

# Технология формирования луча



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

[Пройти сертификационный экзамен](#)

- Введение
- Системы связи без использования технологии формирования луча
- Технология формирования луча
  - Описание
  - Преимущества технологии формирования луча
  - Реализация
  - Реализация в устройствах Инфинет
  - Дополнительные сценарии применения технологии формирования луча
- Дополнительные материалы

## Введение

Широкое распространение систем беспроводного широкополосного доступа создало ряд проблем, препятствующих эффективной эксплуатации существующих систем и масштабированию беспроводных сетей. В рамках этой статьи будут рассмотрены две основные проблемы:

- **Высокая интерференция** - влияние сторонних беспроводных систем передачи данных, использующих частотные каналы, пересекающиеся с каналами других систем.
- **Неэффективное использование подводимой мощности** - зачастую подводимая мощность используется неэффективно вследствие слабых направленных свойств антенн. Данный фактор также приводит к возникновению интерференции.

## Системы связи без использования технологии формирования луча

Диаграмма направленности антенн устройств, не поддерживающих технологию формирования луча, является фиксированной и не может быть изменена в процессе передачи данных. Пример работы сектора базовой станции, к которому подключены три абонентских устройства, представлен на видеоролике 1.

Сектор базовой станции последовательно взаимодействует с абонентскими устройствами, причём обмен данными является двунаправленным: сектор передаёт данные абонентскому устройству 1, и, дождавшись от него ответа, выполняет обмен данными с третьим и вторым абонентами. Сообщения, передаваемые в нисходящем канале, от базовой станции к абоненту, принимаются всеми абонентскими устройствами, независимо от получателя, т.е. при передаче сообщения абонентскому устройству 1 его получают абонентские устройства 2 и 3, но не будут обрабатывать.

Your browser does not support the HTML5 video element

*Видеоролик 1 - Пример работы системы без технологии формирования луча*

Такой подход имеет несколько недостатков:

- Неэффективное использование мощности излучения (независимо от устройства-получателя, сектор выполняет передачу данных всем абонентским устройствам, попадающим в зону покрытия), т.е. энергетика канала связи с конкретным абонентским устройством может быть увеличена.
- Низкий уровень безопасности (получив доступ к одному из абонентских устройств, злоумышленник может перехватить весь исходящий трафик сектора для любого из абонентов).
- Появление локальной помехи на сектор оказывает влияние на работу всех абонентских устройств, подключенных к этому сектору.

На видеоролике 2 представлена работа сектора базовой станции, к которому подключено три абонентских устройства, в условиях действия локальной помехи. В интервалы времени, выделенные для передачи данных в восходящем канале, от абонента к сектору, сектор принимает сумму сигнала абонента и помехи. В случае, если уровень помехи высок, то сектор не может выделить из полученной суммы сигналов полезную абонентскую составляющую и передачу данных необходимо повторить. На это будет затрачено дополнительное время, т.е. ресурсы системы будут использоваться неэффективно. Важно отметить, что попадание сигнала помехи в зону действия сектора, оказывает влияние на работу всех абонентов, т.к. широкий основной лепесток диаграммы направленности не позволяет выполнять избирательное пространственное подавление. Иными словами, сигнал любого устройства, попадающего в главный лепесток диаграммы направленности антенны сектора будет оказывать влияние на работу всей системы.

Your browser does not support the HTML5 video element

*Видеоролик 2 - Пример влияние локальной помехи на сектор системы без технологии формирования луча*

## Технология формирования луча

### Описание

Одним из методов решения обозначенных выше проблем является использование антенн с поддержкой технологии формирования луча (beamforming).

Технология формирования луча заключается в возможности управления диаграммой направленности антенны, т.е. антенна, в зависимости от сложившейся ситуации, сужает ширину основного лепестка диаграммы направленности и ориентирует его в необходимую сторону. Таким образом, для каждого из абонентских устройств может быть сформирована своя диаграмма направленности и при передаче данных этого абонента будет использована индивидуальная конфигурация. Следует отметить, что выбранная диаграмма направленности будет использоваться при двунаправленной обмене, т.е. как на приём, так и на передачу.

Пример с тремя абонентами, подключенными к одному сектору, поддерживающему технологию формирования луча, представлен на видеоролике 3. Как можно заметить, сравнительно с обычной антенной, ширина диаграммы направленности антенны сектора стала уже, выполняется переориентация основного лепестка в сторону абонентского устройства.

