Лекция 10

Антенные системы и выбор антенн для корпоративных WLAN

Диаграмма направленности • поляризация • MIMO • радиопланирование

А.А. Хохлов • Алматы, 2026

Цель лекции

- Сформировать знания о принципах функционирования антенных систем и их влиянии на качество радиопокрытия, производительность и устойчивость корпоративных беспроводных сетей.
- Изучить классификацию всенаправленных, направленных и адаптивных антенн, особенности диаграмм направленности, коэффициента усиления, поляризации и рабочих частотных диапазонов.
- Рассмотреть применение технологий MIMO и Beamforming, характеристики антенно-фидерных трактов и влияние условий монтажа на распространение радиосигналов.
- Сформировать понимание критериев инженерного выбора антенн для офисов, учебных аудиторий, коридоров, открытых площадок и межзданийных соединений.

Результаты обучения

По завершении лекции обучающийся сможет:

- Различать основные типы антенн WLAN и объяснять особенности их диаграмм направленности и зон радиопокрытия.
- Характеризовать коэффициент усиления, поляризацию, рабочие диапазоны, а также принципы MIMO и Beamforming.
- Обосновывать выбор антенных систем с учётом геометрии объекта, расположения пользователей, требований к покрытию и условий эксплуатации.

Антенна - ключевой элемент WLAN

Преобразование сигнала

Антенна преобразует высокочастотный электрический сигнал в радиоволну и обратно.

Пространственное покрытие

Форма диаграммы определяет распределение энергии, зоны сигнала и взаимные помехи.

Часть инженерного проекта

Тип антенны зависит от геометрии объекта, плотности клиентов и условий монтажа.

Пассивная антенна не создаёт энергию: она перераспределяет её по направлениям.

Основные виды антенн WLAN

Всенаправленные

Почти круговая азимутальная диаграмма; потолочные AP, центральное покрытие и открытые зоны.

Направленные

Панельные, секторные, рупорные: концентрация излучения в нужном секторе.

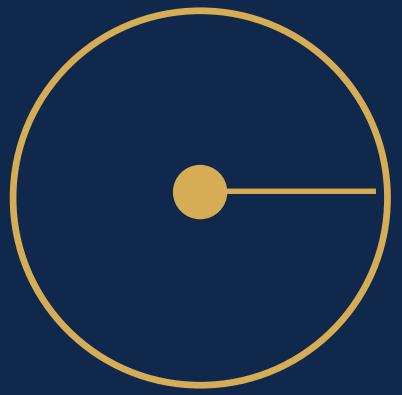
Встроенные / внешние

Встроенные удобны в монтаже; внешние позволяют выбрать форму луча и место установки.

Адаптивные решётки изменяют пространственные свойства сигналов средствами управления.

Диаграммы направленности: сравнение

ВСЕНАПРАВЛЕННАЯ



Круговое распределение по азимуту

НАПРАВЛЕННАЯ



Излучение преимущественно в секторе

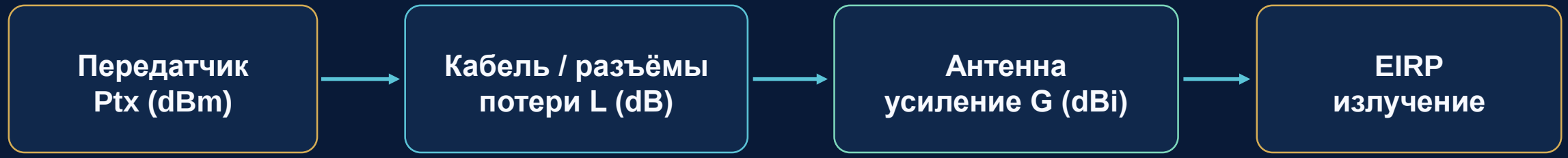
Ширина луча по уровню −3 дБ не является резкой границей радиопокрытия.

Ключевые технические параметры антенн

Диаграмма	Главный, боковые и задний лепестки; ширина луча −3 дБ
Усиление	dBi относительно изотропного излучателя; dBd - относительно диполя
Поляризация	Вертикальная, горизонтальная, наклонная, круговая
Согласование	КСВН, параметры фидера и радиочастотных разъёмов
Частоты / EIRP	Диапазоны 2,4 / 5 / разрешённые 6 ГГц; нормы излучения

Высокое усиление не означает равномерно лучшее покрытие во всех направлениях.

Усиление, фидерные потери и EIRP



$$EIRP\ (dBm) = Ptx\ (dBm) - L\ (dB) + G\ (dBi)$$

Соблюдать предельные параметры излучения и регуляторный домен Казахстана.

Поляризация, MIMO и Beamforming

Поляризация

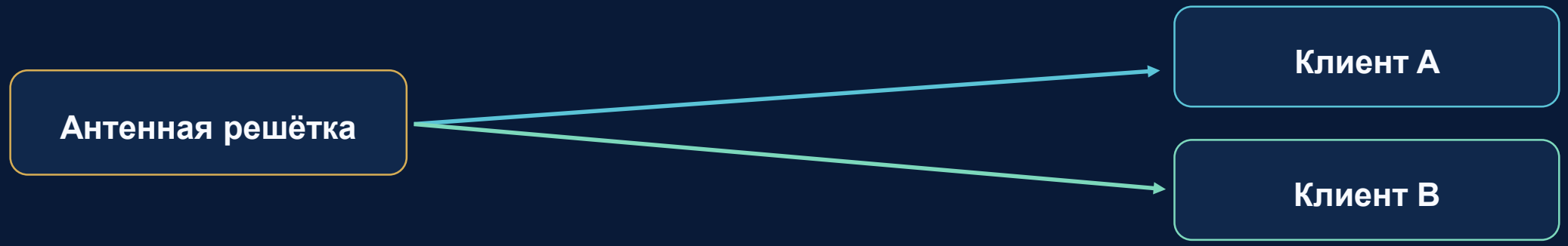
Несовпадение ориентации электрического поля может увеличить потери радиолинии.

