

## РЕКОМЕНДАЦИЯ МСЭ-R F.1705

**Анализ и оптимизация показателей качества по ошибкам цифровых фиксированных беспроводных систем для целей ввода в эксплуатацию и технического обслуживания**

(Вопрос МСЭ-R 235/9)

(2005)

**Резюме**

В настоящей Рекомендации приводится анализ для оптимизации показателей качества по ошибкам цифровых фиксированных беспроводных систем (FWS) для целей практического проведения технического обслуживания перед вводом в эксплуатацию. В Приложении 1 содержатся руководство и систематические методы проведения технического обслуживания как для систем связи "точка-точка" (P-P), так и для систем связи "точка-множество точек" (P-MP).

Ассамблея радиосвязи МСЭ,

*учитывая,*

- a) что многие факторы, включая замирание вследствие многолучевости, могут искажать и ослаблять сигналы, принимаемые по трассам прямой видимости, а следовательно, ухудшать качественные показатели FWS;
- b) что для уменьшения влияния замирания вследствие многолучевости на качественные показатели системы могут применяться меры противодействия, такие как разнесенный прием и адаптивная компенсация;
- c) что для ввода в эксплуатацию и/или технического обслуживания FWS, а также для разработки оборудования радиосвязи необходимы методы анализа и оптимизации ухудшения показателей качества по ошибкам цифровых FWS, вызываемого многими факторами;
- d) что пределы рабочих характеристик и техническое руководство по вводу в эксплуатацию или техническому обслуживанию приведены в Рекомендации МСЭ-R F.1330 "Пределы рабочих характеристик для ввода в эксплуатацию частей международных трактов плезиохронной цифровой иерархии и синхронной цифровой иерархии и участков, реализованных с помощью цифровых радиорелейных систем" и в Рекомендации МСЭ-R F.1566 "Пределы рабочих характеристик для технического обслуживания цифровых фиксированных беспроводных систем, работающих на международных трактах и участках плезиохронной и синхронной цифровой иерархии", соответственно;
- e) что после установки FWS нередко возникает необходимость оптимизации качественных показателей этих систем, в частности в ходе технического обслуживания перед вводом в эксплуатацию,

*рекомендует,*

1 что в случаях субоптимальных качественных характеристик должны применяться представленные в Приложении 1 руководство и систематический метод анализа и оптимизации показателей качества по ошибкам цифровых FWS.

**Приложение 1****Анализ и оптимизация показателей качества по ошибкам цифровых FWS для целей ввода в эксплуатацию и технического обслуживания****1 Введение**

Настоящее Приложение предназначено в качестве руководства по методам анализа отказов и оптимизации показателей качества по ошибкам цифровых FWS. Подробная информация по учету аспектов распространения при проектировании фиксированных беспроводных систем содержится в Рекомендации МСЭ-R P.530 "Данные о распространении и методы прогнозирования, требуемые для проектирования систем прямой видимости".

В Рекомендациях МСЭ-R, посвященных показателям качества по ошибкам (например, Рекомендация МСЭ-R F.1668 "Нормы на показатели качества по ошибкам для реальных цифровых линий фиксированной беспроводной связи, используемых на гипотетических эталонных трактах протяженностью 27 500 км и соединениях"), вводятся требования в отношении проектирования и эксплуатации FWS, необходимые для соблюдения норм на показатели качества, установленных в этих Рекомендациях. В свете этих требований целью настоящей Рекомендации является обеспечение руководства по вводу в действие и эксплуатации FWS в ситуациях, когда испытываемые трудности обусловлены низкими показателями качества по ошибкам. Руководство по пределам рабочих характеристик для ввода систем в эксплуатацию содержится в Рекомендации МСЭ-R F.1330. Данная Рекомендация может служить также для определения триггерных точек технического обслуживания для рабочих систем. Кроме того, следует отметить, что оценка причин ошибки по существу может быть обусловлена пределами рабочих характеристик, приведенными в Рекомендации МСЭ-R F.1566.

Была проведена большая работа, связанная с разработкой систем и методов обеспечения высококачественных FWS. В настоящее время имеются измерительные технические средства и программное обеспечение для анализа цифровых FWS в лабораторных условиях и в условиях эксплуатации.

