

РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.1669-1*

Критерии помех для фиксированных беспроводных систем, действующих в полосах 37–40 ГГц и 40,5–42,5 ГГц, в отношении спутников на геостационарной орбите

(Вопрос МСЭ-R 127/9)

(2004-2007)

Сфера применения

В Рекомендации МСЭ-R F.1669 приведены критерии помех для защиты систем фиксированной беспроводной связи (СФБС) от помех со стороны спутников ГСО в диапазонах 38 и 40 ГГц. Представлены две группы критериев, с одной стороны, для некоторых линий при определенных применениях широкополосного беспроводного доступа, и, с другой стороны, – для всех других СФБС.

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

учитывая,

- a) что желательно определить критерии защиты систем фиксированной беспроводной связи, работающих в диапазонах 38 ГГц (37–40 ГГц) и 40 ГГц (40,5–42,5 ГГц), по отношению к помехам со стороны геостационарных спутниковых систем (ГСО), действующих на совместной первичной основе;
- b) что в ситуациях помех, связанных с ГСО космическими станциями, существует возможность того, что системы фиксированной службы (ФС) будут подвержены помехам высокого уровня в некоторых геометрических положениях, при которых может быть затронуто качество работы или готовность этих систем;
- c) что проектирование линии ФС в диапазонах 38 и 40 ГГц обусловлено влиянием ослабления в дожде, которое может быть смоделировано с применением Рекомендации МСЭ-R P.530;
- d) что ряд администраций использует автоматическое регулирование мощности передачи (АРМП) на некоторых линиях ФС в диапазонах 38 и 40 ГГц и что применение АРМП будет увеличивать восприимчивость систем ФС, в частности к кратковременным помехам;
- e) что некоторые системы ФС с небольшими чистыми запасами на замирание не могут быть полностью защищены от помех со стороны ГСО спутниковых систем без наложения на эти службы чрезмерных ограничений;
- f) что для типовых линий ФС с АРМП потребуются более жесткие критерии защиты, чем необходимые для линий ФС без АРМП с большим запасом на замирание;
- g) что в диапазонах 38 и 40 ГГц к системам ФС не применяются ограничения в отношении наведения и что такие ограничения неосуществимы в связи с их широкомасштабным, критичным в плане затрат развертыванием,

признавая,

- a) что полосы 37,5–40 ГГц и 40,5–42,5 ГГц совместно используются с ФСС на равной первичной основе и что в МСЭ-R была разработана Рекомендация МСЭ-R SF.1573 об уровнях п.п.м., необходимых для защиты ФС в этих полосах;

* Настоящая Рекомендация должна быть доведена до сведения 3-й, 4-й и 7-й Исследовательских комиссий по радиосвязи.

б) что применение критериев, представленных в этой Рекомендации, не предполагает пересмотра Рекомендации МСЭ-R SF.1573,

отмечая,

а) что помехи, создаваемые спутниками ГСО на приемнике ФС, в зависимости от всех азимутов этого приемника ФС имеют, как показано на рис. 2, два пика для двух конкретных азимутов ФС, при которых, в зависимости от геометрии линии ФС, направление наведения этой линии проходит через дугу ГСО,

рекомендует

1 использовать следующие критерии помех, определяющие маску помех, такую как представленную на рис. 1, для защиты систем фиксированной службы от помех, создаваемых спутниками ГСО различных служб в полосах 37–40 ГГц и 40,5–42,5 ГГц на совместной первичной основе:

1.1 что для систем фиксированной беспроводной связи в целом:

1.1.1 отношение помеха/шум (I/N) на входе приемника ФС не должно превышать -10 дБ за исключением разноса в пределах диапазона азимутов $\pm 15^\circ$ в случае, когда главный луч антенны ФС пересекает дугу ГСО (Примечания 1 и 2);

1.1.2 при азимутах ФС в пределах этого диапазона $\pm 15^\circ$ отношение помеха/шум на входе приемника ФС может быть приемлемым до значения $+4$ дБ для азимутов, соответствующих пикам (Примечания 1 и 2);

1.2 что для некоторых линий при определенных применениях ШБД:

1.2.1 отношение помеха/шум (I/N) на входе приемника ФС не должно превышать -10 дБ за исключением разноса в пределах диапазона азимутов $\pm 5^\circ$ в случае, когда главный луч антенны ФС пересекает дугу ГСО (Примечания 1 и 2);

1.2.2 при азимутах ФС в пределах этого диапазона $\pm 5^\circ$ отношение помеха/шум на входе приемника ФС может быть приемлемым до значения 0 дБ для азимутов, соответствующих пикам (Примечания 1 и 2);

2 что информация, содержащаяся в Приложении 1 и дополнениях к нему, должна использоваться в качестве руководства по использованию настоящей Рекомендации.

ПРИМЕЧАНИЕ 1. – Уровни этих отношений I/N относят к общему шуму на входе приемника, включая уровень шума системы (кТВФ) и шум внутри службы (см. п. 5 Приложения 1).

ПРИМЕЧАНИЕ 2. – Диапазоны азимутов $\pm 15^\circ$ или $\pm 5^\circ$, указанные в пп. 1.1 и 1.2 раздела *рекомендует*, соответственно, основаны на применении методики временного подхода и элементов конкретной модели очага дождя. Дополнительное уточнение этой модели очага дождя или какая-либо новая модель могут оказывать некоторое влияние на эти диапазоны азимутов и привести в дальнейшем к изменению настоящей Рекомендации.

