

II МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ ПО ДИСЦИПЛИНЕ «КОСМИЧЕСКИЕ И НАЗЕМНЫЕ СИСТЕМЫ РАДИОСВЯЗИ И СЕТИ ТЕЛЕРАДИОВЕЩАНИЯ»

1 Введение

Радиорелейные линии (РРЛ) являются одним из основных видов современных средств связи. Современные РРЛ позволяют осуществить высококачественную передачу различных сообщений на расстояние в несколько тысяч километров. При производстве РРЛ необходимо решить технические, организационные и экономические вопросы.

В зависимости от географического положения линии связи, приходится учитывать разные климатические условия. Известно, что среда распространения радиоволн и климатические условия влияют на характер распространения радиоволн и, следовательно, на качество связи. В зависимости от рельефа местности и особенностей условий распространения радиоволн, высота подвеса антенн может меняться от 0 до 120 метров.

Соответственно при установке РРЛ возникает потребность в расчете качественных показателей, таких как расчет высоты подвеса антенн, устойчивости связи, необходимого запаса на замирание, ожидаемой мощности шумов и соотношения сигнал/шум в канале.

Проектирование радиорелейных станций начинается с выбора и изыскания трасс. Для этой цели, используя топографические карты, намечают общее направление трассы и места расположения узловых и промежуточных радиорелейных станций.

При этом учитывают наличие энергобаз, подъездных путей, близость населенных пунктов и др. Целесообразно, например, прокладка трасс вдоль шоссе или железных дорог.

Длина участка ретрансляции (интервала) зависит от рельефа местности, типа применяемой аппаратуры, высот антенных опор и других условий. Затем рассчитываются качественные показатели каналов связи на выбранной трассе, иногда рассматривается несколько вариантов, после чего производится ее окончательный выбор. Определяющим фактором при этих расчетах является заданная устойчивость работы линии связи при требуемых качественных показателях.

2 Исходные данные для расчета

В процессе закрепления материала по дисциплине «Космические и наземные системы передачи и сети телерадиовещания» выполняют контрольные работы. На данном этапе обучения задания на все контрольные работы объединены в одно комплексное задание, и результаты выполнения работы также засчитываются за выполнение всех контрольных работ по данной дисциплине.

Вариант задания выбираются по двум последним цифрам номера студенческого билета. Параметры задания, соответствующие определенному варианту, выбираются из таблиц 1...3.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета цифровой радиорелейной линии (ЦРРЛ) связи

Исходные данные	Номер варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип аппаратуры	Радан МС	Пихта 2М	Перевал 1	Эриком 48	Радуга 4АС	Радиус	Радан МГ 480	Радиус ДС	Просвет 18	Радиус 18
Диапазон частот, ГГц	11	2	36	43	3	8	11	8	18	18
Мощность сигнала на выходе прд, дБВт	-11	-5	-7	-14	3	-9	-10	-4	-9	-7
Пороговый уровень сигнала, дБВт	-121	-124	-103	-110	-115	-110	-114	-116	-117	-111
Диаметр антенны, м	0.5	2.08	0.5	0.35	1.5	2.5	1.2	1.75	0.9	0.6
Число рабочих	1	1	1	1	3	1	2	1	2	1

СТВОЛОВ										
Скорость передачи, кбит/с	1024	2048	2048	8448	34368	8448	34368	8448	8448	2048
Конфигурация системы	1+1	1+1	1+0	1+0	3+1	1+1	2+0	1+1	2+0	1+1
Длина ЦРРЛ, км	100	240	80	28	260	110	20	125	70	90
Длина пролета, км	45	50	15	5	50	35	20	35	14	25

Таблица 2 – Параметры тропосферы

Номер варианта	Вертикальный градиент $\bar{g} * 10^{-8}$ 1/м	Стандартное отклонение $\sigma * 10^{-8}$ 1/м	Номер климатического района
1	-6.0	6.5	1
2	-8.0	9.5	1
3	-7.0	7.0	3
4	-6.5	8.0	3
5	-9.0	9.0	2
6	-10	8.5	2
7	-6.5	8.0	1
8	-8.5	7.5	3
9	-10	9.0	2
10	-8.5	9.0	1

Таблица 3 – Высотные отметки точек профиля пролета $y(K_i)$

Номер варианта	Относительная координата $K_i = R_i / R_0$										
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
1	73	63	76	74	72	65	57	63	76	89	103
2	73	60	72	71	70	66	58	57	68	83	98
3	73	57	68	68	66	65	61	55	61	77	93
4	73	55	62	65	63	63	61	56	56	70	88
5	73	54	56	61	59	60	57	53	63	63	83
6	73	53	55	55	55	56	57	52	57	67	78
7	73	53	43	47	50	50	52	55	52	51	73
8	73	54	38	44	46	47	51	51	47	47	68
9	73	54	36	29	35	40	42	47	49	42	63
10	73	54	36	23	24	32	37	42	46	39	58

3 Задание на контрольную работу

- 1) Определить число пролетов
- 2) Построить профиль пролетов
- 3) Привести краткую характеристику используемой аппаратуры
- 4) Рассчитать качественные показатели ЦРРЛ: $T_0(V_{\text{МИН}})$, $T_D(V_{\text{МИН}})$, $T_{\Pi}(V_{\text{МИН}})$, $T_{\text{ТР}}(V_{\text{МИН}})$

4 Методические указания к выполнению задания

Комплексная работа выполняется в последовательности, указанной в задании:

1) По заданной длине пролета и протяженности ЦРРЛ определить общее число пролетов. Один из пролетов должен иметь длину R_0 (см. табл. 1).