С учетом этих разработок рекомендуется, чтобы в случае необходимости проведения анализа системы, направленного на устранение неисправности или оптимизацию для обеспечения соблюдения требуемых норм на показатели качества, можно было применять измерительное оборудование и программное обеспечение.

Более подробная общая информация по вопросам эксплуатации FWS содержится в Справочнике МСЭ-R по цифровым радиорелейным системам.

## **2 Анализ линии связи**

Ошибки в FWS могут быть вызваны множеством разных причин. Вследствие этого анализ ошибок системы является сложным и требует временных затрат. Для совершенствования анализа и оптимизации систем необходимо принять систематический подход, который позволит понимать природу ошибок и их взаимосвязь с окружающей средой, в которой функционирует FWS.

При отсутствии систематического подхода к анализу показателей качества по ошибкам системному оператору проще списать все ошибки на замирание и не предпринимать никаких действий для устранения проблемы. Настоящее руководство имеет целью упростить процесс анализа и оптимизации системы, давая указания по улучшению показателей качества системы. Имеются инструменты для измерения и анализа, которые могут помочь в осуществлении такого процесса даже при наличии кажущихся серьезными проблем, связанных с показателями качества по ошибкам.

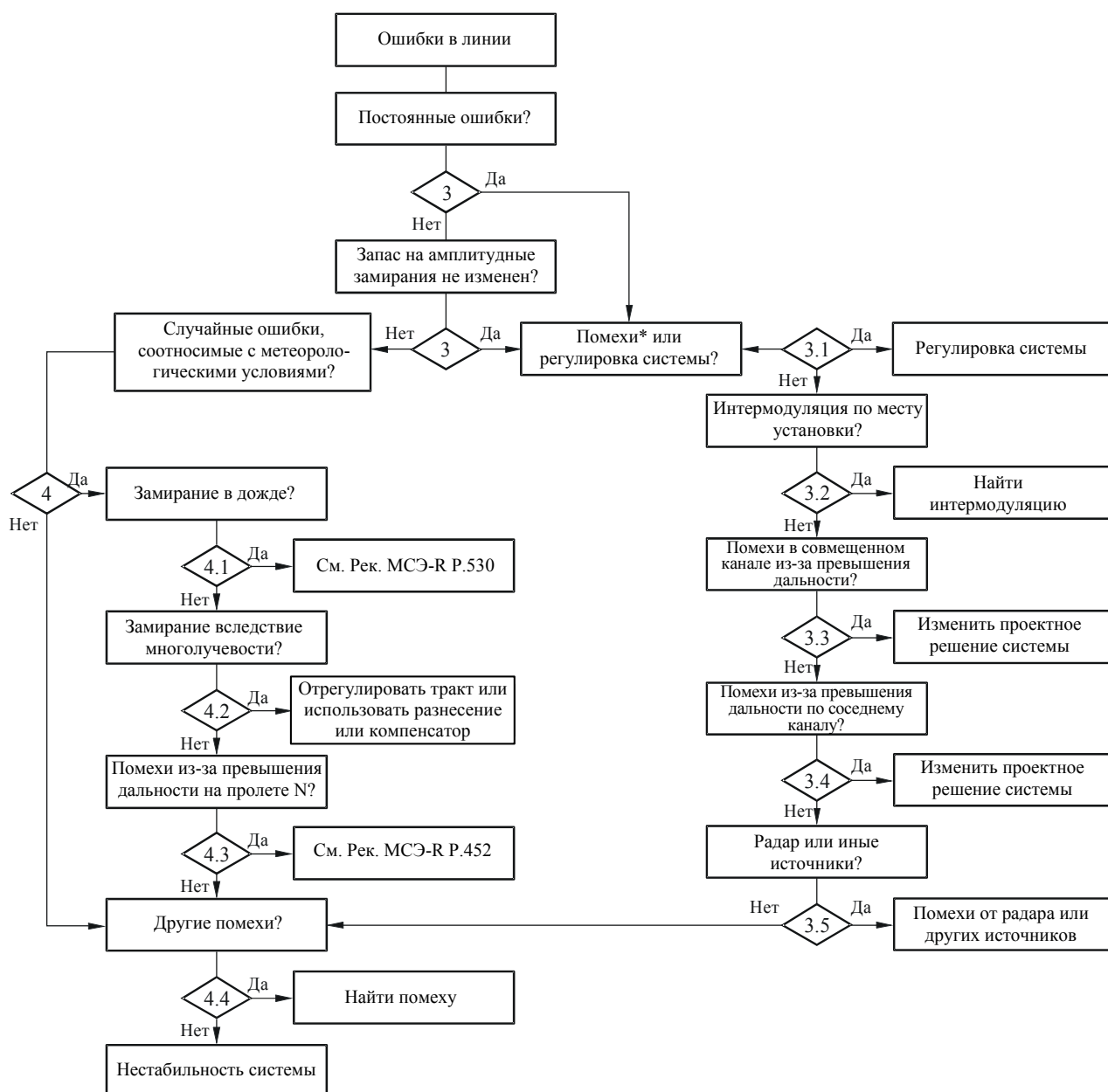
На рисунке 1 представлена основная блок-схема процесса оценки возможных причин системных ошибок, которые могут возникнуть в FWS P-P с многопролетным соединением. На данной блок-схеме показано множество ветвей, каждая из которых требует определенных специальных знаний о системе и ее рабочей среде. Для накопления таких знаний в рамках каждой ветви, приведенной на рисунке 1, необходимо выполнить определенные измерения или анализ. При этом для оценки результатов измерений и принятия на их основе оптимального решения может потребоваться дополнительное программное обеспечение.