Приложение 1

Получение критериев защиты ФС в диапазонах 38 ГГц и 40 ГГц, применяемых к сценариям совместного использования ГСО

1 Введение

Представленная в этом Приложении методика основана на предположениях о том, что показатель ошибок по битам в диапазонах 38 ГГц и 40 ГГц зависит от замирания в дожде. Поэтому в случаях, когда помехи от спутников ГСО приходят по азимутам, расположенным вблизи азимута оси основного луча приемной антенны ФС, полезный и мешающий сигналы будут подвергаться замираниям. Вследствие этого мощность помех при отсутствии замираний может быть выше уровня допустимого, если бы мощность помех была постоянной. Эта мощность помех в случае отсутствия замираний определяется при требовании выполнения контрольного критерия показателя ошибок по битам для того же самого процента времени независимо от существования корреляции между замираниями полезного и мешающего сигналов.

2 Запасы на замирание в ФС

В диапазонах 38 ГГц и 40 ГГц и в силу того, что протяженности линий вероятнее всего должны быть меньше 2 км, запас на замирание в ФС, равный 14 дБ, считается типичным для обычных линий ввиду сделанного предположения о том, что для большинства таких линий запас на замирание (или чистый запас на замирание¹) превышает это значение. Следует отметить, что запас на замирание 14 дБ при рассмотрении систем с АРМП соответствует линии с большим запасом (например, равным чистому запасу на замирание 14 дБ + диапазон АРМП 10 дБ).

С другой стороны, также отмечалось, что при определенных применениях ШБД для некоторых коротких линий используется запас на замирание, равный 10 дБ, и что, следовательно, для этих линий потребовалось бы меньшее значение I/N .

Для обеспечения рассмотрения этих запасов в таблице 2, составленной на основе Рекомендации МСЭ-R P.530, представлены требуемые запасы на ослабление в дожде для линий протяженностью до 1,6 км при пяти различных интенсивностях дождя в условиях вертикальной и горизонтальной поляризации.

Однако следует отметить, что в этих диапазонах 38 и 40 ГГц запасы на замирание в дожде, равные 14 дБ или 10 дБ, подтверждены расчетами с использованием Рекомендации МСЭ-R P.530, в которой не приводятся значения запасов на замирание по отношению к измеренному значению показателя ошибок, а даются абсолютные значения ослабления (замирания в дожде) для заданного процента времени.

Кроме того, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.1498, для линии, спроектированной для работы при уровне готовности 99,999%, и, в частности, для систем ШБД, которые, как предполагается, будут конкурировать с волоконно-оптическими системами, запас на замирание может быть отнесен к $BER = 1 \times 10^{-6}$ или уровню секунд со значительным количеством ошибок (SES). Была также достигнута договоренность, что при проектировании линии ФС следует учитывать допустимый уровень помех со стороны ФС, равный 1 дБ, который, таким образом, увеличивает мощность эталонного шума на 1 дБ относительно мощности шума системы.

¹ Для линии ФС с использованием АРМП чистый запас на замирание равен общему запасу минус диапазон АТРС.

Кроме того, было также принято во внимание, что по техническим причинам (минимально возможная мощность, существующие размеры антенн, фиксированная мощность передачи станций-концентраторов, ...) линии ФС в диапазонах 38 и 40 ГГц и, в частности, системы передачи из пункта во многие пункты вероятно будут представлять "дополнительный запас на проектирование" по сравнению с запасом на ослабление в дожде. Как минимум, для линий передачи из пункта во многие пункты значение этого "дополнительного запаса на проектирование" зависит от уровня ступенчатости установки мощности, возможных аттенуаторов, а также усиления антенны, что позволило бы проектировщику ФС скорректировать уровень приема как можно ближе к теоретическому уровню. Несмотря на то что этот запас не был принят во внимание при определении общего эталонного запаса линии ФС, была достигнута договоренность о его учете в качестве дополнительного фактора достоверности при получении критериев защиты.

Исходя из согласованных предположений о том, что запасы на замирание M_F для секунд с ошибками (ES) и секунд SES, соответственно, на 3 дБ ниже и на 1 дБ выше запаса на замирание, отнесенного к уровню $BER = 1 \times 10^{-6}$, который на 2 дБ ниже запаса на замирание, отнесенного к уровню $BER = 1 \times 10^{-3}$, в таблице 1 приведены различные значения запасов на замирание, соответствующих $M_F = 14$ дБ и 10 дБ, отнесенных к уровню SES.

ТАБЛИЦА 1

**Соответствие запаса на замирание в дожде
и показателей качества по ошибкам**

	Запас на замирание 14 дБ	Запас на замирание 10 дБ
ES (дБ)	10	6
$BER = 1 \times 10^{-6}$ (дБ)	13	9
SES (дБ)	14	10
$BER = 1 \times 10^{-3}$ (дБ)	15	11

3 Получение маски I/N

Получение маски I/N , которая должна применяться к спутникам ГСО ФСС, было основано на оценке двух различных факторов:

