -
28	$L_{\Sigma вверх} = L_\Sigma$		- · -
29	β		на участке «вниз»
30	φ		- · -
31	ρ		- · -
32	d		- · -
33	$\lambda_{вниз}$		- · -
34	$L_{0.вниз}$		- · -
35	$L_{атм}$		- · -
36	$L_н$		- · -
37	$L_п$		- · -
38	$H_{зс}$		- · -
39	$H_д$		- · -
40	l_s		- · -
41	l_g		- · -
42	$R_{0,01}$		- · -
43	l_0		- · -
44	$r_{0,01}$		- · -
45	$k_н$		- · -
46	k_V		- · -
47	$\alpha_н$		
48	α_V		- · -
49	τ		- · -
50	k		- · -
51	α		- · -
52	$\gamma_г$		- · -
53	$L_{д0,01г}$		- · -
54	$L_{дТг} = L_д$		
55	$L_{доп}$		- · -

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4
56	$L_{\Sigma вниз} = L_{\Sigma}$		- · -
57	$T_{\Sigma исз}$		
58	$T_{атм.ян(\beta)}$		
59	$T_{атм.д(\beta)}$		
60	$T_{а.зс.ян}$		
61	$T_{а.зс.д}$		
62	$T_{\Sigma зс.ян}$		
63	$T_{\Sigma зс.д}$		
64	$B_{вх}$		
65	$B_{рк}$		
66	M		
67	log_2M		
68	Δf_c		
69	$a_з$		- · -
70	$b_з$		- · -
71	$h_{доп.ян}$		при ясном небе и $К_{ош}= 10^{-7}$
72	$h_{треб.ян}$		- · -
73	$q_{fтреб.ян}$		- · -
74	$q_{треб.ян}$		- · -
75	$q_{fтреб.вверх.ян}$		- · -
76	$q_{fтреб.вниз.ян}$		- · -
77	$h_{доп.д}$		при дожде и $К_{ош} = 10^{-3}$
78	$h_{треб.д}$		- · -
79	$q_{fтреб.д}$		- · -
80	$q_{треб.д}$		- · -
81	$q_{fтреб.вверх.д}$		- · -
82	$q_{fтреб.вниз.д}$		- · -
83	$G_{1пер.исз} = G_{2прм.исз}$		
84	$P_{\Sigma исз}$		
85	$P_{\Sigma 1.исз}$		
86	$[G/T]_{исз}$		
87	$SFD_{ян}$		
88	$SFD_{д}$		
89	$P_{\Sigma 1зс.ян}$		
90	$P_{\Sigma 1зс.д}$		

Продолжение таблицы 7			
1	2	3	4
91	$P_{1.пер.зс.ян}$		
92	$P_{1.пер.зс.д}$		
93	$P_{пер.зс.макс}$		$P_{пер.зс} = P_{пер.зс.макс}$
94	$[G/T]_{зс.ян}$		
95	$[G/T]_{зс.д}$		
96	$G_{2.прм.зс.ян}$		
97	$G_{2.прм.зс.д}$		
98	$D_{ант}$		
99	W		норма выполняется

После окончания расчетов следует построить диаграмму уровней спутниковой линии связи. Пример диаграммы уровней, с указанием ее составляющих, приведен на рис.14. При построении диаграммы уровней рекомендуется на оси ординат использовать равномерную шкалу уровней мощности в дБВт.