Для FWS, используемых на участке доступа, в частности для систем P-MP, работающих в различных условиях распространения, может использоваться другая блок-схема, приведенная на рисунке 2.

В последующих пунктах излагаются руководящие указания для каждой точки принятия решения, номер каждого пункта соответствует точке принятия решения на блок-схемах, представленных на рисунках 1 и 2.

РИСУНОК 1

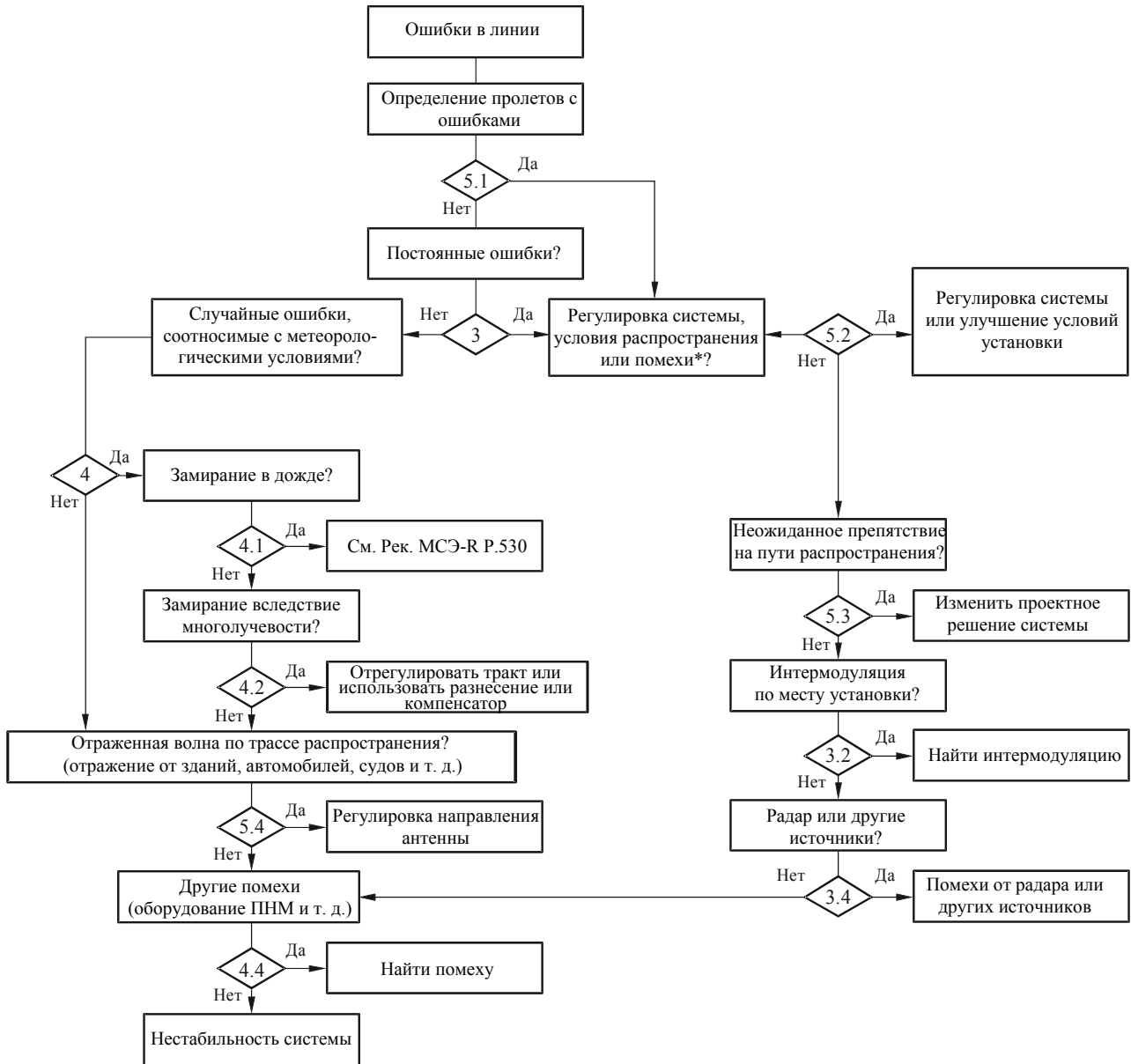
Блок-схема оценки причин ошибок в линии, возникающих в FWS P-P  
с многопролетным соединением