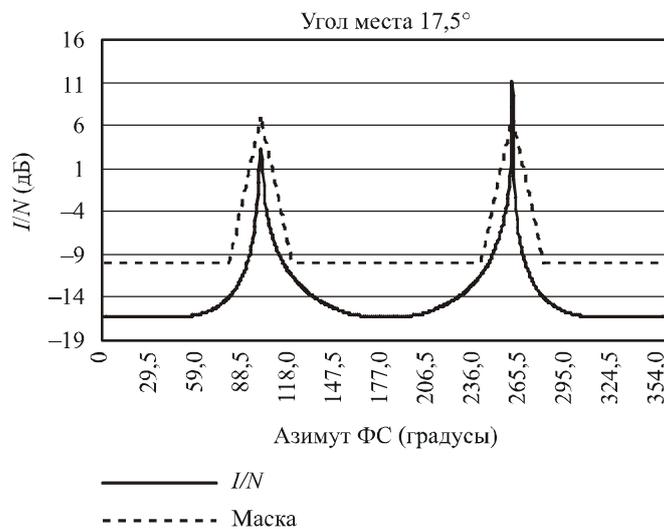
- воздействия на ФС помех и в частности (в главном луче антенны в условиях осадков) сложных помех, состоящих из частей сигналов помех при наличии замираний и при их отсутствии (см. Дополнение 2 к Приложению 1);
- корреляции между ослаблением сигнала в дожде и помехами в главном луче антенны ФС в целях определения угла X° относительно главного луча, при котором можно предположить, что данный уровень корреляции существует с определенной степенью достоверности (см. Дополнение 3 к Приложению 1).

4 Маска критериев I/N

На основе элементов, приведенных в п. 3, на рис. 1 показаны маски I/N , которые являются критериями защиты ФС, относящимися к азимуту и представляющими собой максимум I/N для пикового сигнала помех для случая ориентации приемника ФС на дугу ГСО и для диапазона азимутов, при которых I/N снижается от этого максимального значения до -10 дБ.

РИСУНОК 1

Описание маски I/N для спутников ГСО
в диапазонах 38 и 40 ГГц



1669-01

Как правило, для систем фиксированной беспроводной связи (СФБС), в отношении которых была достигнута договоренность о том, что запас на замирание, равный 14 дБ, является типичным, были определены максимальное значение I/N и диапазон азимутов, составляющие соответственно +4 дБ и $\pm 15^\circ$.

Для некоторых линий при определенных применениях ШБД, в которых используется запас на замирание, равный 10 дБ, эти параметры были определены как 0 дБ и $\pm 5^\circ$, соответственно.

5 Эталонный уровень шума

Маски I/N , описанные в п. 4 выше, относятся к общему уровню шума, который включает допустимый уровень помех внутри службы, равный 1 дБ. Это означает, что $N = kTBF + 1$ дБ.

**Дополнение 1
к Приложению 1**

ТАБЛИЦА 2

Запасы на замирание в дожде при уровне готовности 99,999%

Протяжен- ность линии (км)	Запас на замирание на частоте 39,3 ГГц, горизонтальная поляризация (дБ)					Запас на замирание на частоте 39,3 ГГц, вертикальная поляризация (дБ)				
	Интенсивность дождя (мм/ч) (зона)					Интенсивность дождя (мм/ч) (зона)				
	12 (B)	22 (E)	42 (K)	63 (M)	95 (N)	12 (B)	22 (E)	42 (K)	63 (M)	95 ⁽¹⁾ (N)
0,1	0,8	1,3	2,5	3,6	5,2	0,6	1,1	2,1	3	3,0
0,2	1,5	2,7	4,9	7,1	16,4	1,3	2,3	4,2	6	5,9
0,3	2,2	4	7,3	10,6	15,4	1,9	3,4	6,2	9	8,8
0,4	3	5,3	9,6	14	20,3	2,6	4,5	8,2	11,9	11,6
0,5	3,7	6,5	12	17,4	25,1	3,2	5,6	10,2	14,7	14,3
0,6	4,4	7,8	14,3	20,7	29,8	3,8	6,7	12,2	17,6	17,0
0,7	5,2	9,1	16,6	24	34,3	4,5	7,8	14,2	20,3	19,6
0,8	5,9	10,4	18,9	27,2	38,8	5,1	8,9	16,1	23	22,2
0,9	6,6	11,6	21	30,4	43,2	5,7	10,0	18,0	25,8	24,7
1,0	7,3	12,8	23,3	33,6	47,5	6,3	11,0	19,9	28,5	27,1
1,1	8	14,1	25,5	36,7	51,7	6,9	12,1	21,8	31	29,5
1,2	8,7	15,3	27,7	39,8	55,8	7,5	13,1	23,7	33,7	31,9
1,3	9,4	16,5	29,9	42,8	59,8	8,1	14,2	25,5	36,2	34,1
1,4	10,1	17,7	32	45,8	63,8	8,7	15,2	27,3	38,8	36,4
1,5	10,8	18,9	34,1	48,7	67,6	9,3	16,2	29,1	41,3	38,6
1,6	11,4	20,1	36,2	51,6	71,4	9,9	17,3	30,9	43,7	40,8

(1) Запасы на замирание в случае интенсивности дождя 95 мм/ч для вертикальной поляризации были рассчитаны исходя из предположения, что широта находится ниже 30° (это оказывает влияние на расчет, в соответствии с Рекомендацией МСЭ-R P.530).

