

*Базовое предприятие ОАО «Радиофизика»
Кафедра «Радиофизика и техническая кибернетика»*

*Елизаров С.В., Шишилов А.В.:
Задачи разработки, моделирования и измерений
антенных устройств и систем*

*Выступление
перед студентами 013 группы 3-го курса ФРТК МФТИ,
28 февраля 2013 г.*

НИО-3 – Отделение антенных устройств и систем ОАО «Радиофизика»

- *Состав НИО – около 80 человек*
- *В том числе: Антенный отдел. Отдел фидерных устройств. Отдел устройств управления. Конструкторский отдел.*
- *Основные решаемые задачи:*
 - *Разработка фазированных антенных решеток (ФАР), в том числе активных и цифровых АР;*
 - *Разработка квазиоптических антенн (зеркальных, линзовых, гибридных);*
 - *Разработка слабонаправленных антенн, включая излучатели ФАР и облучатели квазиоптических антенн;*
 - *Измерения характеристик антенн;*
 - *Разработка многодиапазонных и широкополосных волноводных элементов, включая поляризационные устройства и фильтры;*
 - *Разработка аппаратуры управления для антенн*

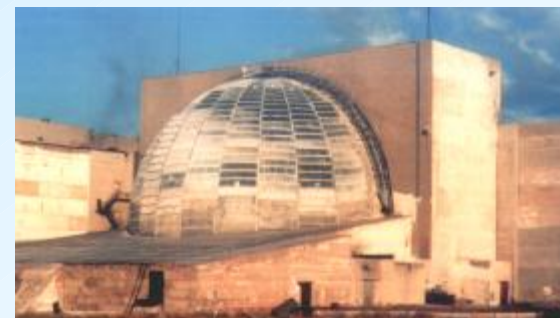
История: участие в создании антенн для систем ПРО, СПРН и СККП (1960- 1990 г.г.)