\* Источником помех могут быть службы, совместно использующие одну и ту же полосу частот, а также нежелательные излучения из других полос.

РИСУНОК 2

**Блок-схема оценки причин ошибок в линии, возникающих в FWS P-MP с многопролетным соединением**



\* Источником помех могут быть службы, совместно использующие одну и ту же полосу частот, а также нежелательные излучения из других полос.

1705-02

### 3 Анализ ошибок в линии связи для систем FWS P-P при многопролетном соединении

Прежде всего необходимо определить частоту появления ошибок. Уровень ошибок может быть низким, но они присутствуют постоянно, например система может характеризоваться более чем 100 секундами с ошибками (ES) ежемесячно, что будет классифицировано как "постоянные ошибки". Если в течение большего числа месяцев в системе зарегистрировано меньшее количество ES, например 50 с учетом секунд, пораженных ошибками (SES), такие ошибки будут отнесены к "случайным ошибкам".

Даже при наличии случайных ошибок вызвавшая их причина может заключаться в некотором уменьшении запаса на амплитудное замирание из-за ухудшения характеристик оборудования или фидерной системы. Если запас на амплитудные замирания системы уменьшается на несколько дБ (или больше), незначительное замирание вследствие многолучевости, которое обычно не вызывает ошибок по битам, может привести к явным случайным ошибкам. Следовательно, путем проверки запаса на амплитудное замирание сигнала можно определить, что причиной случайных ошибок является регулировка системы или интермодуляции по месту установки и т. д., которые обычно рассматриваются как факторы, связанные с постоянными ошибками.

### **3.1 Помехи или регулировка системы**

Для принятия этого решения необходимо определить, вызваны ли ошибки помехой, поступившей через антенну, или в системе имеется внутренняя неисправность. Эффективным методом определения наличия помех является подключение к выходу РЧ разветвительного фильтра приемника анализатора спектра и тщательное изучение спектра. Этот подход дает хорошие результаты при наличии помех высокого уровня, но может оказаться неэффективным для широкополосных помех более низкого уровня, которые находятся ниже шумового порога анализатора спектра (в следующем пункте описан альтернативный подход). Для обеспечения максимальной эффективности таких измерений передатчик на дальнем конце должен быть отключен. Если очевидных помех нет, то ошибки скорее всего вызваны регулировкой системы. Это предполагает, что ошибки имеют постоянный характер и что источник таких помех будет обнаружен с помощью измерения принимаемого спектра.