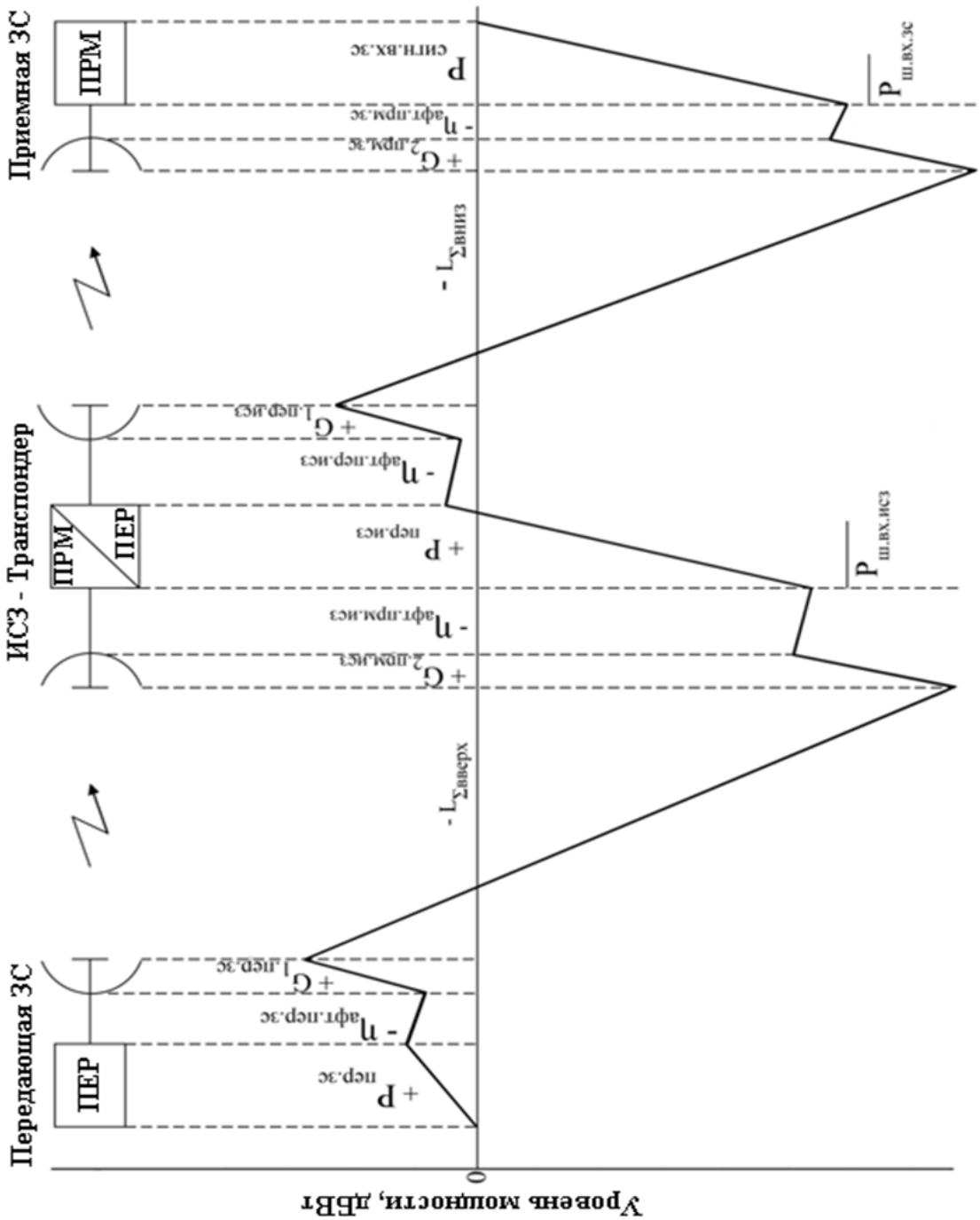

Рис.14. Пример построения диаграммы уровней спутниковой линии связи

ЛИТЕРАТУРА

1.Бартенев В.А., Болотов Г.А. и др. Спутниковая связь и вещание. Справочник /под ред. Л.Я. Кантора – М.:Радио и связь, 1997.
2.Сухорукова И.Ю., Тарасов С.С. Проектирование цифровых систем спутниковой связи.- М.:МТУСИ, 2012.
3.ГОСТ Р 53363-2009. Цифровые радиорелейные линии. Показатели качества. Методы расчета.
4.Рекомендация МСЭ-R Р.838-2 Модель погонного ослабления в дожде, используемая в методах прогнозирования.
5.ITU-R Rec. S.614-3. Allowable error performance for a hypothetical reference digital path in the fixed-satellite service operating below 15 GHz when forming part of an international connection in an integrated services digital network (11/93).
6.ITU-R p.618-5 Propagation data and prediction methods required for the design of earth space telecommunication systems.(Question ITU-R 206/3).
7.ITU-R PN.837-1Characteristics of precipitation for propagation modelling(Question ITU-R 201/3).
8.Рекомендация МСЭ-R Р.837-6 Характеристики осадков, используемые при моделировании распространения радиоволн. (Вопрос МСЭ-R 201/3).
9.Электромагнитная совместимость систем спутниковой связи./Под ред. Л.Я. Кантора и В.В.Ноздрина. – М.:НИИР, 2009.
10.Ликонцев Д.Н.Антенны мобильной и спутниковой систем связи. Индивидуальные задания и методические указания к их выполнению для специальности 5А522105 – «Мобильные системы связи».- Ташкент: ТУИТ, 2008.
