

# Динамический выбор частоты



Успешно сдайте бесплатный сертификационный экзамен в Академии "Инфинет" и получите статус сертифицированного инженера Инфинет.

[Пройти сертификационный экзамен](#)

- Введение
  - Динамический выбор частоты и обнаружение радаров
- Регуляторные требования
  - Требования к обнаружению
  - Требования к реакции
  - Значения времени
- Подход Инфинет
  - Принцип работы DFS
  - Принцип обнаружения радаров
  - Instant DFS
    - Принцип работы Instant DFS
    - Схемы использования Instant DFS
    - Поддержка Instant DFS в устройствах Инфинет
  - Дополнительные материалы

## Введение

Масштабирование и рост производительности беспроводных систем связи в частотном диапазоне 5 ГГц требовал увеличения числа разрешённых частотных каналов за счёт использования каналов, используемых для обмена данными с военными и метеорологическими радарными. Для снижения влияния систем БШПД на радары в требования протокола обмена данными были включены требования по обнаружению радаров и немедленного прекращения использования частот, на которых они работают.

Реализация механизмов обнаружения радаров сопровождалась внедрением методов сканирования эфира и перехода между частотными каналами. Перечисленные методики были включены в требования к беспроводным системам и получили название динамического выбора частоты (*DFS - dynamic frequency selection*).

## Динамический выбор частоты и обнаружение радаров

Говоря о DFS, следует разделять механизмы динамического выбора частоты и обнаружения радаров:

- Требования к реализации динамического выбора частоты предусматривают обязательное сканирование доступных частотных каналов и выбор наиболее свободного канала. Таким образом выполняется равномерное распределение беспроводных систем передачи данных по частотному спектру.
- Механизм обнаружения радаров является необходимым условием соблюдения запрета на использование частотных каналов, которые уже используются радарными. Таким образом, применение технологии DFS сохраняет возможность использования таких каналов системами БШПД при условии их немедленного освобождения в случае обнаружения работы радаров.

## Регуляторные требования

Требования регулирующих органов к эксплуатации беспроводных систем связи зависит от страны. Наиболее распространены требования к реализации динамического выбора частоты и обнаружения радаров в устройствах, сформированные федеральной комиссией по связи (*FCC*) и европейским институтом телекоммуникационных стандартов (*ETSI*). В частности, функционирование технологии DFS определяется следующими стандартами и НПА:

- Стандарты Европейского института по стандартизации в области телекоммуникаций: ETSI EN 301 893, ETSI TR 102 651, ETSI EN 302 502.
- Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 14 сентября 2010 г. № 124 «Об утверждении правил применения оборудования радиодоступа. Часть I. Правила применения оборудования радиодоступа для беспроводной передачи данных в диапазоне от 30 МГц до 66 ГГц».
- Постановление Правительства Российской Федерации от 21 декабря 2011 г. № 1049-34 «Об утверждении таблицы распределения полос радиочастот между радиослужбами Российской Федерации и признании утратившими силу некоторых постановлений правительства Российской Федерации».

## Требования к обнаружению

**Проверка доступности канала (Channel Availability Check)**

- При включении системы или в случае обнаружения радиолокатора на рабочем канале необходимо провести частотное сканирование для нахождения доступных каналов.
- Результаты исследований показали, что, чтобы избежать интерференции с радиолокаторами, беспроводные системы с мощностью до 200 мВт должны иметь возможность обнаруживать уровни радиолокационного сигнала до -62 дБм, а более мощные системы – до -64 дБм.

#### Проверка доступности за пределами текущего диапазона частот (Off-channel Channel Availability Check)

- Осуществляется в дополнение к проверке доступности канала. Выполняется для мониторинга смежных частотных диапазонов.
- В течение определенного периода времени выполняется ряд дискретных проверок для обнаружения сигналов радиолокатора. Если радиолокатор не обнаружен, то канал считается доступным.

#### Эксплуатационный мониторинг (In-service monitoring)

- Процесс проверки текущего рабочего диапазона частот. Применяются те же параметры обнаружения, что и в проверке доступности канала.
- Эксплуатационный мониторинг выполняется между каждой передачей данных, и его длительность составляет порядка нескольких микросекунд.