Принимаемый спектр может быть измерен также на выходе усилителя промежуточной частоты (ПЧ) приемника, так как системный приемник имеет достаточный коэффициент усиления и хороший коэффициент шума для подтверждения очевидности наличия любой помехи. Это снижает потребность в микроволновых инструментах анализа спектра и обеспечивает значительно большую чувствительность для измерения помех низкого уровня.

В общем и целом следует обеспечить возможность предотвращения помех за счет точного планирования частот. На практике бывают помехи от неизвестных источников. Помехи также могут усиливаться вследствие аномальных условий распространения, и они не должны исключаться как источник ошибок без проведения надлежащего анализа на системном уровне.

Вопросы, связанные с регулировкой системы, характеризуются сложностью и разнообразием. К главным относятся следующие: настройка антенны, запас на замирания, потери в волноводе и разветвительном фильтре, групповая задержка и амплитудное искажение, компенсация разнесения, частота канала связи, качество кабельной сети и соединителей и, безусловно, отказы основного оборудования. Чтобы сделать вывод о том, что система верно отрегулирована и возможные источники ошибок минимизированы, необходимо провести тщательную проверку по каждому из этих пунктов.

### **3.2 Интермодуляция по месту установки**

Нелинейные искажения в месте установки могут возникать из-за смешения искажений от расположенных в одном месте передатчиков. Причиной таких смешивающихся искажений могут стать низкокачественные механические соединения, например элементы антенной мачты могут выступать в качестве нелинейного "диодного" смесителя, создавая внутриполосные помехи.

Возможным решением таких проблем является сдвиг частоты мешающего передатчика или обнаружение и корректировка механической/электрической структуры, создающей смешение искажений. Спектральный анализ принимаемого сигнала должен производиться при отключенном передатчике на дальнем конце. Анализ принимаемого спектра можно облегчить, если проводить его на выходе усилителя ПЧ приемника. Смешивающиеся искажения можно оценить путем вычислений.

### **3.3 Помехи в совмещенном канале из-за превышения дальности**

При нормальных условиях распространения помехи в совмещенном канале из-за превышения дальности распространяется, как правило, на три или два пролета дальше по сравнению с сигналами

полезного передатчика при стандартных частотных соглашениях. В проекте обычно предусматривается, что тракты были смещены, с тем чтобы избирательность антенны минимизировала любые помехи из-за превышения дальности. Если предполагается наличие помехи из-за превышения дальности, такая помеха может быть обнаружена с помощью спектрального анализа принимаемого сигнала при отключенном полезном передатчике. Также возможно, что причиной помех в совмещенном канале является передатчик следующего пролета, направленный от затрагиваемого приемника. Это возможно при неудовлетворительном коэффициенте направленности антенны следующего пролета, или если угол следующего пролета таков, что боковой лепесток диаграммы направленности антенны следующего тракта направляет достаточный для создания помех сигнал по совмещенному каналу (см. Рекомендацию МСЭ-R F.1096 "Методы расчета помех на линии прямой видимости в радиорелейных системах с учетом рассеяния от рельефа местности" и Рекомендацию МСЭ-R F.1095 "Процедура определения координационной зоны между радиорелейными станциями фиксированной службы").

### **3.4 Помехи по соседнему каналу из-за превышения дальности**

При помехах по соседнему каналу из-за превышения дальности проблемы будут аналогичны создаваемым помехами в совмещенном канале. Для определения уровня помех необходимо провести спектральный анализ на РЧ или ПЧ при отключенном полезном передатчике (см. Рекомендации МСЭ-R F.1191 "Полосы и нежелательные излучения цифровых радиорелейных систем" и МСЭ-R SM.328 "Спектры и ширина полос излучений").