*Антенна системы С-225
(полигон Кура)*



*Приемная позиция
РЛС Дунай-3 (г. Кубинка)*



*Приемная позиция РЛС «Неман»
(полигон Сары-Шаган)*



*Передающая и приемная ФАР РЛС
5Н32 (г. Припять)*

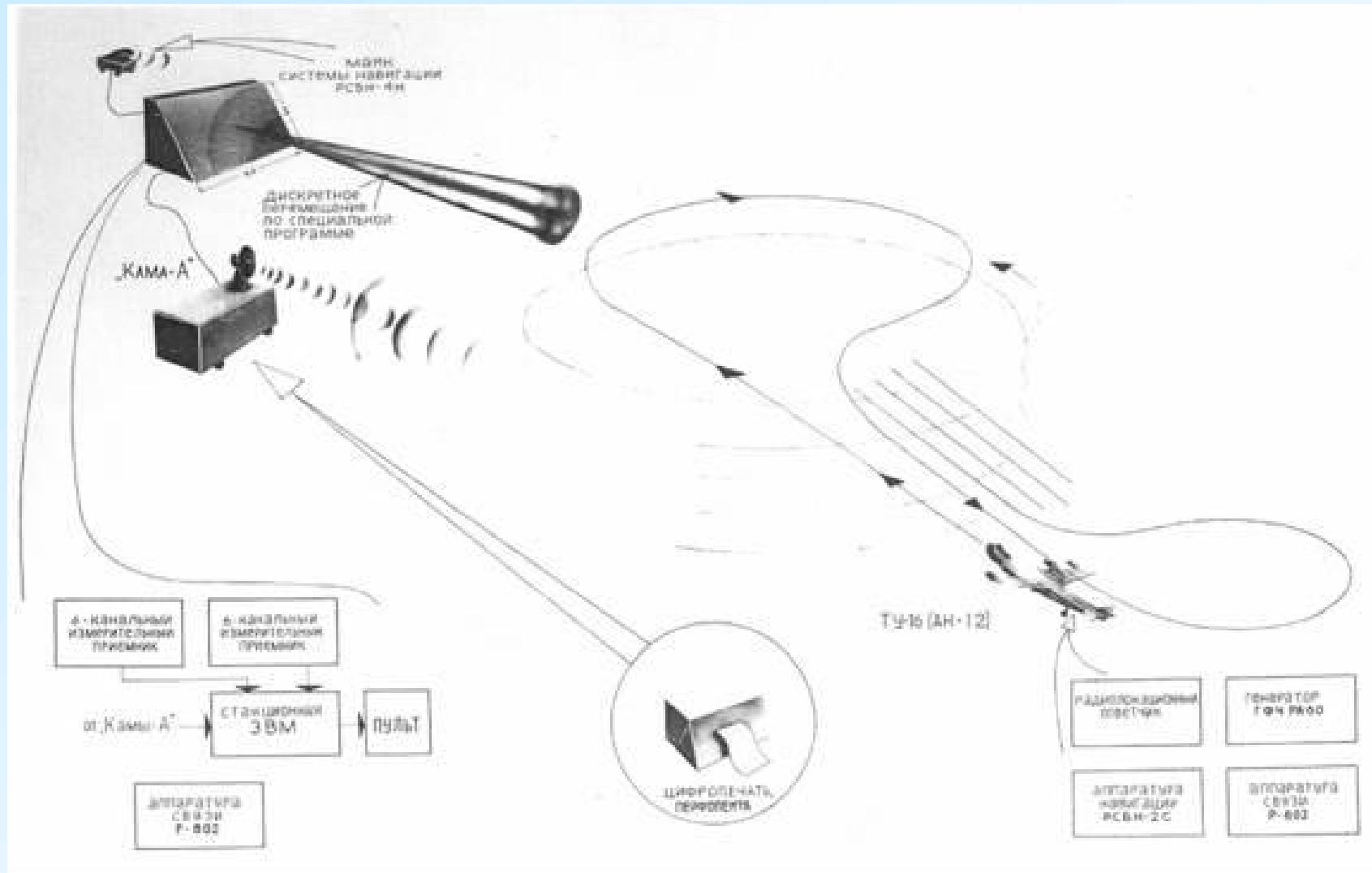


РЛС «Дон-2НП» (Софрино)



КА «Алмаз» с РЛС «Меч»

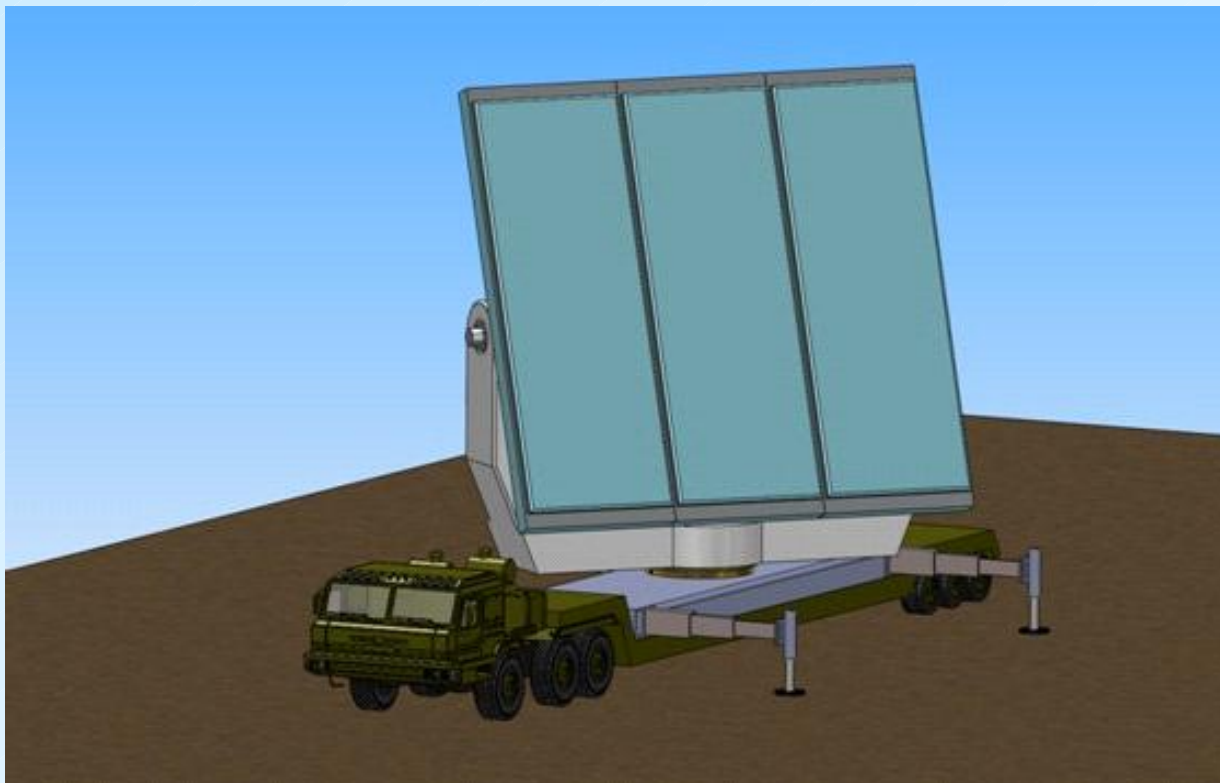
История: Комплексы для измерений характеристик РЛС облетным методом (1965 – 1990 г.г.)