#### Вероятность обнаружения

| Параметр                          | Вероятность обнаружения                                |               |
|-----------------------------------|--|---------------|
|                                   | Каналы с рабочим диапазоном в пределах 5600 – 5650 МГц | Другие каналы |
| Проверка доступности канала (CAC) | 99,99 %  | 60 %          |
| Эксплуатационный мониторинг       | 60 %   | 60 %          |

#### Требования к реакции

##### Разрыв соединения (Channel shutdown)

- Определяется как “процесс, начатый устройством на рабочем канале в случае обнаружения сигнала радиолокатора во время эксплуатационного мониторинга”. Ведущее устройство отправляет команду ведомым устройствам о прекращении передачи на текущем частотном канале, которую они должны выполнить в течение времени перемещения канала. Ведущее устройство, которое в данный момент выполняло процесс обнаружения радиолокационных сигналов, также должно прекратить передачу в течение этого времени.
- Суммарная продолжительность всех передач не должна превышать времени прекращения передачи данных (качество связи должно быть достаточным, чтобы ведущее устройство могло отправить команды ведомым, и были удовлетворены временные лимиты).

##### Время недоступности (Non-occupancy period)

- Временной интервал, в течение которого запрещена передача в частотном диапазоне, в котором были обнаружены сигналы радиолокатора.

#### Значения времени

| Параметр  | Значение |
|---|----------|
| Время проверки доступности канала   | 60 с*    |
| Минимальное время проверки доступности за пределами текущего рабочего диапазона частот  | 6 мин**  |
| Максимальное время проверки доступности за пределами текущего рабочего диапазона частот | 4 часа** |
| Время перемещения канала  | 10 с     |
| Время прекращения передачи данных   | 1 с      |
| Время недоступности   | 30 мин   |

\* - Время проверки доступности канала, лежащего в пределах 5 600 – 5 650 МГц, составляет 10 минут.

\*\* - Время проверки доступности за пределами текущего рабочего диапазона частот, лежащего в пределах 5 600 – 5 650 МГц, варьируется от 1 часа до 24 часов.

#### Подход Инфинет

Стандарты определяют требования к производительности беспроводных систем в целях избегания взаимного влияния с радиолокационными системами, но не указывают на практическую реализацию DFS. Поставщики оборудования реализуют DFS на свое усмотрение, обеспечивая соответствие требованиям стандарта.

Устройства Инфинет могут быть ограничены лицензией по набору частот, используемых в конфигурации, и наличию опции обнаружения радаров. Лицензия может быть выписана в соответствии с регулированием, применяемым на той или иной территории. Для устройств семейств InfiLINK Evolution / InfiMAN Evolution и Vector 5 ограничения определяются выбранным регуляторным доменом, который может быть изменён в настройках канала связи (при наличии соответствующей лицензии).

## Принцип работы DFS

Алгоритм динамического выбора частоты состоит из следующих этапов:

1. Включение устройства.
2. Последовательное сканирование каналов в соответствии с частотной сеткой. Результатом сканирования является заполненная таблица DFS, в которой каждому каналу соответствует уровень обнаруженного сигнала, являющегося помехой для устройства.
  - a. Для каждого частотного канала запоминается максимальный уровень сигнала и фиксируется в таблице DFS. Для исключения ложного срабатывания, при оценке уровня сигнала, также учитывается его спектральная плотность.
  - b. По умолчанию длительность сканирование на каждом из частотных каналов составляет 3 секунды, этот параметр является настраиваемым.
  - c. Общая продолжительность сканирования зависит от числа каналов в частотной сетке.
3. Анализ таблицы DFS и выбор частотного канала с минимальным уровнем сигнала.
4. Установка центральной частоты выбранного канала в качестве рабочей центральной частоты беспроводного устройства.
  - a. Установление канала связи с абонентскими устройствами.
  - b. Передача данных.
  - c. Если значение SNR рабочего канала опускается ниже определенного предела, происходит переход на другой частотный канал, имеющий самый низкий уровень помех.
5. Через 24 часа выполняется повторное сканирование и выбор частоты (пункты 2-4). Пользователь может вручную установить время повторного сканирование эфира.

Поясним алгоритм динамического выбора частоты на примере (см. [видеоролик 1](#)).