### **3.5 Помехи от радаров или других источников**

Помехи импульсного типа могут создаваться различными источниками, такими как радары, электрические дуги и системы зажигания транспортных средств. Установить, что источником помех является радар, обычно можно путем анализа пакетов ошибок. В плане качественной оценки можно сказать, что создающий постоянные помехи радар обычно расположен в пределах прямой видимости затронутого приемника. Он может быть также расположен вблизи оси антенны, если только радар не находится чрезвычайно близко (подробное руководство по помехам от радаров см. в Рекомендации МСЭ-R F.1097 "Варианты подавления помех в целях улучшения совместимости между радиолокационными и цифровыми радиорелейными системами" и МСЭ-R F.1190 "Критерии защиты цифровых радиорелейных систем для гарантии совместимости с радиолокационными системами службы радиоопределения"). Импульсные помехи могут исходить от других источников, расположенных вблизи затронутого приемника. Для оценки последствий импульсных помех необходимы инструменты для комплексного анализа ошибок.

Информация и руководящие указания относительно помех от других служб, совместно использующих те же полосы частот, содержатся в нескольких Рекомендациях серии F и в Справочнике МСЭ-R по цифровым радиорелейным системам.

## **4 Случайные ошибки, соотносимые с метеорологическими условиями**

Метеорологические условия могут играть существенную роль в создании ошибок в FWS. Во многих случаях ошибки можно соотнести со стабильным состоянием атмосферы в системах с высоким давлением, атмосферными фронтами, холодом, жарой или даже ветреной погодой. Чтобы определить, какие метеорологические условия связаны с плохим показателем качества по ошибкам, необходимо приложить определенные усилия в отношении метеорологических наблюдений. Если определено, что ошибки связаны с конкретными метеорологическими условиями, необходимы дальнейшие усилия для определения конкретной причины. Если случайные ошибки не соотносятся с метеорологическими условиями, они могут вызываться другими источниками помех (см. п. 4.4).

### **4.1 Ослабление в дожде**

Потеря сигнала вследствие ослабления в дожде, очевидно, связана с увеличением интенсивности дождя. В неудовлетворительно спроектированных системах замирание сигнала происходит при небольшой интенсивности дождя. В таких случаях следует обратиться к Рекомендации МСЭ-R P.530, чтобы определить запас системы на замирания при дожде и сверить его с фактическим запасом. Низкий запас на замирания при дожде может обуславливаться недостаточной мощностью передачи, плохой настройкой антенны или неверным выбором антенн, а также частотой тракта заданной длины.

## 4.2 Замирание вследствие многолучевости

Замирание вследствие многолучевости может быть вызвано метеорологическими условиями, а также отражением от объектов и поверхностей либо сочетанием обоих этих факторов (см. Рекомендацию МСЭ-R P.530). Для определения того, является ли замирание вследствие многолучевости причиной системных ошибок, необходимы детальные замеры нескольких параметров системы. Наилучшие результаты можно получить при коррелированных измерениях уровня сигнала, дисперсии амплитуды и характеристик ошибок во время замирания. Для разнесенных систем коррелированные измерения уровня сигнала и дисперсии на входе устройства сложения могут дать достаточно информации для оптимизации операции разнесения.

Дальнейший анализ результатов с применением программного обеспечения и/или моделирования измеренных эффектов может способствовать определению природы замирания. После определения природы замирания можно произвести корректировки отдельных систем для улучшения показателя качества по ошибкам.

Если замирание вследствие многолучевости не является причиной ошибок, коррелированные измерения уровня сигнала, дисперсии и ошибок дадут нормальные уровни сигнала без замирания. В таких случаях замирание вследствие многолучевости следует исключить.

Усиление сигнала при многолучевости может привести к значительному повышению уровня принимаемого сигнала. При этом может наблюдаться перегрузка приемника, результатом которой могут быть ошибки.

Механизмы, вызывающие замирание вследствие многолучевости, и способы устранения их влияния на отдельных трактах сложны, но достаточно хорошо изучены. Если причиной ошибок считается замирание вследствие многолучевости, следует проанализировать проект линии. Эффективным методом устранения влияния замирания вследствие многолучевости является установка на приемнике адаптивного компенсатора. В настоящее время существует множество компенсаторов, о которых говорится в Справочнике МСЭ-R по цифровым радиорелейным системам и в Рекомендации МСЭ-R F.1101 "Характеристики цифровых фиксированных беспроводных систем, работающих в полосах частот ниже примерно 17 ГГц". Еще одним методом является оптимизация трассы распространения радиоволн. Может потребоваться подробный анализ каждого тракта с использованием измерений и моделирования, прежде чем станут возможными какие-либо объективные выводы относительно способов устранения влияния. Без такого анализа корректировка отдельных трактов посредством изменения положения антенны, переноса мачт, разбивки трассы или упорядочение растительности вдоль трассы не рекомендуется.