Your browser does not support the HTML5 video element

Видеоролик 3 - Пример использования сектора с технологией формирования луча

### Преимущества технологии формирования луча

Среди преимуществ устройств с поддержкой технологии формирования луча можно выделить следующие:

- Увеличение энергетика канала связи. На рисунке 1 представлено сравнение диаграммы направленности антенн с поддержкой beamforming и без неё. Следует учитывать, что мощность излучения устройства не изменилась, а за счёт того, что подведённая к антенне энергия излучается только в направлении конкретного абонента, уровень принимаемого абонентом сигнала существенно увеличивается. Аналогичный эффект наблюдается и в восходящем канале. Можно выделить следующие сценарии, использующие данное преимущество:
  - а. **Рост производительности** (за счёт увеличения отношения сигнал/шум для абонентов, выполняющих передачу данных не на максимальном битрейте, становится возможным использование высших модуляционно-кодовых схем, определяющих пропускную способность канала связи).
  - б. **Увеличение срока службы устройств** (рост энергетика канала связи, при условии, что необходимая производительность уже получена, может быть использован для снижения мощности излучения сигнала, что повысит срок службы радиопередатчика устройства).
  - в. **Увеличения дальности покрытия сектора** (рост энергетика канала позволяет выполнять подключение новых абонентских устройств на большем расстоянии от сектора).

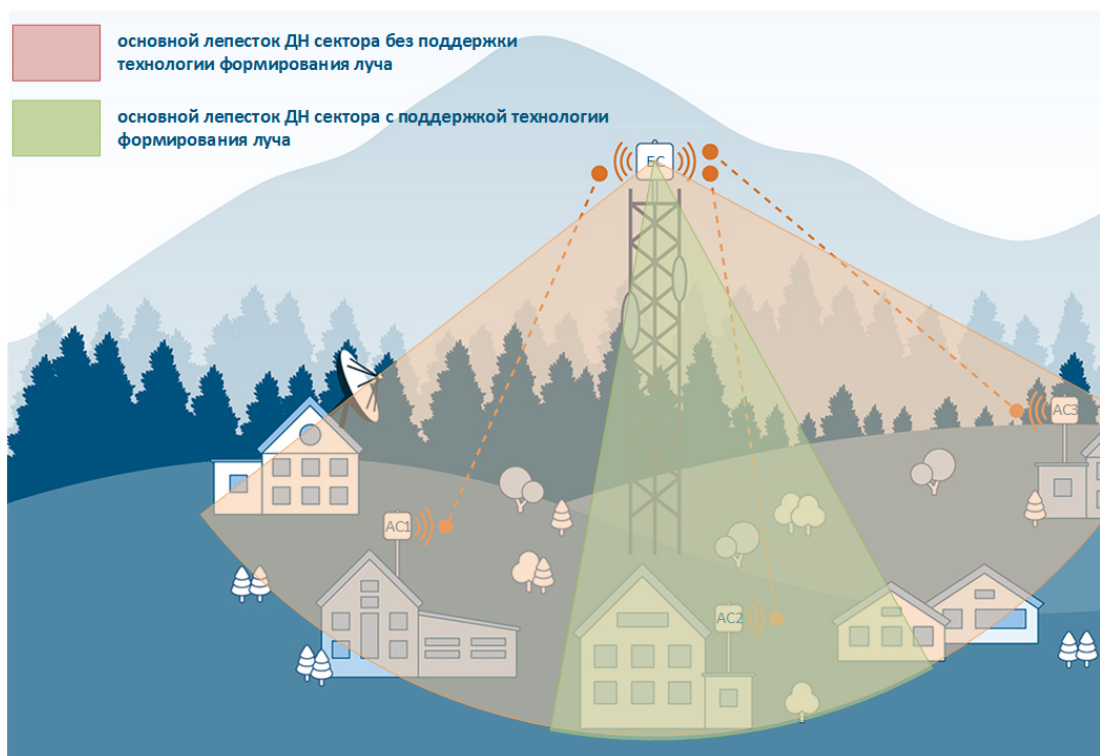


Рисунок 1 - Сравнение диаграммы направленности сектора с поддержкой технологии формирования луча и её

- Улучшение направленных свойств антенны сектора. Это позволяет повысить безопасность за счёт снижения рисков, связанных с возможностью перехвата данных всех абонентов сектора. В случае поддержки устройством технологии формирования луча, передача абонентских данных выполняется только в его направлении, а значит, при схожих действиях злоумышленника, он сможет получить доступ только к данным одного абонента.
- Возможность автоматического выбора направления излучения позволяет снизить требования к юстировке антенн устройств и позволяет определить азимут местонахождения абонента, что может быть использовано в некоторых сценариях, например в системах связи с подвижными объектами.
- Использование сектора БС с антенной с технологией формирования луча позволяет снизить влияние локальной помехи. На видеоролике 4 представлен механизм влияния помехи на антенну с поддержкой технологии формирования луча. Поскольку, при обслуживании второго и третьего абонентов, помеха попадает в боковой лепесток диаграммы направленности, то не оказывает существенного влияния на полезный сигнал. Т.к. направление на первого абонента и источник помехи совпадают, то использование технологии формирования луча не позволяет снизить влияние локальной помехи для этого устройства. Несмотря на то, что поддержка технологии формирования луча не позволяет полностью нивелировать влияние помехи, её использование может существенно улучшить производительность и надёжность связи в некоторых сценариях.

