Лекция 4

Технологии Wi-Fi 6 и оборудование корпоративных беспроводных сетей

6B06201 - Радиотехника, электроника и телекоммуникации

А.А. Хохлов • Алматы, 2026

Цель лекции

- Сформировать представление о современных технологиях беспроводной связи стандарта IEEE 802.11ax (Wi-Fi 6) и их применении в корпоративных сетях с высокой плотностью подключённых устройств.
- Рассмотреть механизмы повышения спектральной эффективности, распределения радиоресурсов и одновременного обслуживания пользователей, включая OFDMA, MU-MIMO, BSS Coloring и Target Wake Time.
- Изучить функциональные особенности оборудования Wi-Fi 6 и принципы его выбора с учётом производительности, совместимости, плотности клиентских подключений и условий эксплуатации.

Результаты обучения

По завершении лекции обучающийся сможет:

- Объяснять основные технологические отличия Wi-Fi 6 от предыдущих поколений WLAN.
- Характеризовать назначение OFDMA, MU-MIMO, BSS Coloring и Target Wake Time.
- Оценивать возможности оборудования Wi-Fi 6 и определять области его применения в корпоративной инфраструктуре.

Wi-Fi 6: эффективность для большого числа устройств

Wi-Fi 5 / 802.11ac

Основной акцент: высокая скорость отдельного соединения, широкие каналы и MU-MIMO в нисходящем направлении.

Wi-Fi 6 / 802.11ax

Акцент: эффективное совместное обслуживание множества терминалов, распределение ресурса и энергоэффективность.

Пиковая PHY-скорость до ~9,6 Гбит/с - не скорость типового пользователя.

Четыре ключевые технологии Wi-Fi 6

OFDMA

Частотно-временные ресурсы распределяются между несколькими устройствами.

MU-MIMO и 1024-QAM

Параллельные пространственные потоки и более плотная модуляция.

BSS Coloring

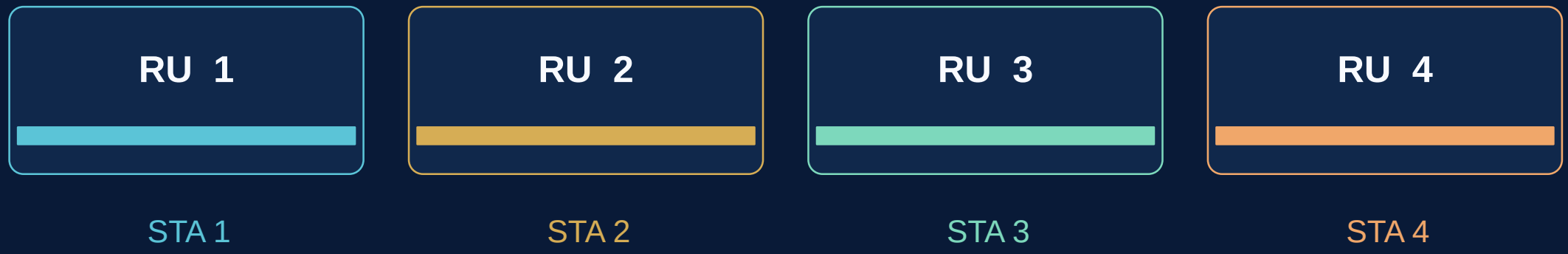
Более гибкое пространственное повторное использование каналов.

Target Wake Time

Согласованные интервалы активности для энергосбережения.

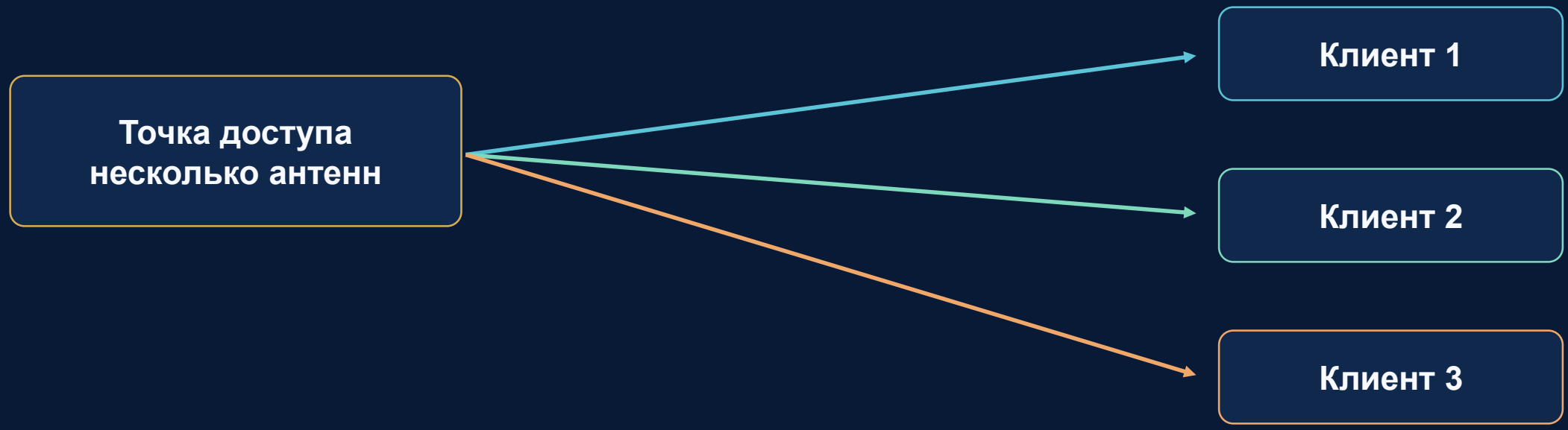
OFDMA: распределение ресурсных единиц RU

Один радиоканал - несколько пользователей в одном интервале



- Downlink: AP выделяет RU для нескольких клиентов.
- Uplink: AP координирует одновременную передачу от клиентов.
- Размеры RU и выигрыш зависят от реальной нагрузки.