Сектор базовой станции (БС) и абонентская станция (АС) установлены и настроены для организации беспроводного канала связи между двумя зданиями, на БС активирована поддержка динамического выбора частоты. После включения, БС начинает выполнять последовательное сканирование доступных частотных каналов, фиксируя в таблице DFS соответствие зафиксированного уровня сигнала. Таблица принимает следующий вид:

| Частотный канал | Уровень сигнала, dBm |
|-----------------|----------------------|
| F1              | -85                  |
| F2              | -80                  |
| F3              | -91                  |

Устройство БС анализирует полученную таблицу и выбирает частотный канал с минимальным значением уровня сигнала, т.е. канал F3. Центральная частота выбранного канала устанавливается в качестве рабочей.

Смена центральной частоты приводит к разрыву беспроводного соединения. Устройство АС начинает перебирать список разрешённых частотных каналов, находясь в поиске устройства БС. После обнаружения БС, беспроводные устройства выполняют ассоциацию, устанавливая канал связи, после чего возобновляется обмен данными.

Your browser does not support the HTML5 video element

*Видеоролик 1 - Алгоритм динамического выбора частоты*

## Принцип обнаружения радаров

Работа алгоритма обнаружения радаров может быть описана следующими этапами:

1. Включение устройства.
2. Последовательное сканирование частотных каналов. Устройство, в соответствии с установленной частотной сеткой, прослушивает эфир.
  - a. Выбранный канал проверяется на наличие известных радаров.
  - b. Время проверки доступности канала составляет 60 секунд, для канала лежащего в пределах 5 600 – 5 650 МГц - 10 минут.
  - c. При обнаружении радара на проверяемом канале, происходит переход на следующий минимально загруженный канал.
3. Частотные каналы, на которых была зафиксирована работа радаров, помечаются как недоступные для использования в качестве рабочего.

- а. Канал исключается из таблицы разрешённых на 30 минут.
4. При следующем сканировании повторяется выполнение процедуры обнаружения радаров (пункты 2-3).
  - а. Процедура обнаружения радаров выполняется одновременно с работой механизма DFS.

Поясим работу механизма обнаружения радаров на примере (см. [видеоролик 2](#)).

БС и АС установлены и настроены для организации беспроводного канала связи между двумя зданиями, на БС активирована поддержка механизма динамического выбора частоты с обнаружением радаров. На соседнем с БС здании установлен метеорологический радар, использующий частотный канал F3.

По аналогии с рассмотренным примером (см. [видеоролик 1](#)), после включения БС сканирует доступные частотные каналы, формируя таблицу состояния эфира. Выполняя сканирование на частотном канале F3, БС детектирует работу системы радаров. Несмотря на том, что уровень сигнала в канале F3 ниже, чем в остальных каналах, он исключается из процесса принятия решения. Таким образом, обновлённая таблица выглядит следующим образом и БС устанавливает в качестве рабочей частоту F1:

| Частотный канал | Уровень сигнала, dBm |
|-----------------|----------------------|
| F1              | -85                  |
| F2              | -81                  |

Your browser does not support the HTML5 video element

*Видеоролик 2 - Алгоритм обнаружения радаров*

## Instant DFS

Недостатком механизма DFS является отсутствие возможности оперативной оценки радиоэфира и своевременного изменения рабочей частоты при изменении обстановки в эфире. Кроме того, при обнаружении радара, проверка доступности нового канала выполняется в течение 60 с. На это время связь прерывается и не восстанавливается до тех пор, пока не произойдет переключение на новый канал, который имеет самый низкий уровень помех и свободен от радиолокаторов.

Одним из вариантов решения этой проблемы является увеличение частоты сканирования эфира, однако следует понимать, что время, затрачиваемое на актуализацию информации о радиообстановке, не используется для передачи данных, т.е. производительность системы связи снижается.

В устройствах Инфинет используется фирменная технология Instant DFS, позволяющая получать актуальную информацию о состоянии радиоэфира без разрыва связи.