Your browser does not support the HTML5 video element

Видеоролик 4 - Пример влияния локальной помехи на сектор системы с технологией формирования луча

## Реализация

Современные устройства включают в себя несколько излучателей. Одной из конструкций, используемой в современной радиосвязи, является фазированная антенная решётка (см. рисунок 2), представляющая из себя матрицу проводящих элементов. Их форма и взаимное расположение определяют частотную избирательность и направленные свойства антенны.

К каждому из элементов антенны подводится копия модулированного сигнала от радиомодуля. Помимо конструкции антенной решётки, диаграмма направленности определяется характеристиками сигналов каждого из излучающих элементов: по умолчанию сигналы синфазны, однако, если осознанно вносить задержку по фазе, можно изменить форму и направление основного лепестка.

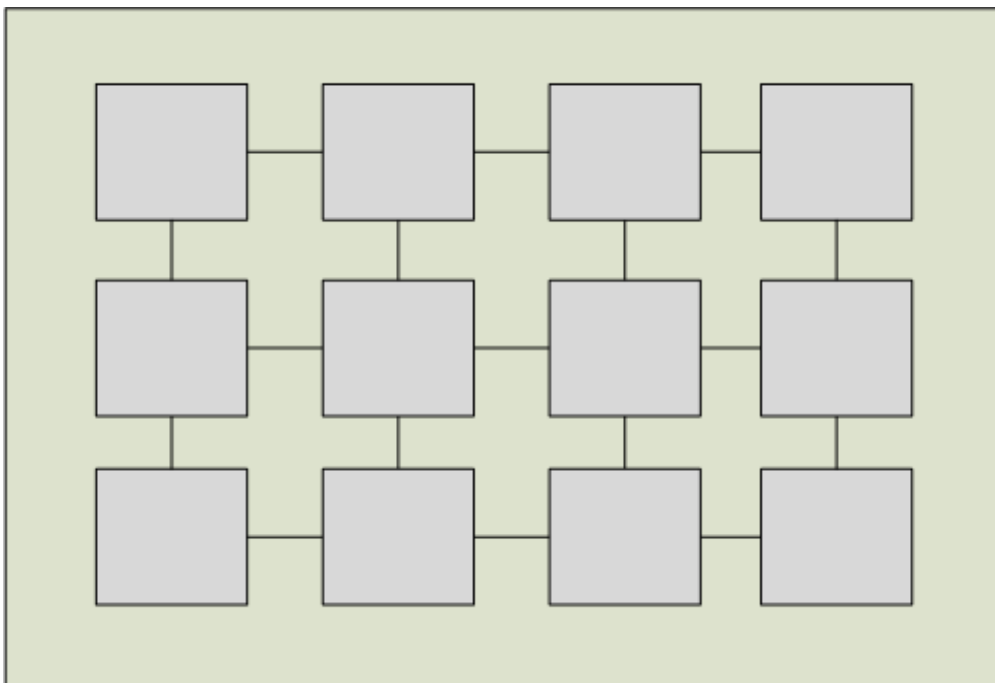


Рисунок 2 - Пример макета фазированной антенной решётки

Описанный выше эффект используется в устройствах с технологией формирования луча. Подход к управлению диаграммой направленности делит такие устройства на две большие группы:

- Устройства с набором шаблонов диаграммы направленности (в память устройства вносят несколько шаблонов диаграммы направленности, которые, как правило, отличаются азимутом основного лепестка. Взаимодействие с конкретным абонентским устройством подразумевает использование одного из шаблонов, который лучше всего подходит по заданному критерию. Недостатком подхода является то, что конечный набор шаблонов не всегда позволяет выбрать максимально эффективную диаграмму направленности для клиентского устройства).

- Устройства без шаблонов диаграммы направленности (в соответствии с принимаемым от клиентского устройства сигнала, устройство формирует индивидуальную диаграмму направленности, руководствуясь одним из заложенных алгоритмов. Недостатком подхода являются высокие требования к вычислительным ресурсам).

