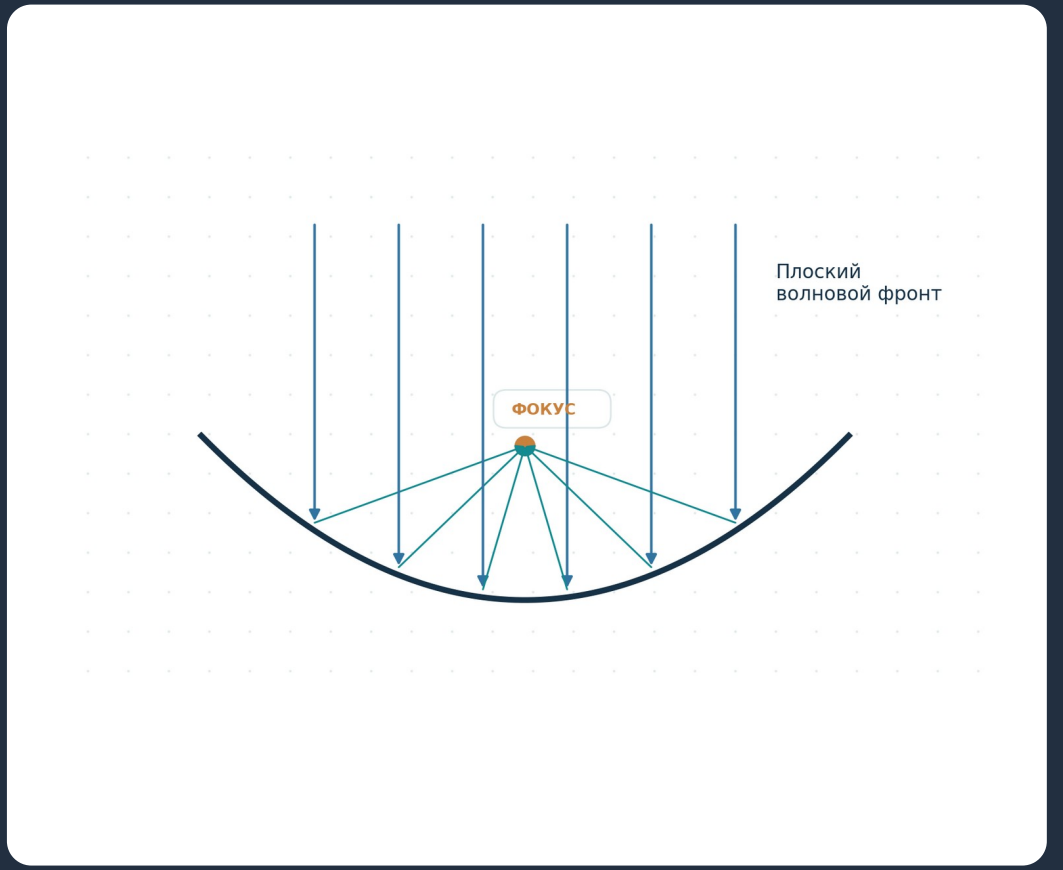
Казахский национальный университет имени аль-Фараби

ОТКРЫТЫЙ ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

Лекция 05

Зеркальные и параболические антенны

Рефлектор, фокус, облучатель, эффективность апертуры и наведение



Мейрамбекұлы Нұрсұлтан

старший преподаватель кафедры электроники и астрофизики, PhD

Цель и результаты обучения

Что необходимо освоить

ЦЕЛЬ ЛЕКЦИИ

Разобрать физику формирования узкого луча и инженерный расчёт зеркальных антенн.

ПОСЛЕ ИЗУЧЕНИЯ ТЕМЫ

Объяснять геометрическую роль параболоида. Рассчитывать приблизительное усиление. Называть основные причины потери эффективности.