## 4.3 Помехи из-за превышения дальности на пролете $N$

Наряду с помехами в совмещенном канале и по соседнему каналу из-за превышения дальности, вызывающими постоянные ошибки, о которых шла речь в пп. 3.3 и 3.4, иногда в периоды стабильных атмосферных условий, в особенности связанных с системами высокого давления, могут возникать помехи из-за превышения дальности на больших расстояниях, создаваемые источниками помех в совмещенном канале и по соседнему каналу. При таких условиях волноводы могут создавать помехи на расстоянии нескольких сот километров. Такие помехи на больших расстояниях обычно являются результатом близкого совпадения настройки отдаленных друг от друга антенн. Помехи также могут преодолевать расположенные между ними цепи холмов, которые обычно блокируют большую часть помех. Потенциал помех от всех возможных лицензированных источников можно рассчитать, используя модель помех в фиксированной службе, приведенную в Рекомендации МСЭ-R P.452 "Процедура прогнозирования для оценки микроволновых помех между станциями на поверхности Земли на частотах выше примерно 0,7 ГГц".

Условия, создающие помехи из-за превышения дальности на больших расстояниях, могут быть также причиной замирания вследствие многолучевости, о котором говорилось в п. 4.2. Таким образом, иногда весьма сложно выделить отдельные эффекты. Влияние помех из-за превышения дальности можно отделить от влияния замирания вследствие многолучевости путем проведения коррелированных измерений уровня сигнала, дисперсии и характеристик ошибок. Анализ спектра принятого сигнала на промежуточной частоте в периоды высокого коэффициента ошибок также способствует разделению проблем.

#### 4.4 Другие помехи

При аномальных условиях распространения на больших расстояниях могут наблюдаться помехи от различных источников. Обычно такие помехи соотносят со стабильными условиями высокого давления. Ошибки могут быть также связаны с замиранием сигнала, происходящим в то же время. В таких случаях необходимо произвести корреляцию уровня сигнала, дисперсии и ошибок, с тем чтобы определить, повлияли ли помехи на устойчивость системы.

Иногда помехи могут вызываться временными установками или даже разовыми испытаниями передатчиков высокой мощности. Такого рода помехи необязательно соотносятся с какими-либо конкретными метеорологическими условиями. Помехи от временных установок бывает очень сложно локализовать. Во всех случаях оптимального результата можно добиться детальным анализом ошибок с использованием уровня сигнала при высокой частоте дискретизации и/или систем измерения ошибок (см. ссылки на помехи от радаров в п. 3.5).

Случайные ошибки могут вызываться случайными событиями помех, и их очень сложно локализовать. Рекомендуется проводить коррелированные измерения уровней сигнала, дисперсии и ошибок для содействия устранению других потенциальных причин ошибок. Помехи могут создаваться различными гармониками подвижных или фиксированных передатчиков или даже электрически наведенными помехами.

Случайная нестабильность системы может быть вызвана неудовлетворительным качеством соединителей, плохим заземлением, обрывом/коррозией проводов, вибрацией или электрически наведенным шумом от контактов переключателей. Эти воздействия опять-таки очень сложно выделить, и необходим систематический подход, с тем чтобы сначала исключить все другие причины.

Возможны также помехи от других источников, таких как тропосферные радиорелейные системы и подвижные радиосистемы (см. Рекомендации МСЭ-R F.302 "Ограничение помех от тропосферных радиорелейных систем" и МСЭ-R F.1334 "Критерии защиты систем фиксированной службы, работающих в одной полосе частот диапазона 1–3 ГГц с сухопутной подвижной службой").

Нестабильность системы может быть вызвана метеорологическими условиями, такими как ветер, жара или холод или даже дождь. Возможен широкий круг причин, как, например стабильность генератора, нестабильность внешних компонентов, таких как мачты, антенны и волноводы, или даже электрические помехи от работающих в жаркую погоду кондиционеров воздуха.