О моделировании антенных систем

- По мере развития требований к радиосистемам (и технологий) к антеннам (и другим составным частям систем) предъявляются всё более жесткие требования - как к отдельным характеристикам, так и к совокупности характеристик.*
- Разработка современных радиосистем и устройств невозможна без создания компьютерных моделей для расчетов электродинамических, радиотехнических, тепловых, механических и других характеристик.*
- Для этих целей применяются пакеты коммерческих программ, созданных для моделирования тех или иных характеристик. В ряде случаев приходится самим разрабатывать алгоритмы и программы моделирования применительно к своим разработкам.*
- Эти программы – лишь инструменты. Разработчику необходимо глубокое понимания сути процессов, происходящих в моделируемых устройствах и заранее предвидеть, каким должен быть результат моделирования. Программа может лишь рассчитать интересующую характеристику по заложенному в неё алгоритму и отобразить результаты расчета. Задача разработчика: придумать, изобрести структуру устройства или системы, обеспечивающую требуемые свойства устройства или системы.*

*Пример: Стационарная и мобильная
радиолокационные станции Р-диапазона
с цифровыми АФАР
для дальнего обнаружения объектов, 2014*



Мобильная РЛС с цифровой АФАР

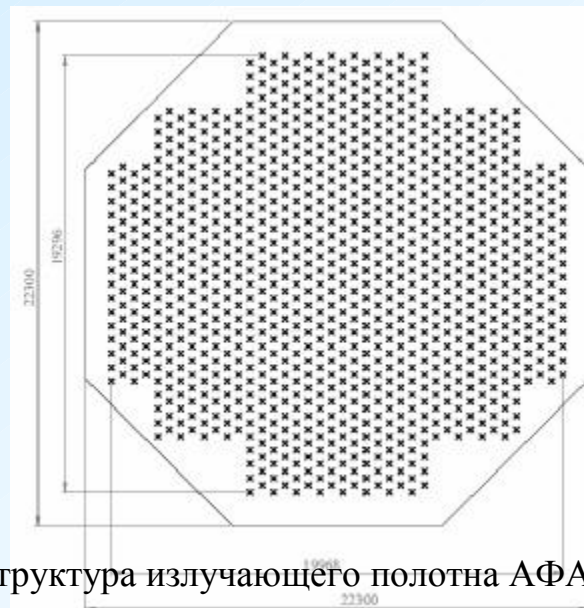


Модуль цифровой АФАР

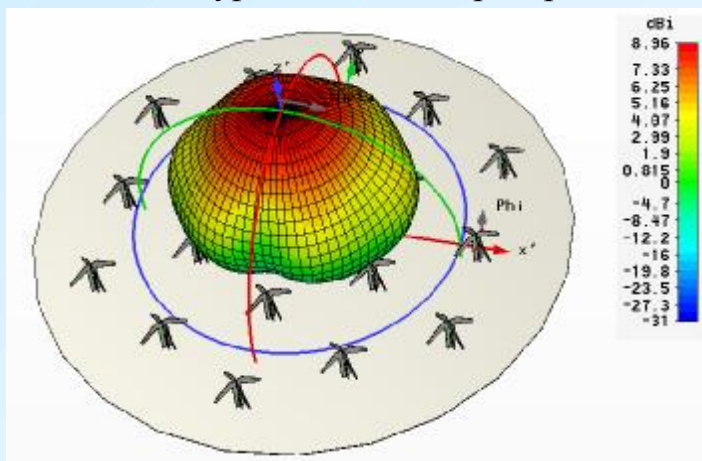
Электродинамическое моделирование характеристик АФАР