План лекции

Шесть ключевых вопросов

1. **Как работает параболический рефлектор**
2. **КПД раскрыва и потери**
3. **Сопровождение спутников**
4. **Формула усиления**
5. **Фокусная геометрия**
6. **Погрешности поверхности**

Как работает параболический рефлектор

РАЗДЕЛ 1 / 6

Параболическая поверхность отражает лучи, исходящие из фокуса, в приблизительно параллельный пучок в направлении оси. При приёме происходит обратное преобразование: энергия плоской волны концентрируется у облучателя. В практической конструкции качество волнового фронта зависит от формы зеркала, точности положения фида и его диаграммы. Параболическое зеркало не усиливает передатчик активным способом, а концентрирует излучение.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Параболоид

Фокус

F/D

01

КПД раскрыва и потери

РАЗДЕЛ 2 / 6

Общая эффективность включает неравномерность освещения, перелив излучения за край, блокировку центральным облучателем, ошибки поверхности, поляризационные и омические потери. При одинаковом диаметре два рефлектора могут иметь заметно разный коэффициент усиления. Смещение облучателя уменьшает блокировку, но создаёт другую геометрию и дополнительные требования к точности.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

КПД раскрыва

потери

Фокус

02

Сопровождение спутников

РАЗДЕЛ 3 / 6

Для GEO часто применяют стационарно наведённые отражатели, для LEO — двухосевые опорно-поворотные устройства. С ростом диаметра сужается луч и усиливаются требования к энкодерам, жёсткости конструкции, ветровой устойчивости и качеству эфемерид. При разработке станции проверяют не только RF-параметры, но и механическую способность плавно проходить зенитные участки.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Сопровождение спутников

F/D

Облучатель

03

Формула усиления

РАЗДЕЛ 4 / 6

Для круглого отражателя диаметром D и длины волны λ применяют $G \approx \eta(\pi D/\lambda)^2$. Переход к дБи выполняют по $10\log_{10}(G)$. Размер и КПД следует брать для реальной рабочей частоты, а не для номинальной ширины полосы оборудования.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Формула усиления

Облучатель

КПД

04

Фокусная геометрия

РАЗДЕЛ 5 / 6

Для параболы профиля $z = r^2/(4F)$ расстояние F задаёт фокус. Отношение F/D влияет на требования к диаграмме облучателя и глубину рефлектора. Геометрическая форма должна согласовываться с электромагнитным освещением поверхности.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Фокусная геометрия

КПД

Ruze

05

Погрешности поверхности

РАЗДЕЛ 6 / 6

Для оценки влияния среднеквадратической ошибки поверхности σ иногда используют приближённый множитель эффективности по Руэзе: $\exp[-(4\pi\sigma/\lambda)^2]$. Это подчёркивает необходимость гораздо более точной поверхности при уменьшении длины волны.

ПОНЯТИЯ РАЗДЕЛА

Погрешности поверхности

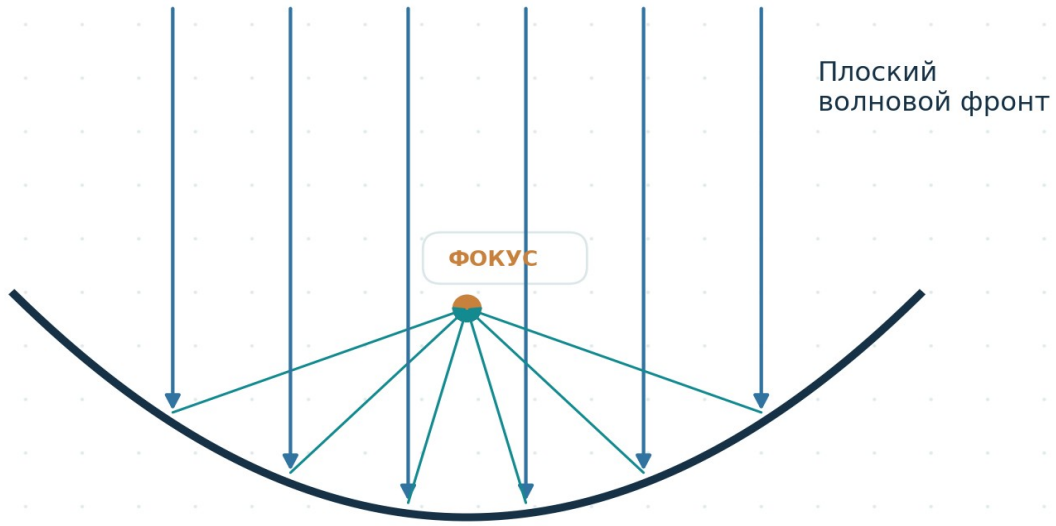
Ruze

Офсет

06

Техническая иллюстрация

Зеркальные и параболические антенны



Обратите внимание

Рефлектор, фокус, облучатель, эффективность апертуры и наведение

Схема отражает основные взаимосвязи, рассмотренные в лекции.