2) В краткой характеристике аппаратуры указывают, для какой сети она предназначена (магистральной, зонной или местной), особенности плана распределения рабочих частот, системы резервирования. Используемые в расчетах параметры аппаратуры сводятся в таблицу по форме таблицы 4

Таблица 4 -Параметры аппаратуры

Наименование параметра	Обозначение	Размерность	Значение	Источник

В настоящем домашнем задании трасса РРЛ условно задана общей длиной $L_{МАГ}$ и профилями пролетов. Перечисляют основные требования к выбору трассы РРЛ при реальном проектировании, а также требования, предъявляемые к местам размещения станций.

Расчет устойчивости связи на ЦРРЛ производится в несколько этапов.

• **Выполняют построение профиля пролета, предварительно рассчитав линию условного нулевого уровня:**

$$y_i = \frac{R_0^2}{2R_3} K_i (1 - K_i),$$

где R_0 – длина пролета, м;

R_3 – геометрический радиус земли (6370 км);

K_i – текущая относительная координата заданной точки:

$$K_i = \frac{R_i}{R_0},$$

где R_i - расстояние до текущей точки.

Профиль интервала получают, прибавляя к высоте условного нулевого уровня высотные отметки y_2 (K_i) из табл. 3 в соответствии с заданием. Профиль пролета $y = y_1 + y_2$ изображают на чертеже, применяя стандартные масштабы (для расстояний М 1:100000, для высот М 1:1000) и соединяя высотные отметки прямыми линиями.

• **Рассчитывают величину просвета $H(0)$:**

$$H(0) = H_0 - \Delta H(\bar{g}),$$

где $H(0)$ – величина просвета без учета рефракции радиоволн;

H_0 – критический просвет, определяемый как

$$H_0 = \sqrt{\frac{1}{3} R_0 \lambda K_{TP} (1 - K_{TP})},$$

где R_0 – длина пролета;

λ – рабочая длина волны (см. табл. 4);

K_{TP} – относительная координата наивысшей точки профиля пролета;

$\Delta H(\bar{g})$ – приращение просвета, обусловленное явлением рефракции:

$$\Delta H(\bar{g}) = -\frac{R_0^2}{4} \bar{g} K_{TP} (1 - K_{TP}),$$

где \bar{g} – среднее значение вертикального градиента диэлектрической проницаемости тропосферы, 1/м (табл. 2).

Высоты подвеса антенн h_1 и h_2 получают графическим методом, откладывая величину $H(0)$ вверх от наивысшей точки профиля и соединяя антенны прямой линией. Целесообразно высоты подвеса антенн выбирать примерно одинаковыми: $h_1 = h_2 = h$

- Зная высоты подвеса антенн, рассчитывают КПД антенно-фидерного тракта

$$\eta = 10^{-0.1a_{\text{общ}}},$$

где $a_{\text{общ}}$ – общее затухание тракта, складывающееся из затухания сосредоточенных элементов (принять равным 3 дБ), и затухания волновода. Затухание волновода находят, зная длину волновода (принять равной высоте подвеса антенн) и погонное затухание волновода (принять равным 0,05дБ/м).

- Расчет минимально допустимого множителя ослабления $V_{\text{МИН}}$, производят по формуле:

$$V_{\text{МИН}} = P_{\text{пор}} - P_{\text{ПД}} + W_0 - G_{\text{ПД}} - G_{\text{ПР}} + \eta_{\text{АВТ}}, \text{ дБ},$$

где $P_{\text{пор}}$ – пороговая мощность сигнала на входе приемника, дБВт;

$P_{\text{ПД}}$ – мощность сигнала на выходе передатчика, дБВт;

W_0 – затухание сигнала в свободном пространстве, дБВт:

$$W_0 = 20 \lg \left(\frac{4\pi R_0}{\lambda} \right), \text{ дБ},$$

где $G_{\text{ПД}}, G_{\text{ПР}}$ – коэффициенты усиления передающей и приемной антенн, дБ. Величина G рассчитывается по формуле

$$G = K_1 \frac{4\pi S}{\lambda^2}$$

где S – площадь раскрытия антенны,

λ – длина волны;

K_1 – коэффициент использования поверхности раскрытия (апертуры) антенны. В расчетах принять $K_1 = 0,6$.