Турникетный вибратор

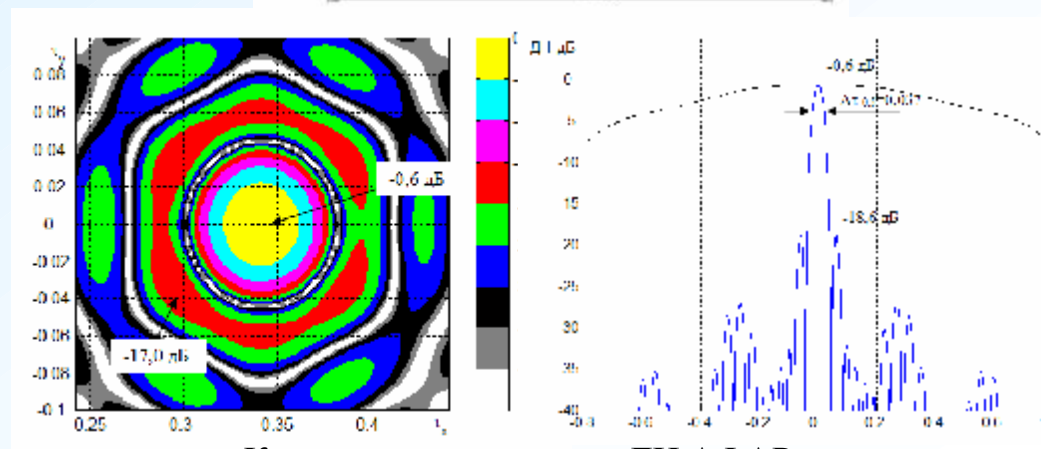


Структура излучающего полотна АФАР



Фрагмент из 19 излучателей и объемная частичная ДН излучателя.

Пакет CST Microwave Studio



Картограмма и сечение ДН АФАР

Программа моделирования ФАР

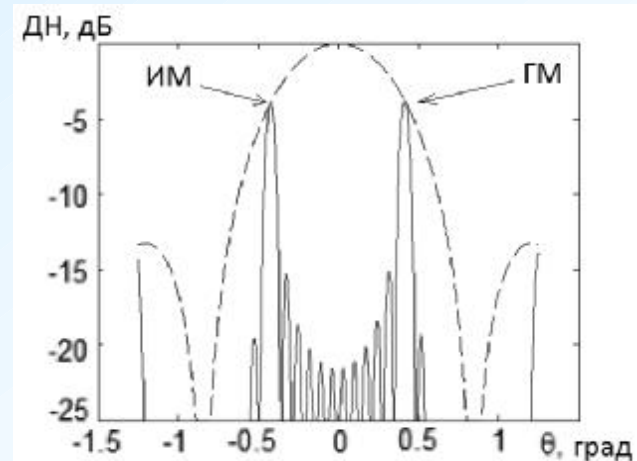
Другой пример: Радиолокатор “Руза” (1989)

Параметры:

Диапазон частот	34 ГГц
Размер апертуры	40 кв.м.
Излучаемая мощность	500 кВт
Количество модулей	120
Разрешение по углам	4 угл. сек.
Сектор электронного сканирования	1°



Проблема:
Интерференционные максимумы в ДН



ДН ФАР при отклонении луча на угол 25 угловых минут

Радиолокатор разработан в 1989 году. Его фазированная антенная решетка - самая большая в K_a -диапазоне - обеспечивает высокую точность измерений координат целей и помехозащищенность.