Основные расчётные соотношения

Связь теории с инженерным расчётом

$$G \approx \eta(\pi D/\lambda)^2;\ \eta_поверхности \approx \exp[-(4\pi\sigma/\lambda)^2].$$

Обратите внимание

Для круглого отражателя диаметром D и длины волны λ применяют $G \approx \eta(\pi D/\lambda)^2$.

Усиление тарелки 1,8 м на 12 ГГц

Инженерный пример

При $\lambda \approx 0{,}025$ м, диаметре $D = 1{,}8$ м и КПД $\eta = 0{,}60$: $G \approx 0{,}60 \times (\pi \times 1{,}8 / 0{,}025)^2 \approx 30\,700$, то есть около 44,9 дБи. Это идеализированная оценка с заданным суммарным КПД, а не гарантия измеренного усиления конкретного изделия.

Ключевой вывод: результат необходимо сопоставить с требованиями системы.

Инженерные аспекты

1 из 1 · Углублённый разбор

Эффективность зеркальной антенны — результат совместной работы рефлектора и облучателя. Помимо погрешности поверхности, влияют блокировка, амплитудное освещение, перелив и отклонение фокуса. Чем выше частота, тем жёстче требования к точности геометрии в долях длины волны. При расчёте системы сопровождения учитывают не только максимальную скорость изменения азимута и угла места, но и ускорения приводов, калибровку нуля энкодеров и устойчивость к ветру. Параболическая антенна с большим усилением может проиграть менее направленной, если не удерживает спутник в пределах главного луча.

Алгоритм инженерной проверки

Последовательность действий



1. Определите исходные параметры и единицы.
2. Отделите измеренные значения от допущений и ориентировочных данных.
3. Проверьте расчёт и его применимость.
4. Оцените порядок величины, допущения и способ независимой проверки.

Последовательность проверки помогает связать расчёт, измерение и требования проекта.

Проектные ограничения

Что следует учитывать при реализации

При замене рупорного облучателя на другой модель может показать хорошее согласование, но ухудшение диаграммы из-за изменённого освещения зеркала. Проектируйте рефлектор и фид как единую антенную систему. Численный пример является учебным; для реальной системы необходимы измерения, подтверждённые исходные данные и проверка диапазона применимости модели.

Практическое задание

Самостоятельная работа

Оцените усиление зеркала диаметрами 0,9 и 1,8 м на 8,4 ГГц при одинаковом η = 0,55. Рассчитайте прирост в дБ.

Термины для повторения

Параболоид • Фокус • F/D • Облучатель • КПД • Ruze • Офсет • HPBW

Контрольные вопросы

Для самопроверки

01 Где расположен облучатель классической параболы?

02 Что входит в КПД раскрыва?

03 Как изменится усиление при удвоении D?

04 Зачем нужна оценка ошибки поверхности?

05 Чем офсетный рефлектор отличается от осевого?

06 Какие требования к сопровождению LEO?

Итоги лекции

Три основных положения

1. Параболическая поверхность отражает лучи, исходящие из фокуса, в приблизительно параллельный пучок в направлении оси.

2. Общая эффективность включает неравномерность освещения, перелив излучения за край, блокировку центральным облучателем, ошибки поверхности, поляризационные и омические потери.

3. Для GEO часто применяют стационарно наведённые отражатели, для LEO — двухосевые опорно-поворотные устройства.

Литература и открытые источники

Для дальнейшего изучения

01 C. A. Balanis. Antenna Theory: Analysis and Design (учебник)

02 J. D. Kraus, R. J. Marhefka. Antennas (учебник)

03 ITU-R P.618-14 (2023). Earth-space propagation

Мейрамбекұлы Нұрсұлтан