Дополнение 2 к Приложению 1

Воздействие помех на системы ФС

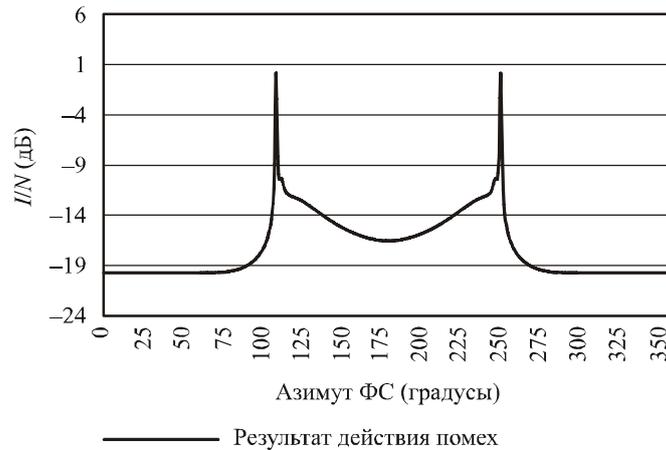
1 Введение

Как правило, линия будет проектироваться так, чтобы полностью удовлетворять только одному критерию качества работы. Если этот критерий является контрольным критерием, то линия будет также удовлетворять другим критериям. Например, если линия спроектирована, чтобы удовлетворять критерию коэффициента секунд со значительным количеством ошибок (SESR) из Рекомендаций МСЭ-T G.826 или G.828 в предположении постоянства мощности принимаемого сигнала помехи, то критерий ES должен быть выполнен при ослаблении в дожде, величина которого меньше на 4 дБ. Поскольку процент времени, допустимого для секунд с ошибками может в 10 или 20 раз превышать SES, то критерий ES будет удовлетворен, если удовлетворен критерий SES. Для полностью коррелированного замирания мешающего и полезного сигналов можно показать, что данное увеличение на 4 дБ соотношения $C/N + I$ соответствует снижению ослабления в дожде примерно на 4,7 дБ. Следовательно, вероятно, критерий SESR является контрольным и единственным критерием, выполнение которого необходимо.

Таким образом, со случаем полной корреляции замираний помех и полезного сигнала можно справиться достаточно просто. В данной ситуации допустимый уровень помех при отсутствии замирания просто выше приемлемого уровня помех в случае постоянных (некоррелированных) помех на величину запаса на замирание. В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.758, в данных полосах частот величина отношения I/N составляет -10 дБ в случае постоянных (некоррелированных) помех. В соответствии с Рекомендацией МСЭ-R F.1094, эталонным шумом должен быть общий распределенный шум, включающий шум приемной системы плюс распределенное приращение, обусловленное помехами со стороны фиксированной службы, приращение, обусловленное помехами от нежелательных излучений, и дополнительное приращение, обусловленное помехами со стороны служб на равной первичной основе. Поэтому отношение сигнала помех к общему эталонному шуму $I/N_{ref} = -10$ дБ, а отношение сигнала помех к шуму системы $I/N_0 = -9$ дБ. В случае, когда замирание помех между службами полностью коррелируется с замиранием полезного сигнала, мощность сигнала помех ($I/N_0 = -9$ дБ) должна быть такой же, как при замирании сигнала на величину запаса на замирание M_F дБ; иначе желаемое качество работы не будет достигаться. Следовательно, отношение мощности сигнала помех при отсутствии замираний к мощности шума системы в случае полностью коррелированного замирания $M_F = -9$ дБ.

Рисунок 2 иллюстрирует случай помех при отсутствии замираний со стороны полностью занятой дуги ГСО. Два пика, при которых помехи имеют высокий уровень, соответствуют азимутам, при которых один спутник находится в главном луче антенны станции ФС.

РИСУНОК 2

Иллюстрация I/N , создаваемого спутниками ГСО

1669-02

Для этих двух конкретных азимутов трасса распространения сигнала помех может быть коллинеарной с трассой распространения полезного сигнала, а замирание на этих азимутах было бы полностью коррелированным. Поскольку азимут перемещается между данными двумя значениями пиков, на этих двух трассах существует только частичная корреляция замирания, а допустимых уровень помех уменьшается с M_F -9 дБ до -9 дБ. Такое снижение иллюстрирует маска I/N , представленная на рис. 5.

Следует отметить, что представленный в настоящем Дополнении анализ был проведен с использованием мощности шума системы ($N_0 = kTBF$) в качестве эталона. Однако в анализе учтены составляющие помехи за счет помех со стороны передатчиков ФС, а также помех со стороны служб на равной первичной основе и помех от нежелательных излучений. Запас на каждую из этих составляющих помех был принят равным $0,5$ дБ.

2 Расчеты I/N

Для расчета максимально допустимого значения отношения I/N необходимо проанализировать отношение $\frac{C}{N+I}$ при различных условиях осадков.

Относительные значения C и $(N+I)$ в условиях осадков:

$$C = C_0 - A_C \quad (\text{дБ}) \quad (1)$$

$$N + I = N_{tot} = N_{ref} + 10 \log \left(0,9 + 10^{((I/N_0) + N_0 - N_{ref})/10} \right) \quad (\text{дБ}), \quad (2)$$

где A_C – ослабление сигнала (дБ). Соотношение спектральных плотностей мощности шума представлено выше, в силу чего N_{ref} представляет собой сумму (на входе приемника) шума системы ФС, распределенного приращеня, обусловленного помехами со стороны фиксированной службы, распределенной составляющей, обусловленной нежелательными излучениями, и распределенного приращеня, обусловленного помехами со стороны других служб. Величина N_{tot} представляет собой сумму шума и помех. Отметим, что она равна N_{ref} при $I/N_{ref} = -10$ дБ.

Сумма шума системы и приращеня, которая в данном расчете, предполагается равной $0,5$ дБ, для помех в ФС составляет $0,89$ от мощности эталонного шума в ваттах. Составляющая за счет нежелательных излучений добавляет $0,01$ от мощности эталонного шума в ваттах. Это соответствует Рекомендации МСЭ-R F.1094 и приводит к появлению члена $0,9$ в уравнении (2). Обозначив N_0 общий шум системы ($kTBF$), легко показать, что $N_{ref} - N_0 = 1,0$.