Ещё пример: РЛС Ка-диапазона с широким сектором обзора



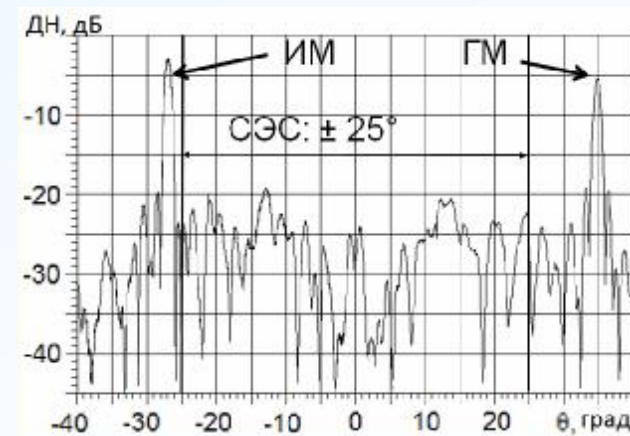
РЛС с ФАР

- Диапазон рабочих частот – 34 ГГц
- Ширина луча около 1°
- Сектор электрического сканирования конус с углом при вершине 90°
- Количество излучателей ФАР - 3600



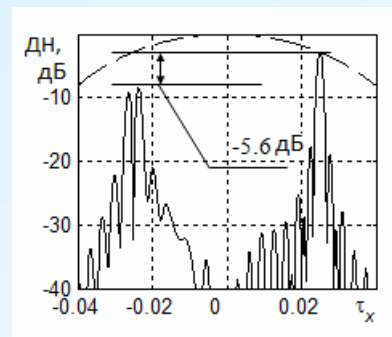
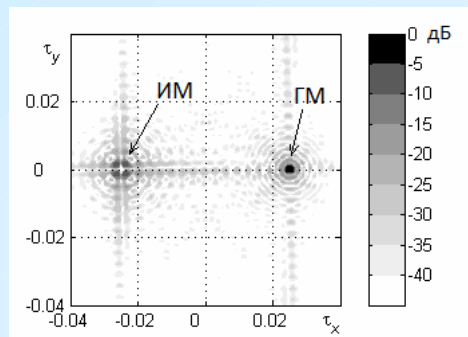
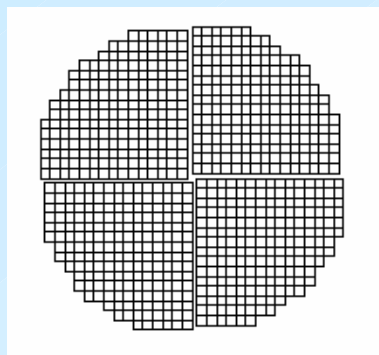
*Подрешетка ФАР
на ферритовых фазовращателях*

*Проблема та же:
интерференционные максимумы в ДН*

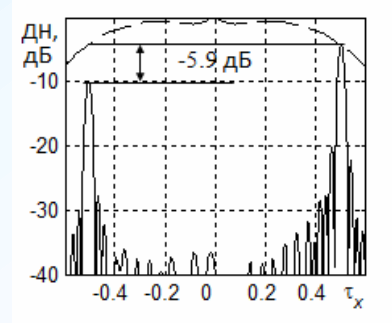
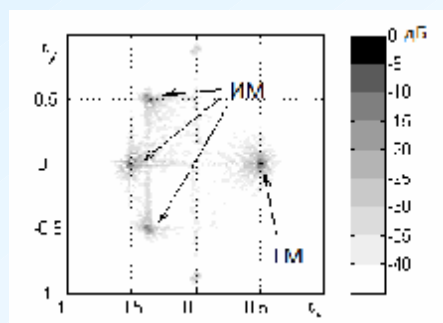
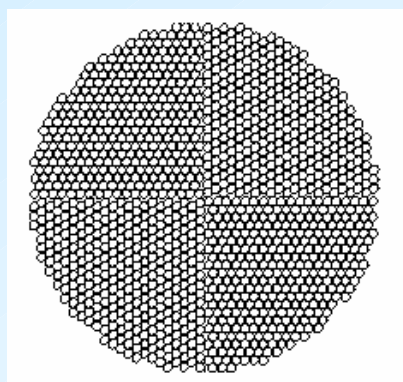


ДН ФАР при отклонении луча на угол 35° .