## Принцип работы Instant DFS

Принцип работы Instant DFS схож с рассмотренным алгоритмом работы DFS, но имеет следующие отличия:

- Последовательное сканирование каналов частотной сетки выполняется постоянно, а не в выделенные моменты времени. Это позволяет устройству оперировать актуальной информацией о загрузке радиоэфира без остановки процесса передачи данных. Для устройств семейств InfiLINK 2x2 и InfiMAN 2x2 это реализуется с помощью дополнительного радиомодуля, для устройств семейств InfiLINK Evolution / InfiMAN Evolution, InfiLINK XG и Vector 5 - за счёт сканирования эфира в течение защитных интервалов (*guard interval*).
- В случае обнаружения более свободного частотного канала, переход на другую рабочую частоту выполняется без прерывания процесса передачи данных.
- Устройства семейств InfiLINK 2x2 и InfiMAN 2x2 с двумя радиомодулями при включении распределяют между собой набор частотных каналов, которые необходимо просканировать, поэтому сканирование выполняется в 2 раза быстрее.

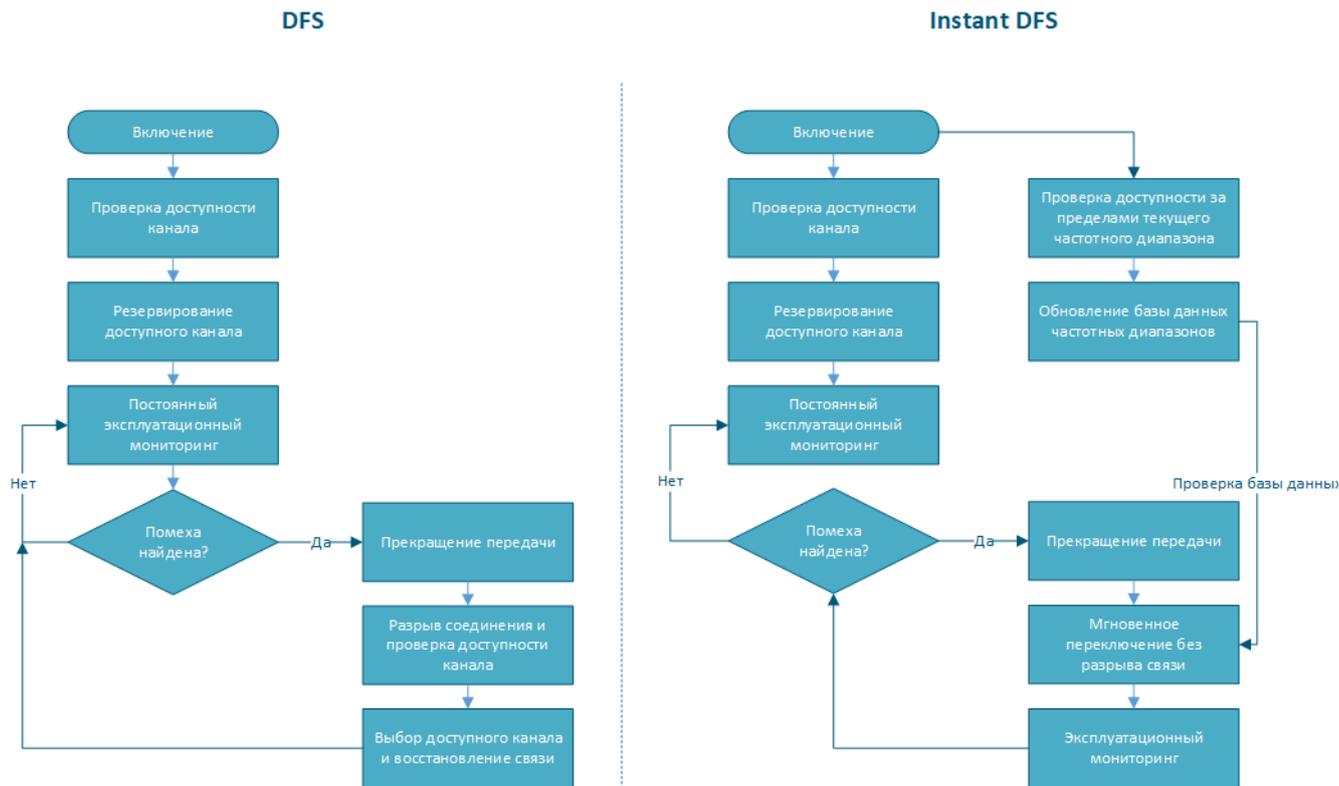


Рисунок - отличие DFS и Instant DFS

Поясним работу фирменной технологии Instant DFS на примере (см. [видеоролик 3](#)):