11.Основы измерения коэффициента шума в радиочастотном и микроволновом диапазонах. Заметки по применению 57-1. Публикация AgilentTechnologies 5953-8255RURU, 2011.
12.Маковеева М.М., Шинаков Ю.С. Системы связи с подвижными объектами. – М.:Радио и связь, 2002.

Приложение

КРАТКАЯ СПРАВОЧНАЯ ИНФОРМАЦИЯ ПО СПУТНИКАМ

Таблица П.1

Типовой частотно-поляризационный план стволов

Номер ствола	Центральная частота на линии «Земля-ИСЗ», МГц	Центральная частота на линии «ИСЗ-Земля», МГц	Выходная мощность ствола, Вт	Полоса пропускания, МГц	Поляризация на линии «Земля-ИСЗ»	Поляризация на линии «ИСЗ-Земля»
A1	13781,25	12531,25	103,5	54	V	H
A2	13781,25	12531,25	103,5	54	H	V
A3	13843,75	12593,75	103,5	54	V	H
A4	13843,75	12593,75	103,5	54	H	V
A5	13906,25	12656,25	103,5	54	V	H
A6	13906,25	12656,25	103,5	54	H	V
A7	13968,75	12718,75	103,5	54	V	H
A8	13968,75	12718,75	103,5	54	H	V
D1	14031,25	11481,25	103,5	54	V	H
D2	14031,25	11481,25	103,5	54	H	V
D3	14093,75	11543,75	103,5	54	V	H
D4	14093,75	11543,75	103,5	54	H	V
D5	14156,25	11606,25	103,5	54	V	H
D6	14156,25	11606,25	103,5	54	H	V
D7	14218,75	11668,75	103,5	54	V	H
D8	14218,75	11668,75	103,5	54	H	V
B1	14281,25	10981,25	103,5	54	V	H
B2	14281,25	10981,25	103,5	54	H	V
B3	14343,75	11043,75	103,5	54	V	H
B4	14343,75	11043,75	103,5	54	H	V
B5	14406,25	11106,25	103,5	54	V	H
B6	14406,25	11106,25	103,5	54	H	V
B7	14468,75	11168,75	103,5	54	V	H
B8	14468,75	11168,75	103,5	54	H	V

Типовые энергетические показатели

В табл. П.2 и П.3 значения ЭИИМ и плотности потока мощности приведены для насыщения в односигнальном режиме.