## Реализация в устройствах Инфинет

В продуктовом портфеле компании Инфинет технология формирования луча реализована в моделях секторов базовых станций [R5000-Qmxb](#), входящих в семейство систем "точка-многоточка" InfiMAN 2x2 и секторов базовых станций [E5-BSQ](#), входящих в семейство InfiMAN Evolution.

Интегрированная антенна устройств R5000-Qmxb и E5-BSQ включает в себя 15 встроенных шаблонов диаграмм направленности с шириной главного лепестка 20° (коэффициент усиления 21 дБ), расположенных со смещением 5° друг от друга и один шаблон с шириной лепестка 90° (коэффициент усиления 15 дБ). В зависимости от выбранного шаблона диаграммы направленности устройство может работать в двух режимах:

- **Широковещательный режим** - использование диаграммы направленности с шириной главного лепестка 90°. Данный режим используется при обмене служебной информацией, когда за абонентским устройством ещё не закреплён один из узконаправленных шаблонов или необходимо актуализировать данные о выбранном шаблоне.
- **Направленный режим** - использование одного из 15 шаблонов диаграммы направленности с шириной главного лепестка 20°. Данный режим используется при непосредственной передаче данных.

Видеоролик 5 демонстрирует работу механизма, установления соответствия между абонентской станцией и шаблоном диаграммы направленности. Сектор базовой станции выполняет рассылку запросов, адресованных всем абонентским станциям, последовательно используя каждый из узконаправленных шаблонов диаграммы направленности. В запросе содержится информация о номере шаблона. Абонентская станция оценивает уровень каждого из полученных сигналов рассылки и, выбрав максимальный, отправляет номер шаблона сектору. Получив информацию от абонентской станции, сектор заполняет таблицу соответствия и, при взаимодействии с конкретным клиентским устройством, использует шаблон из сформированной таблицы. Периодически, в ходе работы, сектор инициирует обновление таблицы соответствия, адаптируясь к возможным изменениям внешней среды.

Your browser does not support the HTML5 video element

*Видеоролик 5 - Механизм выбора шаблона диаграммы направленности для абонентского устройства*

Переход на систему с поддержкой технологии формирования луча не является трудозатратным - достаточно выполнить замену сектора базовой станции, причём может быть использована конфигурация прежнего устройства, т.к. они совместимы между собой, а технология формирования луча не требует настройки и выполняется прозрачно для пользователей и администраторов сети. Замену абонентских устройств производить не нужно - устройства совместимы между собой. Однако, есть два ограничения, которые требуется учитывать:

- Потребляемая мощность устройств с поддержкой технологии формирования луча выше, чем у устройств без поддержки, поэтому для организации питания устройств R5000-Qmxb и E5-BSQ используются блоки питания [IDU-BS-G\(60W\)](#) (входят в комплект поставки).
- Устройства R5000-Qmxb и E5-BSQ могут быть использованы только с версией программного обеспечения с поддержкой технологии TDMA (характеристики двух типов ПО представлены в статье [TDMA и Polling: особенности применения в беспроводных сетях](#)). Замена программного обеспечения с поддержкой технологии Polling на программное обеспечение с поддержкой TDMA может быть выполнена в соответствии с [инструкцией](#). При близком расположении нескольких секторов, например реализация схемы ABAB, рекомендуется использовать устройство синхронизации [AUX-ODU-SYNC](#).

## Дополнительные сценарии применения технологии формирования луча

Рассмотренные достоинства технологии формирования луча могут быть использованы в мобильных беспроводных системах связи. Подвижный характер абонентской или базовой станции оказывает сильное влияние на параметры канала связи, которые могут быть нивелированы с помощью использования устройств с технологией формирования луча. При использовании подобных устройств диаграмма направленности будет адаптироваться к изменениям внешней среды, пытаясь сохранить радиопараметры канала связи на максимальном уровне.

Следует иметь в виду, что реализация подобных проектов является нетривиальной задачей, требующей нестандартного подхода и смекалки. Одним из вариантов решения может быть использование устройств с технологией формирования луча на клиентской стороне, либо как на стороне абонента, так и на стороне базовой станции.

## Дополнительные материалы

1. [Онлайн-курс "Основа беспроводных сетей"](#)
2. Вебинар "[Сектор базовой станции R5000-Qmxb с beamforming-антенной](#)"
3. Вебинар "[Точка-точка](#)" с технологией формирования луча и другие трюки Qmxb"
4. [Истории успеха: Оборудование Инфинет в сети Флекс](#)
5. [Секторная антенна с технологией формирования луча](#)
6. [Спецификация Qmxb/5.300.2x300.2x21](#)
7. [Спецификация E5-BSQ](#)
8. Документ "Электроснабжение беспроводных устройств «Инфинет»" в разделе "[Документы](#)" академии Инфинет