- Устройства БС и АС установлены и настроены для организации беспроводного канала связи между двумя зданиями, на БС активирована поддержка технологии Instant DFS. Первоначальный выбор рабочей частоты соответствует алгоритму DFS (см. [видеоролик 1](#)), поэтому считаем, что устройства уже установили канал связи и начали обмен данными.
- На первом этапе БС выполняет передачу и приём данных в частотном канале F3 и сканирует канал F1. После завершения сканирования устройство БС актуализирует таблицу состояния радиозфира. Поскольку наиболее свободным от помех является канал F3, который используется в качестве рабочего, то никаких изменений БС не выполняет.
- На втором этапе БС выполняет передачу и приём данных в частотном канале F3 и сканирует канал F2. Помеховая обстановка в частотном канале F2 значительно улучшилась: уровень сигнала снизился с -80 дБм до -90 дБм. Теперь наилучшие показатели наблюдаются в канале F2, поэтому БС начинает процесс смены рабочей частоты.
- Для того, чтобы смена частоты была выполнена без разрыва связи, БС формирует широковещательный запрос со служебным сообщением, в котором указывается новая рабочая частота F2. Установка новой рабочей частоты выполняется на БС после отправки широковещательного сообщения, а на АС после получения этого сообщения.
- На третьем этапе БС выполняет передачу и приём данных в частотном канале F2 и сканирует канал F3. Полученные результаты сканирования не приводят к изменению рабочей частоты, поэтому обмен данными осуществляется в канале F2. Сканирование циклически повторяется в соответствии с установленной частотной сеткой.

Your browser does not support the HTML5 video element

*Видеоролик 3 - Алгоритм работы фирменной технологии Instant DFS*

### Схемы использования Instant DFS

Устройства с поддержкой Instant DFS могут использоваться в топологиях "точка-точка" и "точка-многоточка". Следует понимать, что результаты сканирования справедливы только для принимаемого сигнала, поэтому:

- В топологиях "точка-точка" рекомендуется использовать оба устройства с поддержкой технологии Instant DFS. В процессе работы устройства будут обмениваться результатами сканирования и решение о выборе частоты будет принято с учётом помеховой обстановки на двух устройствах.
- Если в топологии "точка-точка" нет возможности использовать оба устройства с поддержкой Instant DFS, то устройство с поддержкой Instant DFS необходимо устанавливать в месте с наиболее сложной помеховой обстановкой.
- В топологиях "точка-многоточка", если нет возможности использовать все устройства с поддержкой Instant DFS, оптимальным вариантом будет установка устройства с Instant DFS в качестве сектора базовой станции.

## Поддержка Instant DFS в устройствах Инфинет

Поддержка фирменной технологии Instant DFS реализована в устройствах семейств InfiLINK 2x2 и InfiMAN 2x2, функционирующих в частотном диапазоне 5 ГГц, через установку дополнительного радиомодуля. О наличии второго радиомодуля можно судить по наличию строчной буквы "s" в названии устройства, например [R5000-Mmxbs/5.300.2x500.2x16](#).

Среди устройств семейств InfiLINK Evolution / InfiMAN Evolution, InfiLINK XG и Vector 5 поддержка технологии Instant DFS реализована на всех устройствах, функционирующих в частотном диапазоне 5 ГГц.

## Дополнительные материалы

1. Настройка DFS в устройствах семейства InfiLINK 2x2 и InfiMAN 2x2 ([web](#) / [CLI](#))
2. Настройка DFS в устройствах семейства InfiLINK Evolution и InfiMAN Evolution ([web](#) / [CLI](#))
3. Онлайн-курс "[Предварительная настройка и установка устройств семейств InfiLINK 2x2 и InfiMAN 2x2](#)"
4. Настройка DFS в устройствах семейства XG ([web](#) / [CLI](#))
5. Настройка DFS в устройствах семейства Vector 5 ([web](#))
6. Онлайн-курс "[Устройства семейства InfiLINK XG](#)"
7. [Расшифровка обозначений устройств "Инфинет"](#)