Таблица П.2

Зона обслуживания	Европейская зона обслуживания			Широкая европейская зона обслуживания		
	1	2	3	1	2	3
«Минимальная ЭИИМ» в зоне, дБВт	50,0	48,0	42,0	48,0	46,0	41,0
Минимальная G/T в зоне, дБ/К	+6	+4	-2	+4	+2	-3

Таблица П.3

Плотность потока мощности насыщения (параметр SFD)

Зона обслуживания	Режим фиксированного усиления дБВт/м^2	Режим автоматической установки уровня, дБВт/м^2
Европейская	-77…-97	-80…-100
Широкая европейская	-77…-97	-80…-100

На рис.П.1 приведена зона обслуживания ИСЗ «Экспресс-АМ6».

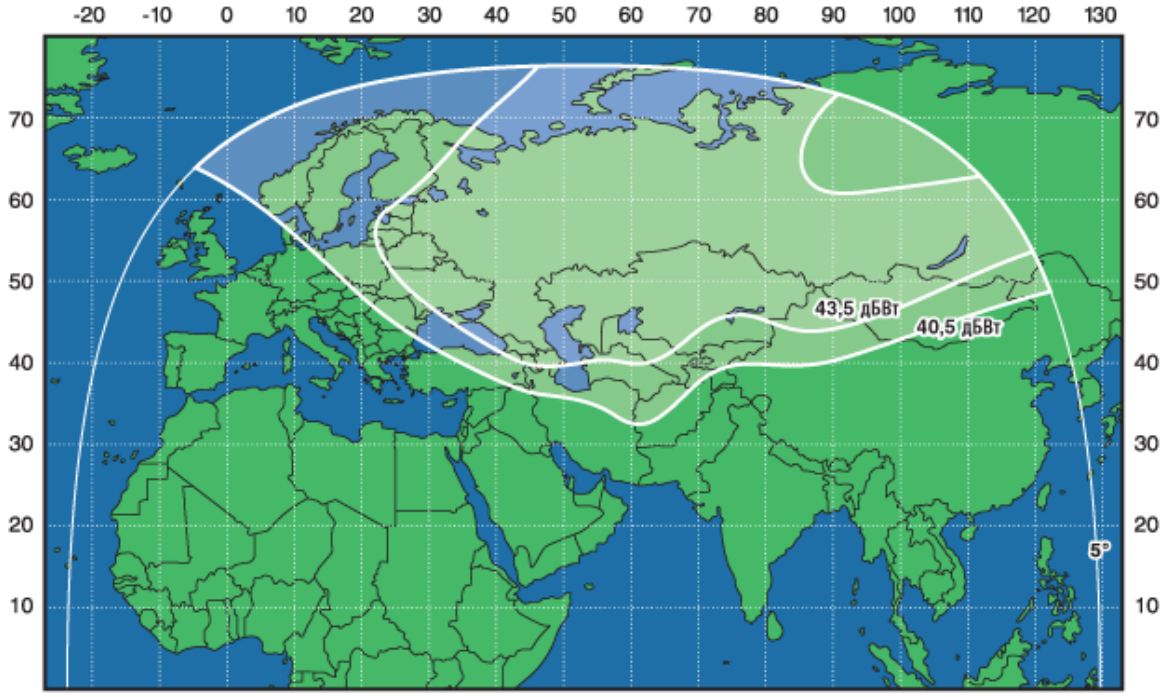

Рис.П.1. Зона обслуживания спутника («Экспресс-АМ6» лучом С1)

© Ликонцев А.Н., 2016

© Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М. А. Бонч-Бруевича», 2016

Ликонцев Алексей Николаевич

«ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЦИФРОВОЙ СПУТНИКОВОЙ ЛИНИИ СВЯЗИ»

Учебно-методическое пособие по выполнению курсовых работ и проведению практических занятий

Редактор *Л. К. Паршина*
Компьютерная верстка *Е. А. Головинской*

План 2016 г., п. 23
Подписано к печати 2016
Объем 2 усл.-печ. л. Тираж 140 экз. Заказ …

Редакционно-издательский центр СПбГУТ
191186 СПб., наб. р. Мойки, 61
Отпечатано в СПбГУТ