- Расчет величины $T_{\text{ТР}}(V_{\text{МИН}}) = P(V < V_{\text{МИН}})$, характеризующей суммарную устойчивость связи на пролете ЦРРЛ, проводят по упрощенной методике.

В общем случае:

$$T_{\text{ТР}}(V_{\text{МИН}}) = T_0(V_{\text{МИН}}) + \sum_{\Pi} T_{\Pi}(V_{\text{МИН}}) + T_{\text{ТР}}(V_{\text{МИН}}) + T_{\text{Д}}(V_{\text{МИН}})$$

где $T_0(V_{\text{МИН}})$ – процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально-допустимого за счет экранирующего действия препятствий на пролете РРЛ;

$\sum_{\Pi} T_{\Pi}(V_{\text{МИН}})$ – процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше

минимально-допустимого за счет интерференции прямой волны и волн, отраженных от земной поверхности;

$T_{\text{ТР}}(V_{\text{МИН}})$ – процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально-допустимого за счет интерференции прямой волны и волны, отраженной от неоднородностей тропосферы;

$T_{\text{Д}}(V_{\text{МИН}})$ – процент времени, в течение которого множитель ослабления меньше минимально-допустимого за счет деполяризационных явлений в тропосфере.

- Расчет составляющей $T_0(V_{\text{МИН}})$.

Величина $T_0(V_{МИН})$ зависит от протяженности интервала, длины волны, величины просвета, рельефа местности.

На пролетах длиной менее 50 км, когда препятствия на трассе удовлетворительно аппроксимируются выпуклой сферой, расчет $T_0(V_{МИН})$ проводят по профилям, построенным при $g = 0$. При этом $T_0(V_{МИН})$ определяется в зависимости от параметра:

$$\psi = 2.31A[P(\bar{g}) - P(g_0)].$$

Параметр A определяется из выражения:

$$A = \frac{1}{\sigma} \sqrt{\frac{\lambda}{R_0^3 K_{TP} (1 - K_{TP})}},$$

где σ – стандартное отклонение градиента диэлектрической проницаемости тропосферы;

λ – длина волны;

R_0 – длина пролета;

K_{TP} – относительная координата наивысшей точки профиля.

$P(\bar{g})$ – относительный просвет на пролете при $g = \bar{g}$. Вычисляется с учетом выбранного значения $H(0)$ и приращения просвета за счет рефракции радиоволн:

$$P(\bar{g}) = \frac{H(0) - \Delta H(\bar{g})}{H_0},$$

$P(g_0)$ – относительный просвет, при котором $V = V_{МИН}$. Эта величина находится из графика, приведенного на рис.1 в зависимости от параметра μ , характеризующего препятствие на пролете:

$$\mu = 2.023 \sqrt{\frac{K_{TP}^2 (1 - K_{TP})}{l^2}},$$

где K_{TP} – относительная координата наивысшей точки профиля;

$$l = \frac{r}{R_0}.$$

Значение r находится путем геометрических построений на профиле пролета. Зависимость $T_0(V_{МИН})$ приведена на рис.2.

- **Расчет величины $\sum_{II} T_{II}(V_{МИН})$**

В общем случае:

$$\sum_{II} T_{II}(V_{МИН}) = f[P(\bar{g}), A] \sqrt{\frac{V_{МИН}^2 - (1 - \Phi)^2}{\Phi}} * 100\%,$$

где $f[P(\bar{g}), A]$ – двумерная функция, определяемая по графику, приведенному на рис.3.

Величину Φ – коэффициент отражения от земной поверхности, в расчетах принять равной единице.

- **Расчет величины $T_{TP}(V_{МИН})$.**

При $V_{МИН} \leq -(15 \div 20) \text{дБ}$

$$T_{TP}(V_{МИН}) = V_{МИН}^2 * T(\Delta\varepsilon)$$

где $T(\Delta\varepsilon)$ – параметр, учитывающий вероятность возникновения многолучевых замираний, обусловленных отражениями радиоволн от слоистых неоднородностей тропосферы с перепадом диэлектрической проницаемости воздуха ($\Delta\varepsilon$). Значения $T(\Delta\varepsilon)$ представляются в %.

$$T(\Delta\varepsilon) = 4.1 * 10^{-4} * Q * R_0^2 \sqrt{f_0^3}$$

где Q – климатический коэффициент, в расчетах полагают $Q = 1$;

R_0 – длина пролета, км;
 f – рабочая частота, ГГц.

• **Расчет величины $T_D(V_{МИН})$**

Величина $T_D(V_{МИН})$ учитывается на ЦРРЛ, работающих на частотах выше 8 ГГц. Расчет проводят в следующей последовательности: По известному значению ($V_{МИН}$) определяют минимально-допустимую интенсивность дождей J для данного пролета (рис. 4). Далее по рис.5 в зависимости от номера климатического района определяют $T_D(V_{МИН})$

• **Ожидаемая величина процента времени, в течение которого не выполняется норма на устойчивость связи на всей ЦРРЛ, рассчитывают по формуле:**

$$T_{ОЖ}(V_{МИН}) = \sum_1^n T_{ПР}(V_{МИН})$$

где n - число пролетов на линии.