В ОАО «Радиофизика» разработан и применен в новых изделиях метод построения разреженных ФАР на основе неэквидистантного размещения подрешеток.

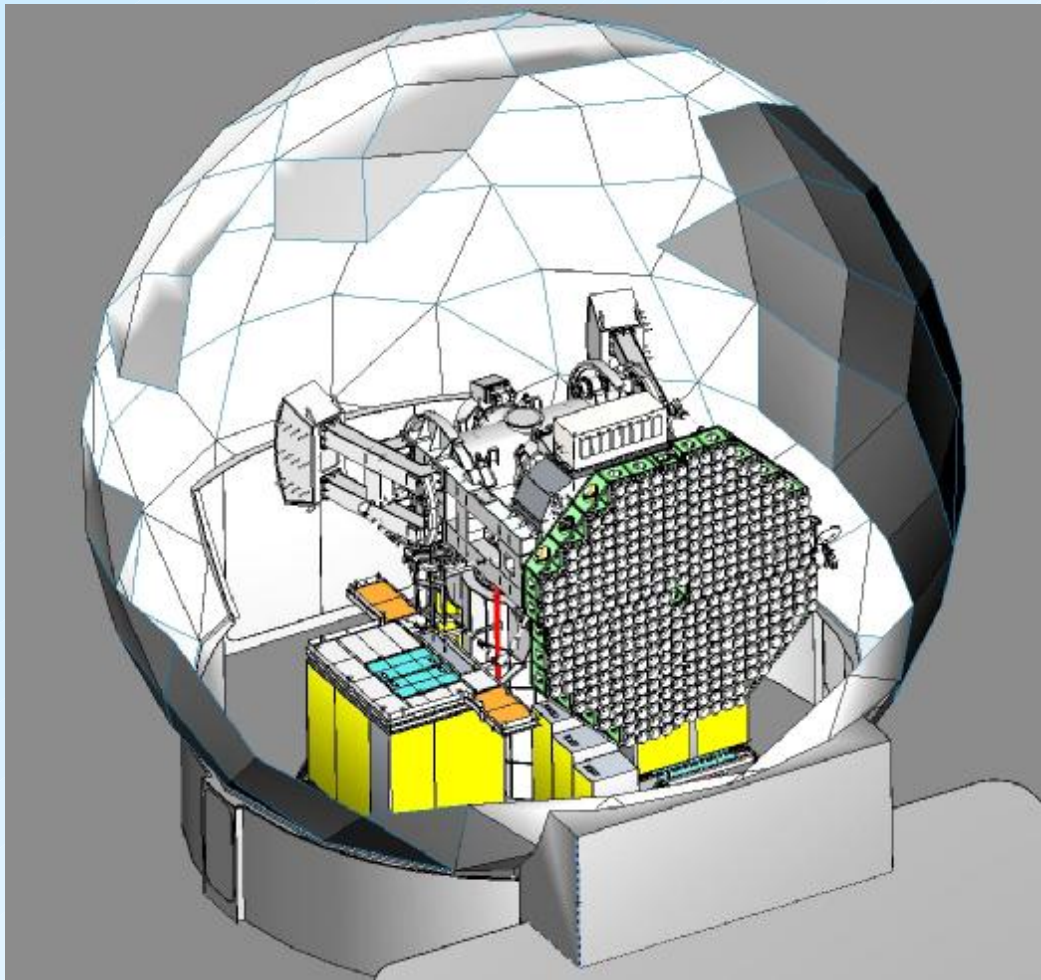


ФАР с комбинированием сдвигов и зазоров между подрешетками: а) геометрия решётки, б) результаты расчётов ДН, в) сечение ДН.



ФАР с гексагональной сеткой и поворотами подрешеток на 90°: а) геометрия решётки, б) результаты расчётов ДН, в) сечение ДН.