Используя эти соотношения, можно записать $C/N + I$ как:

$$\frac{C}{N+I} = C_0 - A_C - N_{ref} - 10 \log(0,9 + 10^{((I/N_0)-1)/10}). \quad (3)$$

В случае, когда мощность помех является постоянной, а $I/N_0 = -9$ дБ, что эквивалентно $I/N_{ref} = -10$ дБ, выражение $C/N + I$ достигает значения порога в отношении SES, когда ослабление сигнала A_C равно запасу на замирание в отношении SES. Следовательно,

$$\left[\frac{C}{N+I} \right]_{\substack{I/N_0 = -9 \\ A_C = M_F}} = T_{SES} = C_0 - M_F - N_{ref}. \quad (4)$$

В случаях, когда помехи могут подвергаться замираниям, $I/N_0 = I_0/N_0 - A_I$, где I_0 – мощность сигнала помех при отсутствии замираний и A_I – ослабление (дБ) сигнала помех. В этом случае $C/N + I$ представляется как:

$$\frac{C}{N+I} = T_{SES} = C_0 - A_C - N_{ref} - 10 \log(0,9 + 10^{((I_0/N_0) - A_I - 1)/10}). \quad (5)$$

При наличии полной корреляции между замиранием полезного сигнала и замиранием сигнала помех $A_C = A_I$. Если цели проектирования должны быть выполнены, то $C/N + I$ должно достигать порогового значения при $A_C = M_F$. При использовании этих условий в уравнении (5) и значения порога, заданного в уравнении (4), должно быть выполнено следующее условие:

$$I_0 / N_0 = M_F - 9. \quad (6)$$

В более общем случае, если корреляция замираний не является полной, значение отношения I/N при отсутствии замираний было бы необходимо уменьшить для недопущения увеличения числа случаев, когда $C/N + I$ находится ниже порога. Таким образом, при замираниях на трассе сигнала, не превышающих запас на замирания, отношение I/N при отсутствии замираний, для которого $C/N + I$ равно значению порога, получают путем использования уравнения (4) в (5).

$$I_0 / N_0 = A_I + 1 + 10 \log(10^{(M_F - A_C)/10} - 0,9). \quad (7)$$

Очевидно, что значение I/N , задаваемое уравнением (7), представляет собой отношение I/N при отсутствии замираний, для которого $C/N + I$ соответствует пороговому качеству работы для конкретных значений A_I и A_C . Однако условия $A_I < M_F$ и $I_0/N_0 < M_F - 9$ должны выполняться, согласно уравнению (6). Если известны совместные статистики появления A_I и A_C , критерий помех определяется как наименьшая величина I/N уравнения (7) при отсутствии замираний для любой допустимой пары значений A_I и A_C . Применение данного подхода в расчетах значений I/N при отсутствии замираний для использования в качестве критерия помех рассматривается в Дополнении 3 к Приложению 1.

Дополнение 3 к Приложению 1

Корреляция замираний сигнала помех и определение масок I/N

1 Методика временного подхода

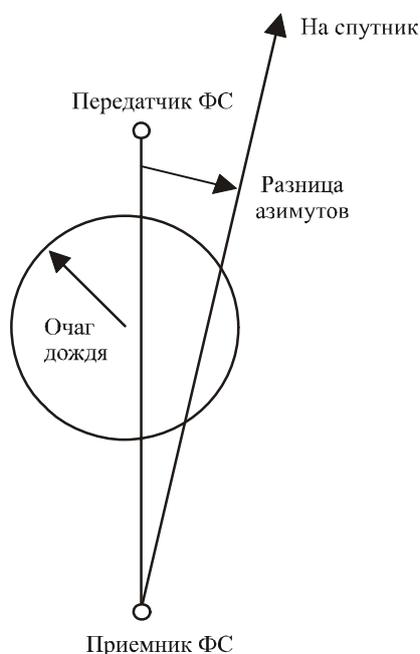
В целях определения корреляции между ослаблением сигнала в дожде и помехами в главном луче антенны ФС была использована методика временного подхода, в которой учитываются предположения о том, что очаги дождя не являются статичными и что они представляют собой временной аспект, поскольку находятся в постоянном движении относительно линии ФС.

Исходя из этого был использован цилиндрический очаг дождя равномерной интенсивности на примере очага дождя радиусом 0,2 км и погонного ослабления 50 дБ/км. В целях представления временного аспекта очага дождя можно допустить, что очаг расположен где-то около приемника ФС. В данном анализе предполагается, что очаг дождя расположен где-то на протяжении линии ФС или в поперечном направлении от нее с шагом 0,5 м.

Расчет был выполнен для очага дождя, расположенного в каждом местоположении сетки. Как показано на рис. 3, данный расчет состоит в определении для каждого местоположения очага дождя значения ослабления A_C , появление которого ожидается на протяжении желаемой трассы ФС (при угле места 0°), а также значения A_I вдоль трассы мешающего сигнала в горизонтальной плоскости, указанных в уравнении (9) в Дополнении 2 к Приложению 1, и сравнении величины разницы ослабления.

РИСУНОК 3

Трассы распространения сигнала и помех с геометрией очага дождя, представленные для протяженности трассы ФС 0,7 км, радиуса очага дождя 0,2 км и угла азимута отклонения от основного луча, равного 10°



В случае только частичной корреляции ослабления на трассах полезного и мешающего сигналов можно описать сигнал помехи как состоящий из двух составляющих – постоянной и полностью коррелированной. Если предположить, что часть p мощности помех при отсутствии замираний является коррелированной, а $1-p$ – постоянной, то тогда для порогового значения и при использовании элементов из Дополнения 2 к Приложению 1 получаем следующее соотношение:

$$10 \log \left(p 10^{-M_F/10} + 1 - p \right) + I_0 = N_{ref} - 10 \quad (8)$$

или

$$I_0/N_0 = -10 \log \left(p 10^{-M_F/10} + 1 - p \right) - 9. \quad (9)$$

Решение для p дает:

$$p = \frac{1 - 10^{-(I_0/N_0 + 9)/10}}{1 - 10^{-M_F/10}}, \quad (10)$$

где M_F – запас линии ФС на замирание; отметим, что уравнение (10) может использоваться всегда, когда допустимое значение I_0/N_0 находится между -9 дБ и $M_F - 9$ дБ.