Полученное значение $T_{ОЖ}(V_{МИН})$ необходимо сравнить с нормируемым значением (табл.5) и сделать выводы.

Таблица 5 – Нормируемые значения $T_{ДОП}(V_{МИН})$ для проектируемых ЦРРЛ

Участок ВСС России	Длина эталонной ЦРРЛ, км	$T_{ДОП}(V_{МИН}), \%$	Распределение $T_{ДОП}(V_{МИН})$ для реальных линий
Международный участок	12500	0,06	Пропорционально длине эталонной ЦРРЛ, км
Национальный участок – магистральная сеть	2500	0,012	Пропорционально длине эталонной ЦРРЛ, км (>50 км)
Внутризоновая сеть	600	0,012	Независимо от длины
	200	0,01	
Местная сеть	100	0,01	Независимо от длины
	50	0,01	

• **Расчет устойчивости связи на ЦРРЛ с учетом резервирования.**

В случае поучастковой системы резервирования неустойчивость связи на ЦРРЛ в пределах одного участка резервирования может быть рассчитана:

$$T_{УЧ}(V_{МИН}) = \sum_1^K T_0(V_{МИН}) + C_f \frac{l+1}{2} * 10^{-2} \left[T_{ТР}(V_{МИН}) + \sum_1^K \sum_{П} T_{П}(V_{МИН}) \right]^2 + \sum_1^K T_g(V_{МИН}), \%$$

где K – число пролетов на участке резервирования;

l – число рабочих стволов на ЦРРЛ;

C_f – поправочный коэффициент, учитывающий корреляцию разнесенных сигналов.

Для всей линии:

$$T_{ЛИН}(V_{МИН}) = \sum_1^m T_{УЧ}(V_{МИН}),$$

где m – число участков резервирования.

В домашнем задании принять, что проектируемая ЦРРЛ включает один участок резервирования и коэффициент $C_f = 1$.

Список литературы

1. Т.Н. Нарытник. Радиорелейные и тропосферные системы передачи – Киев: Видавничий Дім, 2003.
2. Радиорелейные и спутниковые системы передачи. Учебник для вузов. /А. С. Немировский, О.С. Данилевич, Ю.И. Маримонт и др. Под ред. А. С. Немировского, - М: Радио и связь, 1986. - 392 с.
3. Системы радиосвязи. Учебник для вузов. / Я.И. Калашников, Э.И. Крупницкий, И. Л. Дороднов, В.И.Носов. Под. Ред. Н.К. Калашникова. М.: Радио и связь, 1988. - 352 с.
4. Ингвар Хенке, пер. Торвальдин. Проектирование радиорелейных линий прямой видимости. Nera Telecommunications. - М.: Nera ASA, 1994. – 155с.
5. Межгосударственный стандарт. Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к ширине полосы радиочастот и вне-полосным излучениям радиопередатчиков. Методы измерений и контроля. ГОСТ 30318-95.
6. Аппаратура радиорелейная. Классификация. Основные параметры цепей стыка. ГОСТ 350765-95.
7. Антенны радиорелейных линий связи. Классификация и общие технические требования. ГОСТ Р50867-96.
8. Радіозв'язок радіорелейний. Терміни та визначення. ДСТУ 3610-97.
9. Радиорелейные системы передачи прямой видимости. Термины та значения. ДСТУ 3936-99.
10. Радиорелейные системы передачи прямой видимости. Классификация. Основные параметры. Методы измерения. ДСТУ 3937-99
11. Баева Я.Я. Многоканальная электросвязь и РРЛ. Учебник для вузов. - М.: Радио и связь, 1988.- 312 с.
12. Матье М. Радиорелейные системы передачи: Перевод с французского / Под ред. В.В. Маркова. - М.: Радио и связь, 1982. - 280 с.
13. Микроволновые технологии в телекоммуникационных системах. / Т.Я. Нарытник, В.П. Бабак, М.Е. Ильченко, С.А. Кравчук.-К.: Техника, 2000. - 304 с.
14. Справочник по радиорелейной связи. Каменский Я.К, Модель А.М., Надененко Б.С и др.; Под. ред. С.В. Бородича.- Изд. 2-е, Перераб. и доп. - М.: Радио и связь, 1981. - 416 с.
15. Микроволновые устройства телекоммуникационных систем. / М.З. Згуровский, М.Е. Ильченко, С.А. Кравчук, Т.Я. Нарытник, Ю.И. Якименко: В 2 т. - К.: ІВЦ "Видавництво 'Політехніка", 2003. - т.1: Распространение радиоволн. Антенны и частотно-избирательные устройства - 456 с. - Т.2: Устройства передающего и приемного трактов. Проектирование устройств и реализация систем. - 616 с.
16. Теория передачи сигналов /А.Г. Зюко, Д.Д. Кловский, М.В. Назаров, Л.М. Финк.— М.: Связь, 1980.— 288 с.
17. Регламент радиосвязи; В2т. — М.: Радио и связь, 1985—1986—2т.
18. ГОСТ 11515—75. Каналы и тракты звукового вещания. Классы. Основные параметры качества.
19. ГОСТ 19463—74. Тракты телевизионные вещательные передачи изображения. Магистральные каналы изображения радиорелейных и кабельных линий связи.
20. Бубман Д.Р. Статистические характеристики многоканальных сигналов и методы их расчета // Сб. науч. тр./ЦНИИ.— 1968.— Вып. 3.— С. 68—85.
21. Спилкер Дж. Цифровая спутниковая связь/Пер. с англ.; Под ред. В.В. Маркова. – М.: Связь, 1979. – 592 с.
22. Левин Л.С, Плоткин М.А. Цифровые системы передачи информации. М.: Радио и связь, 1982.—216 с.
23. Давыдов Г.В., Рогинский В.Н., Толчан А.Я. Сети электросвязи. — М.: Связь, 1977.—360 с.
24. Нейман В. И. Теоретические основы Единой автоматизированной сети связи. – М.: Наука, 1984. – 224 с.
25. Винер Н.Я. Математика. — М.: Наука, 1967.—300 с.
26. Калинин А. И. Расчет трасс радиорелейных линий.— М.: Связь, 1964.
27. Левин Б. Р. Теоретические основы статистической радиотехники Кн. 1 —М.: Сов. радио, 1966—728 с.