Пример 1: Радиолокатор миллиметрового диапазона корабельного базирования для средств национального контроля, 2014

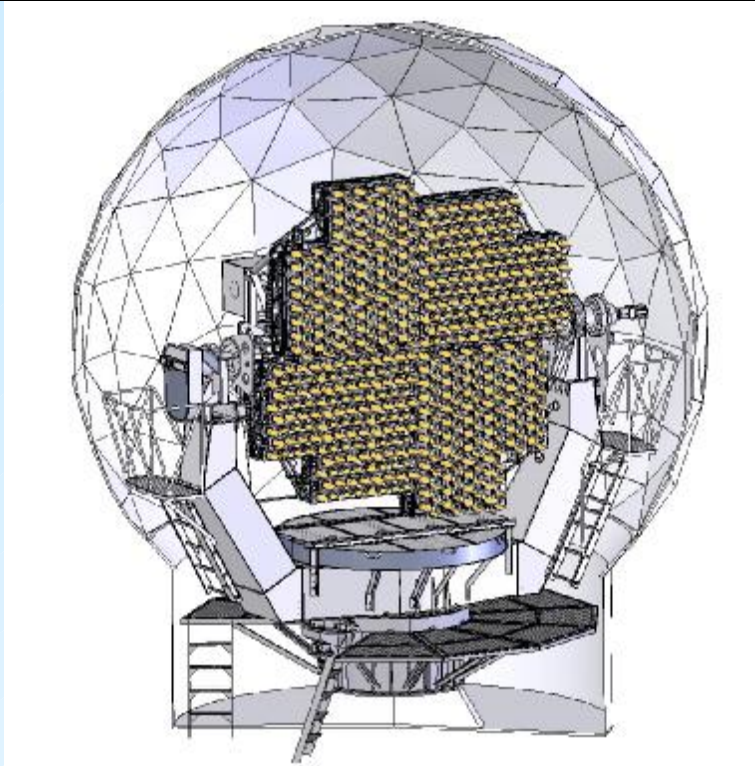


РЛС миллиметрового диапазона с ФАР

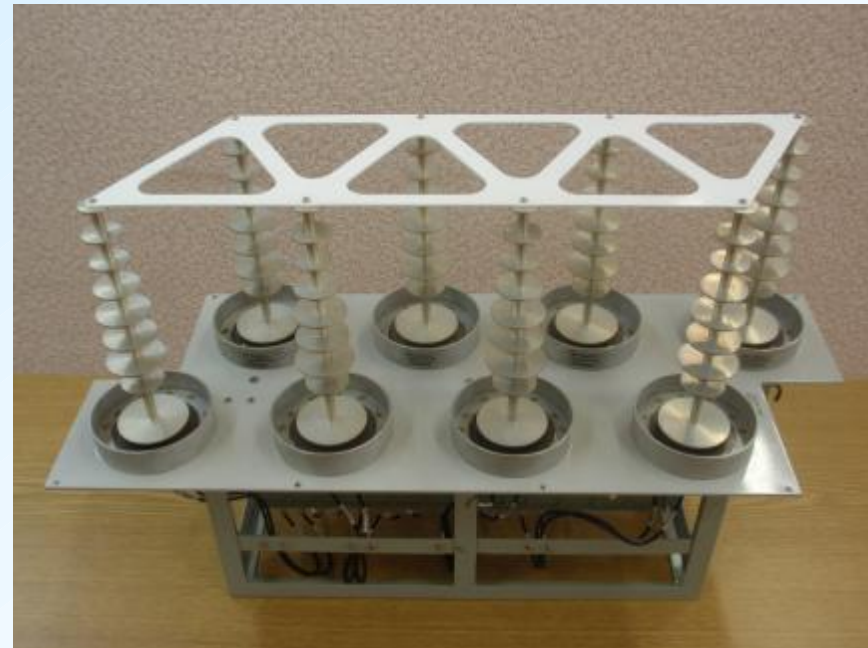


Подрешетка ФАР миллиметрового диапазона

Пример 2. Телеметрическая станция с АФАР для средств национального контроля, 2014