MIMO

Несколько радиотрактов используются для устойчивости или пространственного разделения потоков.

Beamforming

Согласованное изменение параметров элементов повышает сигнал в нужном направлении.



Выбор антенн внутри здания

Офисы и аудитории	Потолочные AP со встроенными антеннами; равномерность покрытия
Лекционные и конференц-залы	Несколько радиоячеек, ёмкость и разделение каналов
Длинные коридоры	Направленные решения с проверкой влияния на соседние комнаты
Склады и производственные зоны	Учитывать металл, стеллажи, отражения и вибрации

Радиообследование желательно проводить и в условиях типовой пользовательской нагрузки.

Наружные антенны и межзданийные мосты

Открытые площади кампуса

Всенаправленные или секторные антенны с учётом маршрутов движения и концентрации клиентов.

Фиксированная связь между зданиями

Направленные антенны, прямая видимость и точная взаимная ориентация.

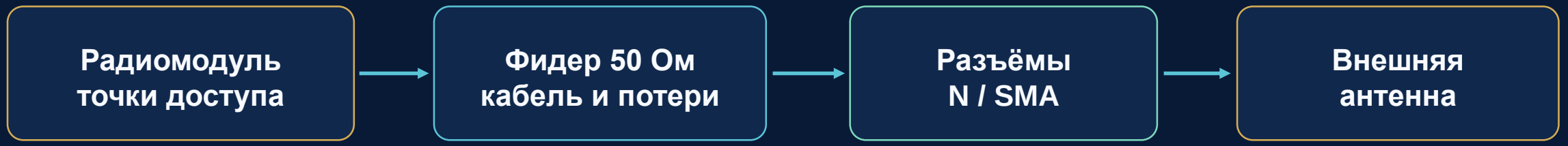
Условия эксплуатации

Ветер, осадки, температура, герметизация, заземление и защита от перенапряжений.

Настройка геометрии луча

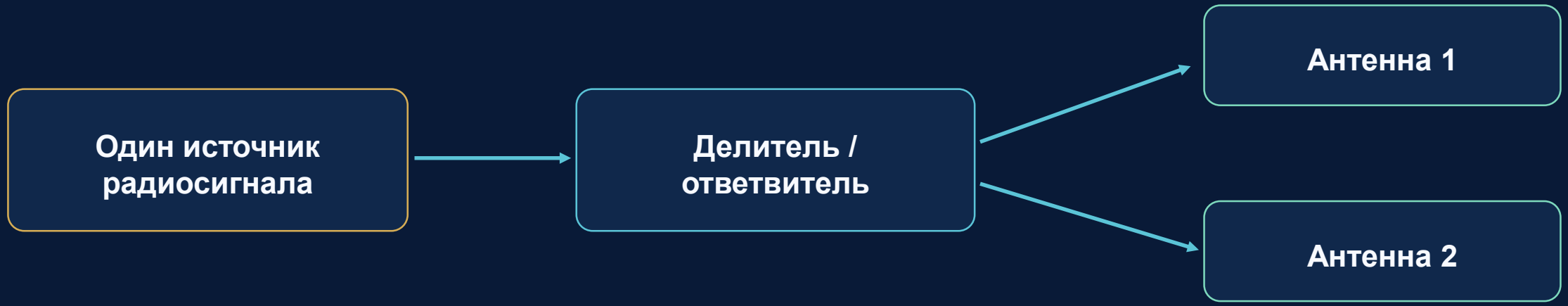
Наклон, высота, ширина диаграммы, рельеф и контроль обратного канала клиента.

Антенно-фидерный тракт WLAN



- Длинный фидер может свести на нет выигрыш от высокого усиления.
- Кабель и соединители требуют согласования по частоте и импедансу.
- Для наружной линии важны влагозащита и механическая фиксация.
- После монтажа проверяют уровень сигнала и состояние соединений.

Распределённые антенные системы



- Пассивное деление мощности не создаёт новую ёмкость радиосети.
- Каждая ветвь добавляет затухание кабеля и распределительных элементов.
- При высокой плотности клиентов часто эффективнее несколько AP с PoE.

Кейс: учебный корпус и внутренний двор

Аудитории	Потолочные AP; покрытие и нагрузочная ёмкость
Длинный коридор	Оценка направленного излучения и взаимных помех
Внутренний двор	Наружная секторная / всенаправленная система
После установки	RSSI, SNR, скорость, роуминг и сравнение зон

Критерий выбора - выполнение требований приложений, а не максимум RSSI в одной точке.

Алгоритм выбора и эксплуатационного контроля

1. Определить зону, клиентов и приложения
2. Выбрать тип диаграммы и размещение AP
3. Проверить диапазон, усиление, поляризацию и MIMO
4. Учесть фидер, EIRP, монтаж и защиту
5. Провести радиообследование и испытания
6. Зафиксировать схему, ориентацию и результаты

Итоги и вопросы для самопроверки

- Антенна управляет распределением радиосигнала в пространстве.
- Всенаправленные и направленные решения подходят разным зонам.
- Усиление, ширина луча, поляризация, КСВН и EIRP связаны между собой.
- MIMO и beamforming зависят от характеристик антенной системы.
- Фидер, монтаж, регулирование и радиообследование обязательны для выбора.

Вопрос: почему антенна с большим усилением не всегда улучшает WLAN?