28. Нормы на электрические параметры ВЧ трактов ТФ стволов, линейных и групповых трактов аналоговых систем передачи, образованных с помощью радиорелейных систем. — М.: Радио и связь, 1983.— 220 с.
29. Мордухович Л. Р., Степанов А. П. Системы радиосвязи: Курсовое проектирование. — М.: Радио и связь, 1987. —192. с.
30. Левин Б. Р. Теория надежности радиотехнических систем: математические основы. — М.: Сов. радио, 1978.—264 с.
31. John O. Oetting. A Comparision of Modulation Techniques for Digital Radio. - IEEE Trans. 1979 — Vol. COM-27, № 12. — P. 1752 — 1762.
32. Feher K. e.a. Digital Communication by Radio. — IEEE Trans. 1979 Vol. COM-27, № 12. — P. 1743 — 1752.

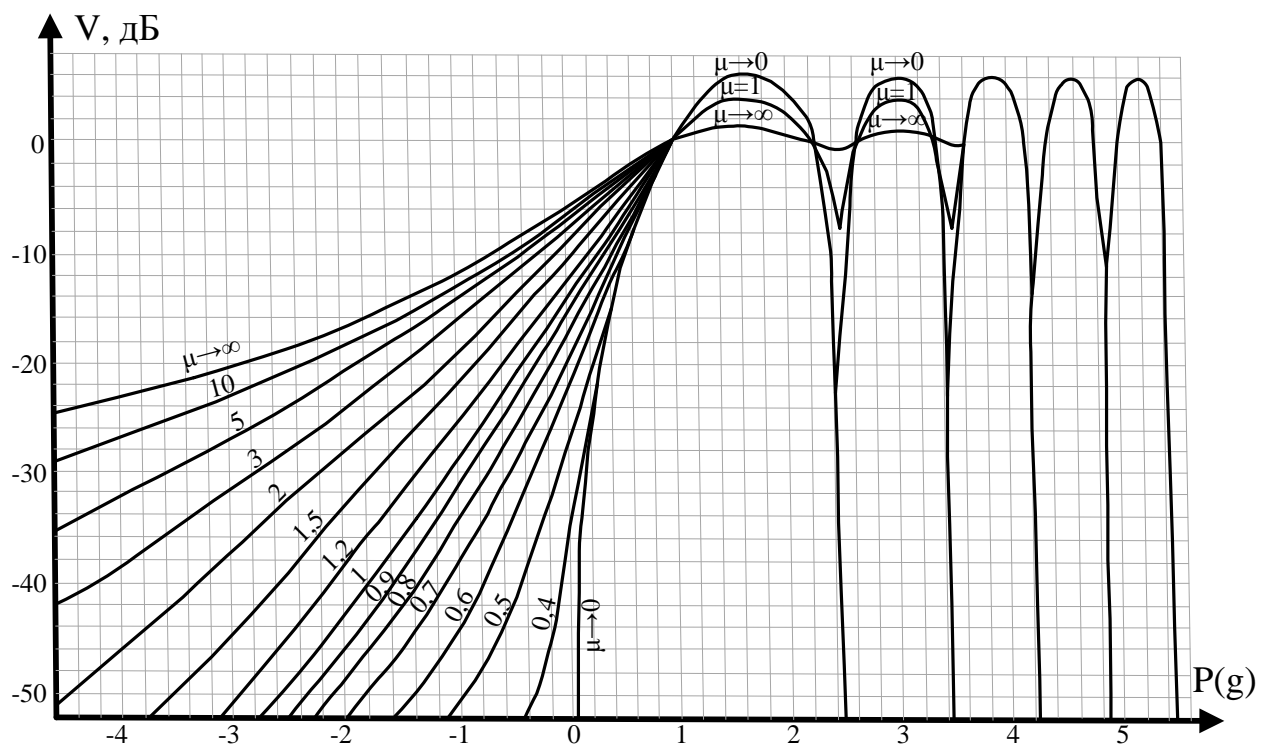


Рисунок 1 – Зависимость множителя ослабления от относительного просвета

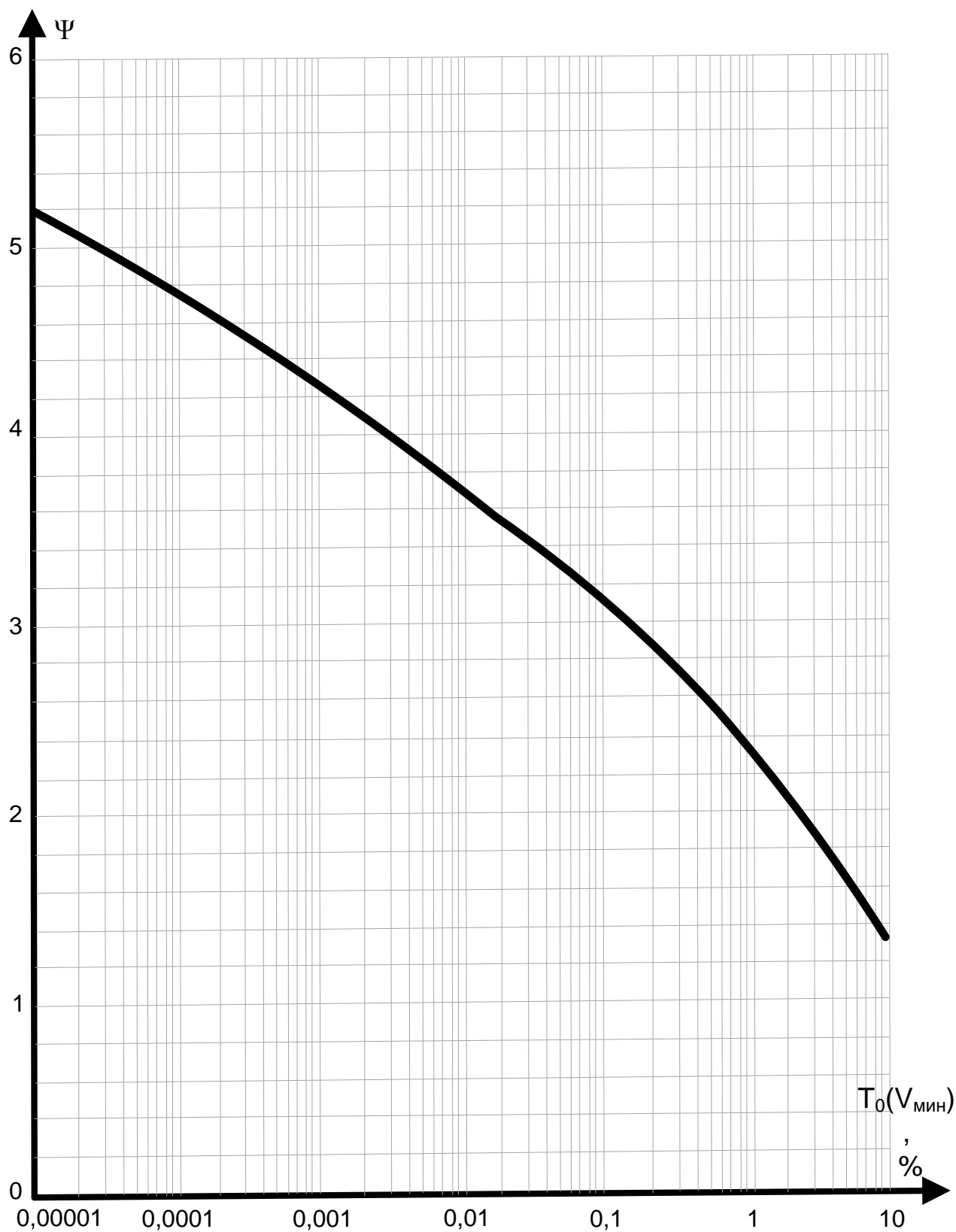


Рисунок 2 – График для определения T_0