Исходя из этого и для различных запасов линии ФС на замирание (10, 11, 14 и 15 дБ) с помощью уравнений (10) и (9) можно определить соответственно часть p (см. рис. 4) и результирующую маску I/N (см. рис. 5).

РИСУНОК 4

Эффективная часть полностью коррелированного сигнала помех для источников под углами, удаленными от оси главного луча антенны ФС

Продолжительность трассы = 0,7 км; диаметр очага = 0,4 км; гамма = 50 дБ/км

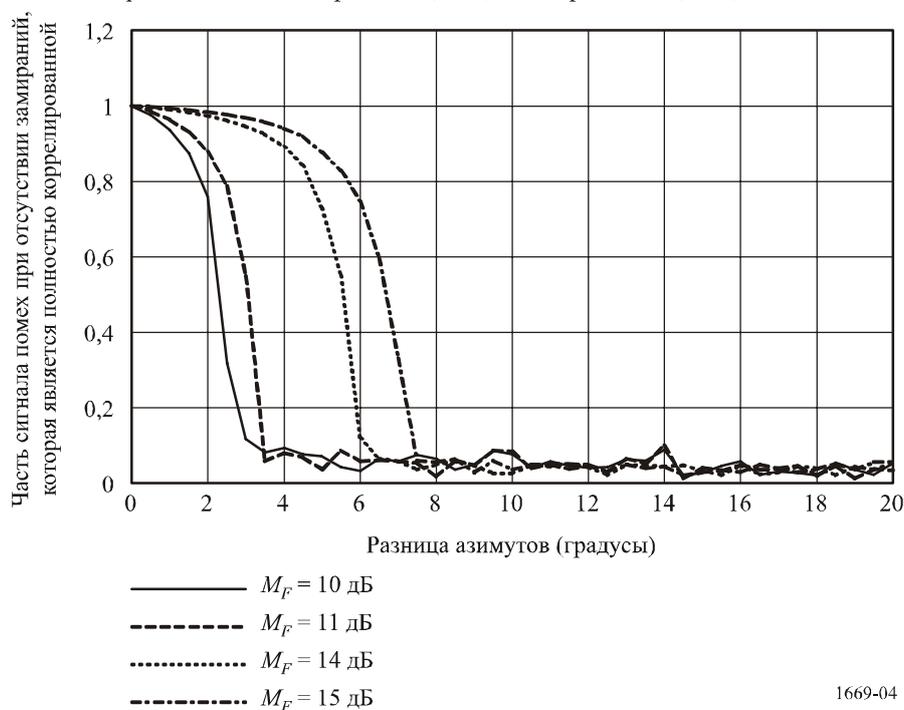
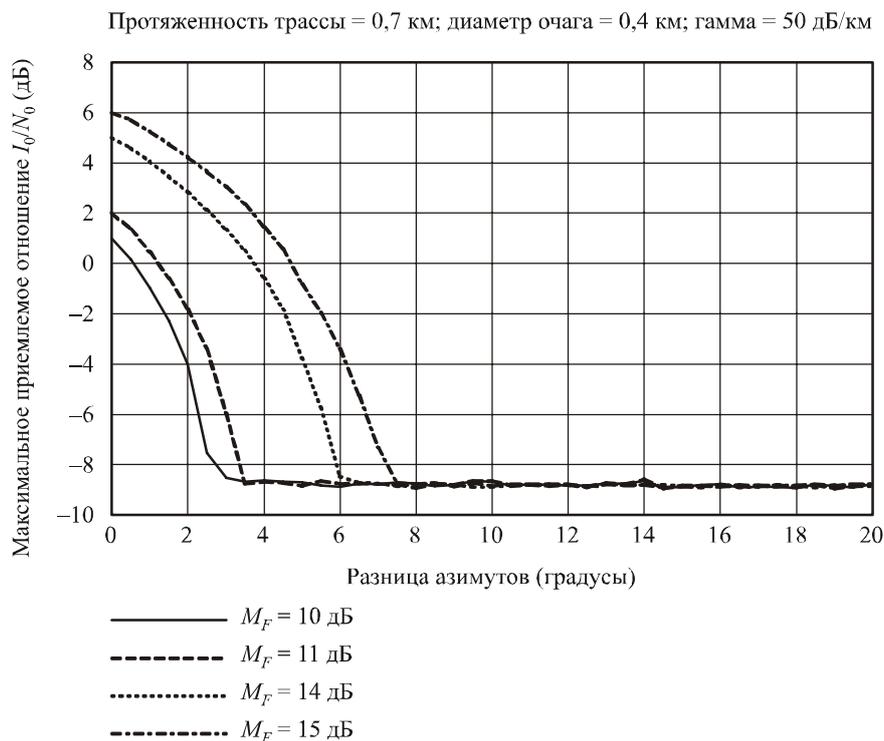


РИСУНОК 5

Маска I/N для азимутов, удаленных от оси главного луча антенны ФС

1669-05

График на рис. 5, построенный на примере цилиндрического очага дождя размером 0,2 км и погонного ослабления 50 дБ/км, показывает, что максимально приемлемое значение I/N и диапазон азимутов X° зависят от значения запаса на замирание. Для запасов на замирание 14 дБ и 10 дБ, рассмотренных в п. 2 Приложения 1, максимальное значение I/N составляет, соответственно, +5 дБ и +1 дБ, а значение X , соответственно, -2° и 6° .