### 5 Анализ ошибок в линиях связи для FWS, используемых в сетях доступа

В случае фиксированных беспроводных систем, используемых на участке или линиях обратной направленности к основной сети, технические и эксплуатационные указания, приведенные в пп. 3 и 4, могут в целом применяться к анализу ошибок в линиях связи. Следует отметить, что число радиопролетов для таких FWS во многих случаях ограничено одним или очень немногими. Ввиду этого помехи из-за превышения дальности, о которых идет речь в пп. 3.3, 3.4 и 4.3, можно исключить из анализа. Вместе с тем следует рассмотреть несколько вопросов применительно к этим системам, как объясняется ниже.

#### 5.1 Определение станции или радиопролета, вызывающих ошибки в линии связи

В первую очередь необходимо изучить, какой радиопролет или какая станция вызывает ошибки в линии связи. Если ошибка наблюдается на всех беспроводных линиях связи, ведущих к пользовательским станциям, работающим в режиме Р-МР, проблема кроется в радиооборудовании станции концентратора. В противном случае на конкретный радиопролет или соответствующее оконечное оборудование пользователя может оказывать воздействие определенная причина ошибки, например разлаженность системы, неблагоприятные условия распространения или помехи.

#### 5.2 Условия установки

Среди ряда пользовательских станций может случиться, особенно при очень коротком пролете, так что антенна будет не точно направлена на станцию концентратора. Такая недостаточная настройка может подвергнуть приемную антенну воздействию нежелательных отражений волн и других источников помех. Для обеспечения водонепроницаемости также важно подтвердить все физические соединения в радиооборудовании и не допускать покрытия поверхности антенны снегом.

В ходе анализа ошибок следует тщательно изучить вышеописанные факторы регулировки системы.



### 5.3 Неожиданные препятствия на пути распространения волн

В случае линий связи FWS, прокладываемых в городских районах, радиооборудование (антенна и передающие/приемные устройства) обычно устанавливается на крышах зданий. В такой среде зачастую случается, что на пути распространения радиоволн после первоначального монтажа возникают неожиданные препятствия, например новое здание или деревья. Это приводит к определенному уменьшению запаса на замирания, и чаще наблюдаются колебания мощности приема, связанные с постоянными ошибками. Такую ситуацию можно улучшить, увеличив высоту антенны. Но если это физически трудно, придется изменить место расположения антенны.

### 5.4 Отраженная волна на трассе распространения

В фиксированных беспроводных линиях доступа колебания условий распространения, вызывающие случайные ошибки, происходят не только из-за замирания вследствие многолучевости или замирания в дожде, но и из-за других причин, например движения автомобилей, поездов или судов. Как правило, выявить и определить причину таких случайных ошибок сложно. Для решения этой проблемы может понадобиться коррекция местоположения повергающейся воздействию помех антенны.

## 6 Резюме

Дальнейшее применение и развитие FWS в сочетании с эволюцией требований к производственным характеристикам систем налагают значительные обязательства на проектирование и эксплуатацию беспроводных систем с целью обеспечения предоставления системами последовательно высокого качества обслуживания. К причинам ошибок в FWS относятся вопросы условий распространения сигналов, помехи, конструкция оборудования и линий связи, их установка и техническое обслуживание. Чтобы успешно решить проблему неудовлетворительных качественных показателей, следует уделить пристальное внимание измерениям уровней сигнала в системе и параметров показателей качества по ошибкам.

Для анализа и оптимизации показателей качества по ошибкам цифровых FWS, рассматриваемых в настоящей Рекомендации, требуются систематический подход в сочетании с пределами характеристик, установленными в других Рекомендациях (т.е. в отношении технического обслуживания в Рекомендации МСЭ-R F.1566, а в отношении ввода в эксплуатацию – в Рекомендации МСЭ-R F.1330), а также профессиональное знание структуры соответствующей системы. Соответственно, в настоящей Рекомендации содержится руководство, необходимое для обеспечения дальнейшего развития и развертывания FWS, удовлетворяющих предъявляемым МСЭ-R требованиям к качественным показателям.

---