MU-MIMO и 1024-QAM: два разных ресурса



MU-MIMO: пространственное разделение потоков

1024-QAM: 10 бит/символ против 8 бит/символ для 256-QAM, при лучшем SNR.

BSS Coloring и перекрытие зон покрытия



- Помогает различать собственные и соседние BSS на одном канале.
- При допустимых уровнях помех возможно повторное использование среды.
- Не заменяет планирование мощности, частот и размещения AP.

Target Wake Time (TWT): согласованная активность

Временная линия клиента IoT



- Точка доступа и терминал согласовывают моменты обмена.
- Снижается время постоянной активности радиоинтерфейса.
- Особенно полезно для датчиков и устройств с периодической телеметрией.

Классы точек доступа корпоративных WLAN

Внутренние AP

Офисы, аудитории, библиотеки; потолочный или настенный монтаж.

Настенные AP

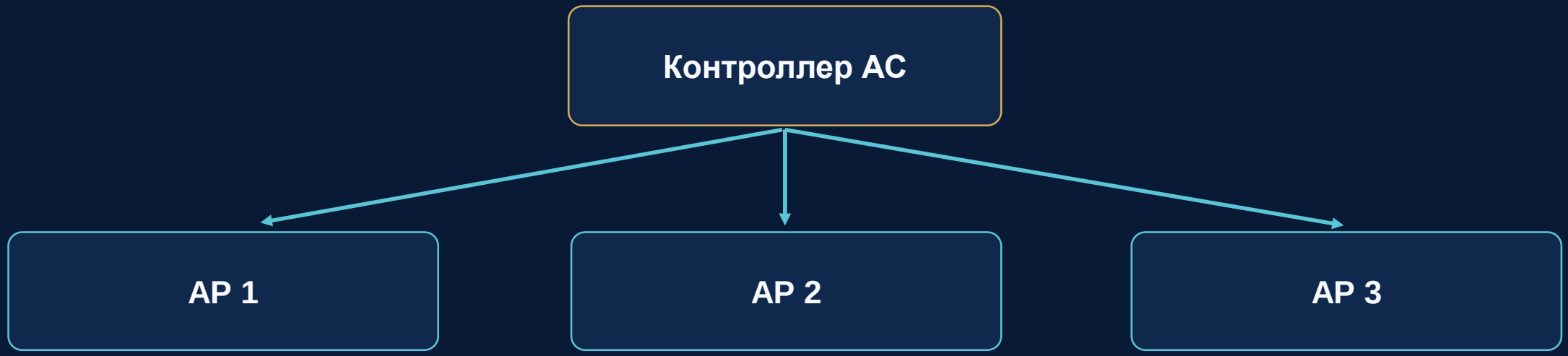
Кабинеты, общежития, гостиницы; возможны дополнительные LAN-порты.

Наружные AP

Открытые территории; требования к IP-защите, климату и антеннам.

Подбор AP начинается с сценария, плотности пользователей и радиосреды.

Контроллер AC: централизованное управление



- Функции: регистрация AP, SSID, безопасность, мониторинг, роуминг.
- Варианты: аппаратный, виртуальный или облачный контроллер.
- Оценка: AP/клиенты, производительность, лицензии и резервирование.

Интерфейсы AP и узкие места сети



- Суммарная беспроводная PHY-скорость не равна полезной скорости.
- Проводной uplink может стать ограничением при плотной нагрузке.
- Важны антенны, радиомодули, сканирование и совместимость AC.

Электропитание PoE: стандарты и бюджет

802.3af	802.3at	802.3bt
до 15,4 Вт	до 30 Вт	до ~60 / 90 Вт

- PSE - коммутатор / инжектор; PD - точка доступа.
- Учитывайте потери в кабеле и классы питания самой AP.
- Суммарный PoE-бюджет коммутатора ограничивает число AP.

QoS и мониторинг радиосреды

Quality of Service

Приоритет для трафика реального времени, ограничение скорости гостевых устройств, управление нагрузкой.

QoS не создаёт дополнительную полосу пропускания.

Радиомониторинг

Анализ загруженности каналов, помех, подозрительных AP и качества связи.

Сканирующие радиомодули помогают выполнять мониторинг без остановки обслуживания.

Выбор оборудования: типовые сценарии

Университетский кампус

Разные плотности клиентов, роуминг между корпусами, SSID для студентов и сотрудников.

Офис

Видеоконференции, мобильность, качество покрытия и политика безопасности.

Склад / производство

Металл, помехи, терминалы учёта, защищённые корпуса и проверка роуминга.

Радиообследование и пилот важнее сравнения только паспортных скоростей.

Итоги: как проектировать Wi-Fi 6 WLAN

- Wi-Fi 6 повышает эффективность обслуживания многих клиентов.
- OFDMA распределяет RU; MU-MIMO использует пространственные потоки.
- BSS Coloring повышает повторное использование канала; TWT экономит энергию.
- Выбор AP определяется плотностью, условиями установки и качеством радиосреды.
- Проверьте AC, Ethernet uplink, PoE-бюджет, QoS и совместимость устройств.

Контрольный вопрос: почему максимальная PHY-скорость не определяет качество WLAN?