2 Модель размера очага дождя

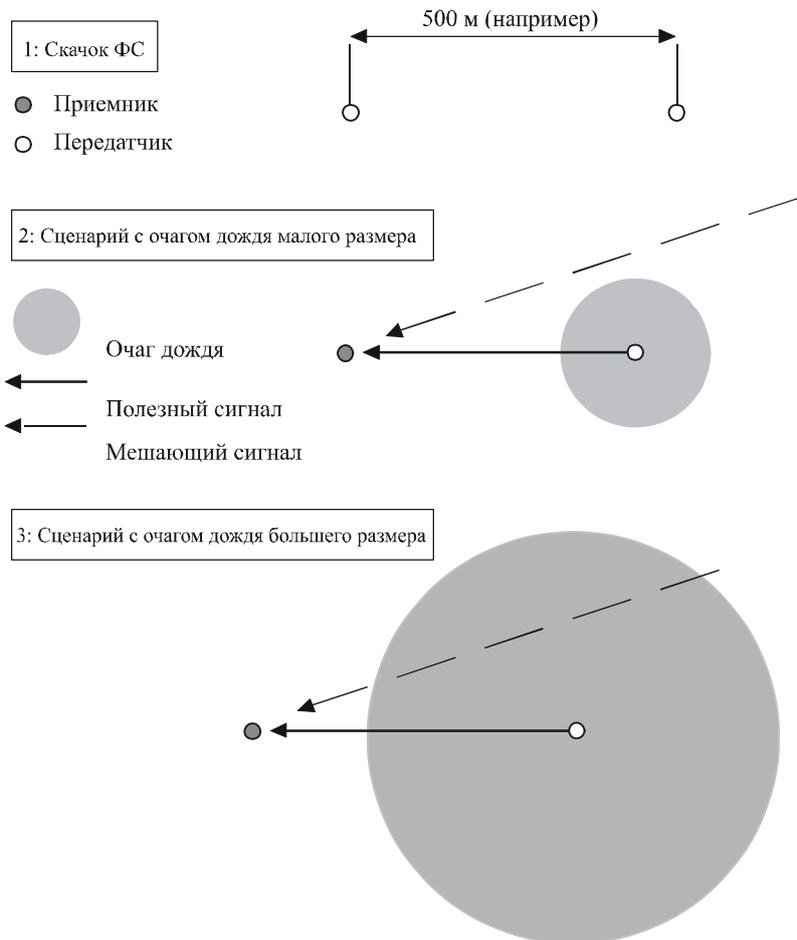
Анализ, представленный в п. 1, иллюстрируется на примере очага дождя цилиндрической формы размером 0,2 км и погонного ослабления 50 дБ/км, однако следует отметить, что результаты, полученные для заданной величины с помощью методики временного подхода, очевидно, зависят от предполагаемых параметров очага дождя, по крайней мере, в отношении диапазона азимутов X° (см. рис. 6).

Элементы параметрического размера очага дождя в настоящее время представлены только в Дополнении 4 к Приложению 1 к Рекомендации МСЭ-R P.452, но информация была предоставлена на основе того, что данная модель применяется только к расчетам рассеяния в дожде на загоризонтных трассах. Однако с этой целью было также предложено использовать альтернативную модель, несмотря на то что она не указывается ни в одной из Рекомендаций МСЭ-R².

² Данная альтернативная модель была испытана 3-й Исследовательской комиссией по радиосвязи при разработке Рекомендации МСЭ-R P.618.

РИСУНОК 6

Описание сценариев с различным размером очага дождя



1669-06

Данная альтернативная модель включает группу очагов с экспоненциальным профилем и круговой симметрией, в которых интенсивность дождя R на расстоянии ρ от центра задается выражением:

$$R = R_M \exp(-\rho/\rho_0), \quad (11)$$

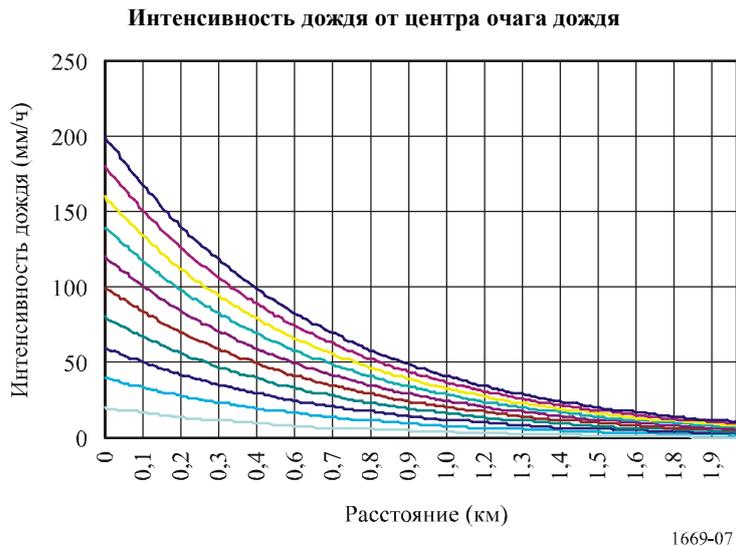
где R_M – пиковая интенсивность дождя, а ρ_0 – расстояние, обычно называемое "радиусом очага", на котором интенсивность падает на величину коэффициента $1/e$.