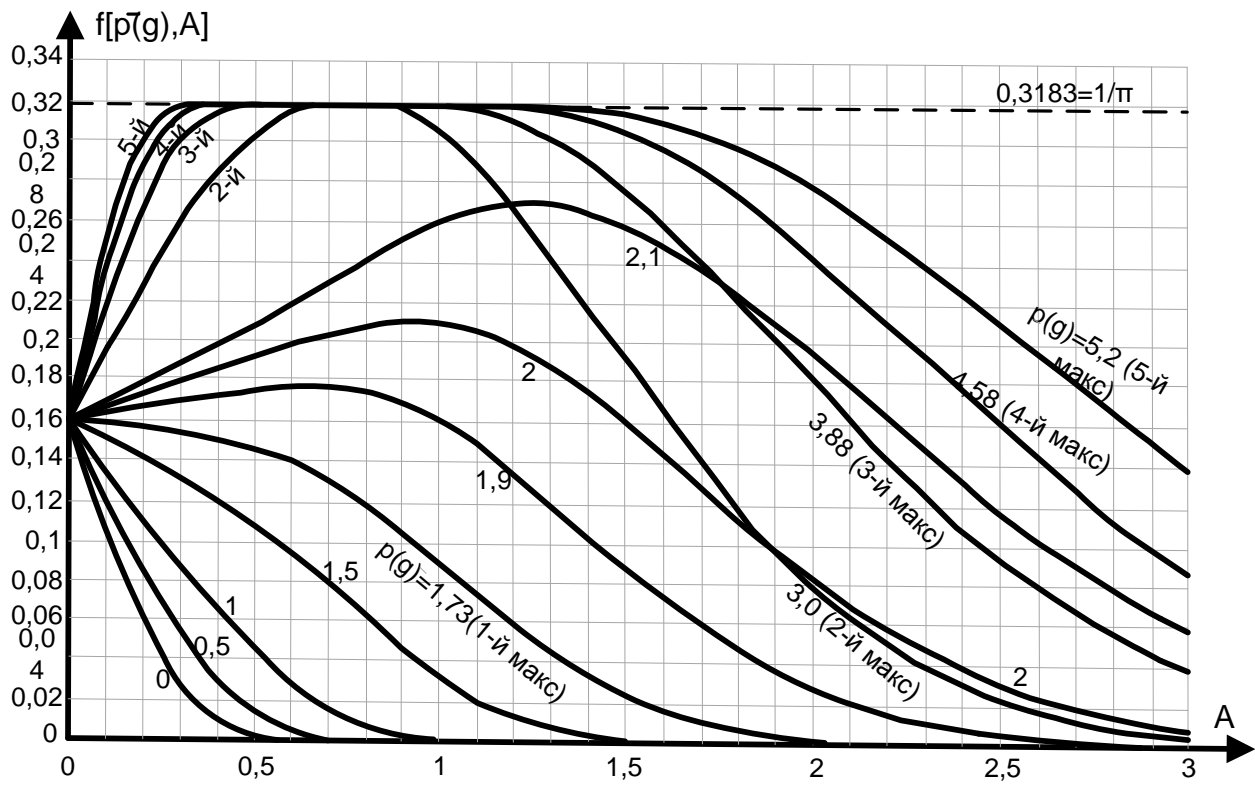


Рисунок 3 – График для определения двумерной функции

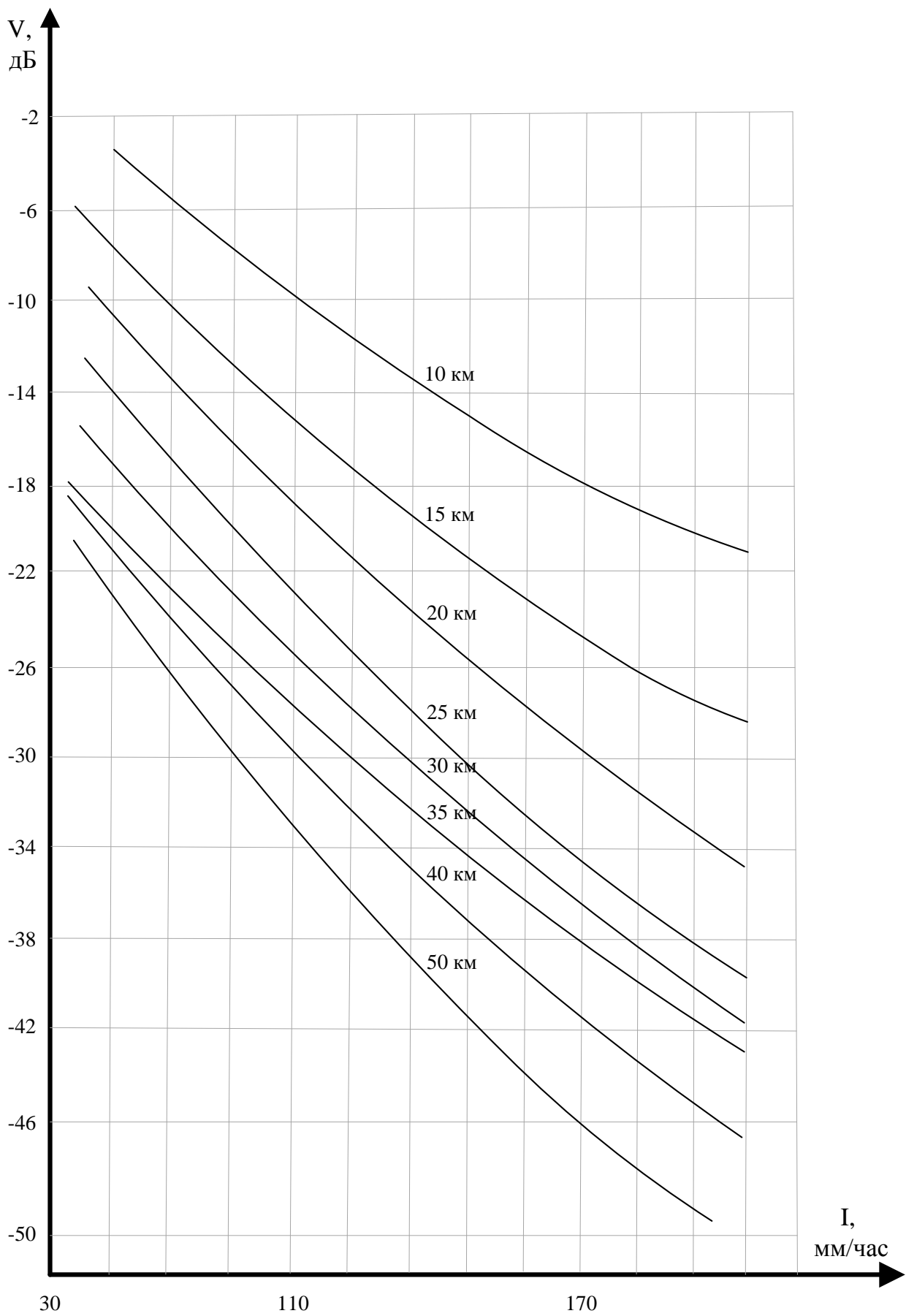


Рисунок 4 – Кривые для определения предельно допустимой интенсивности дождя

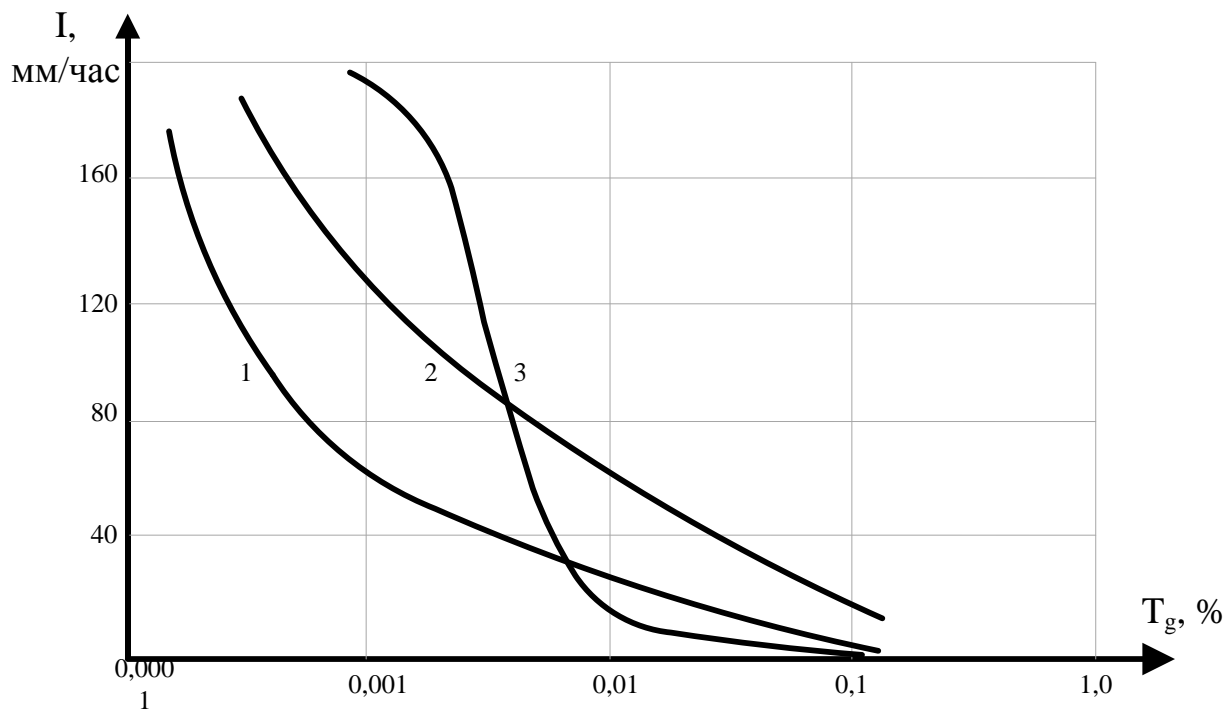


Рисунок 5 – Кривая для определения T_0