В случае одной оси приведенные значения ρ_0 зависят от значений R_M и задаются следующей формулой двойной степенной зависимости:

$$\rho_0(R_M) = 1,7 \left[\left(\frac{R_M}{6} \right)^{-10} + \left(\frac{R_M}{6} \right)^{-0,26} \right] \quad \text{для } R_M > 5. \quad (12)$$

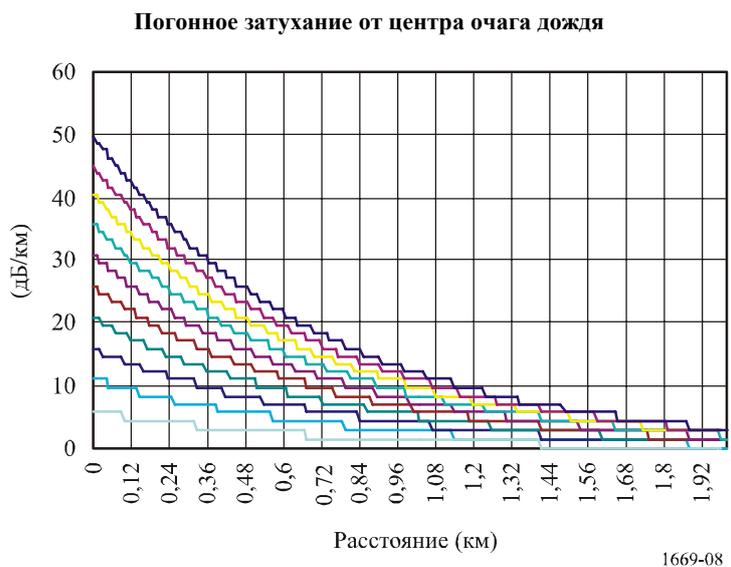
Исходя из этого на рис. 7 представлена форма соответствующего очага дождя при максимальной интенсивности дождя от 20 до 200 мм/ч (с шагом 20).

РИСУНОК 7



Кроме того, используя приведенные на рис. 7 значения интенсивности дождя, можно, таким образом, на основании Рекомендации МСЭ-R P.838, получить соответствующие погонные ослабления (см. рис. 8).

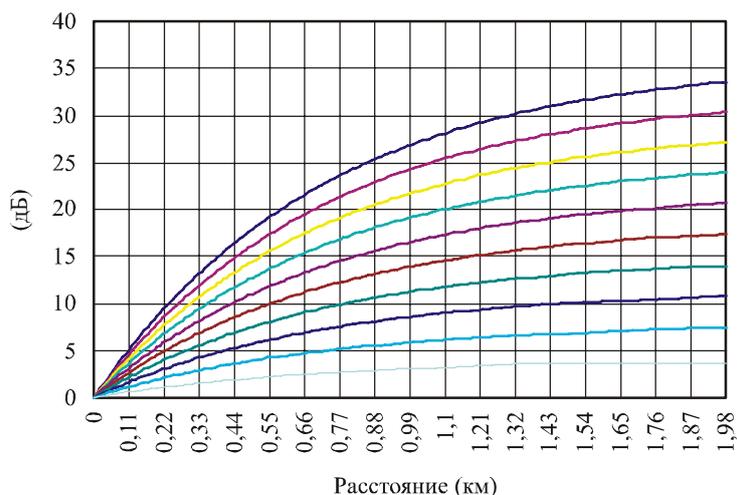
РИСУНОК 8



Более того, интегрирование этих погонных ослаблений по расстоянию от центра очага позволяет рассчитать совокупное ослабление, обусловленное соответствующим очагом дождя (см. рис. 9).

РИСУНОК 9

Совокупное ослабление от центра очага дождя



1669-09

Наконец, в таблице 3 для каждого значения интенсивности дождя приводятся радиусы очагов ρ_0 (согласно уравнению (12)).

ТАБЛИЦА 3

Радиус очага дождя для различных значений максимальной интенсивности дождя

Максимальная интенсивность дождя (мм/ч)	Радиус очага дождя ρ_0 (км)
200	0,68
180	0,70
160	0,72
140	0,75
120	0,78
100	0,82
80	0,87
60	0,93
40	1,04
20	1,24

Несмотря на то что элементы на рис. 7–9 и в таблице 3 показывают, что очаги дождя имеют не цилиндрическую форму, а экспоненциальный профиль, они, однако, как правило, указывают на то, что при использовании в предыдущем разделе радиуса очага 0,2 км было недооценено воздействие дождя и, следовательно, – значение диапазона азимутов X° .

При отсутствии попытки прийти к какому-либо окончательному выводу в отношении радиуса цилиндрического очага дождя, соответствующего вышеупомянутым элементам, которые получены на основании альтернативной модели распространения, применение временного подхода, используемого в этой модели, вероятно, привело бы к существенному увеличению диапазона азимутов.

Таким образом, с достаточной степенью достоверности было сделано предположение, что увеличение диапазона азимутов до 5° и 15° , соответственно, для запасов на замирание линии ФС 10 дБ и 14 дБ (по сравнению с 2° и 6° , как на рис. 7, для радиуса очага дождя 0,2 км) было бы довольно осторожным решением (если это увеличение связано с максимальными значениями I/N +1 дБ и +5 дБ, соответственно) для обеспечения необходимой защиты ФС от помех, создаваемых спутниками ГСО.

Дополнительное уточнение этой модели очага дождя или новая модель могут некоторым образом повлиять на эти диапазоны азимутов и привести в дальнейшем к изменению настоящей Рекомендации.