Станция с АФАР для приема телеметрии



Подрешетка АФАР

Активные и пассивные ФАР

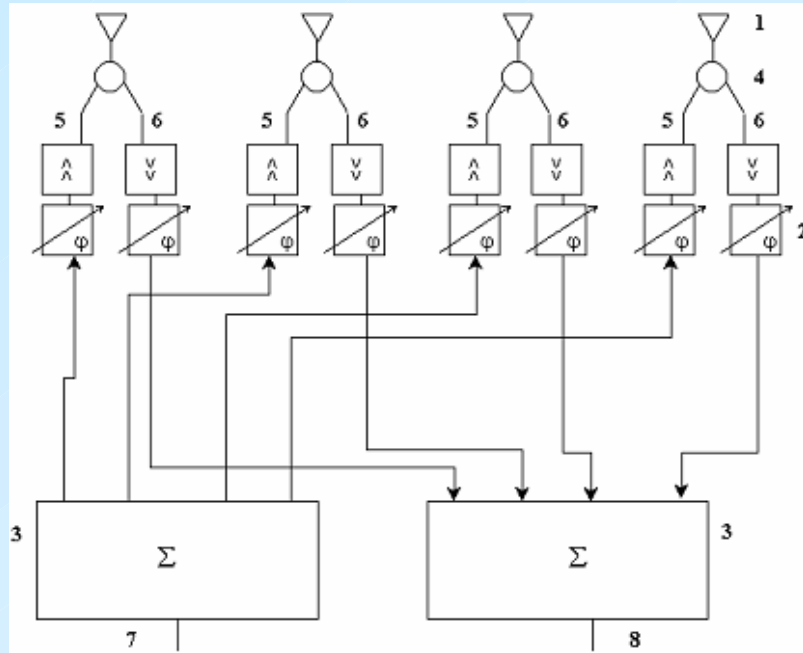


Рис. 1

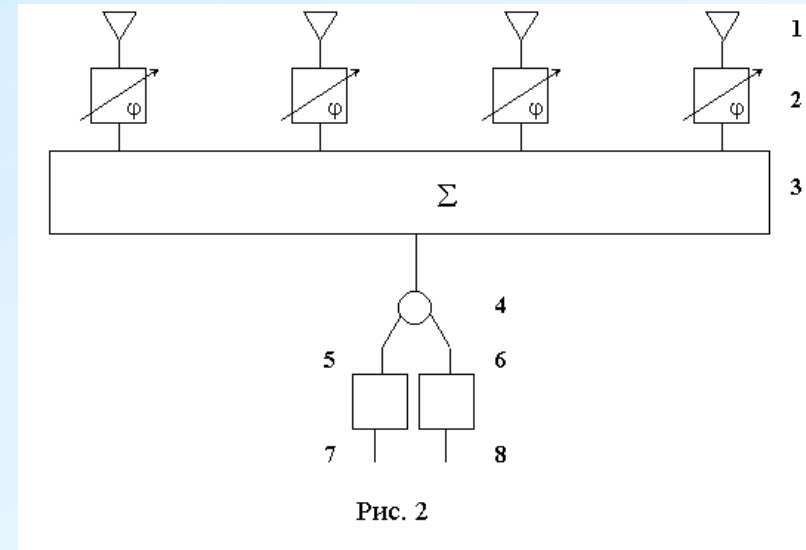


Рис. 2

1–излучатели, 2–фазовращатели, 3–делители/сумматоры, 4–диплексеры, 5–усилители мощности, 6–малошумящие усилители, 7–вход передающего тракта, 8–выход приемного тракта.

Давно назрела необходимость создания моделей ФАР и АФАР для расчета АЧХ и ФЧХ трактов по характеристикам входящих элементов.

Модель позволила бы быстро и правильно формировать структуру трактов, обеспечивая заданные характеристики антенн при минимальных затратах на этапе проектирования.

– Кто готов взяться за эту задачу?

Пример применения АФАР: Мобильная самолетная абонентская станция спутниковой связи, 2006



Диапазон рабочих частот

– на прием

– на передачу

Поляризация

Эквивалентная изотропно-излучаемая мощность

(ЭИИМ), дБВт

Неравномерность ЭИИМ, дБ

Шумовая добротность G/T, дБ/К

Сектор обзора

Режим автосопровождения

Вход/выход ПЧ, МГц

1525–1559 ГГц

1626,5–1660,5 ГГц

круговая правая

не менее 32

не более 3

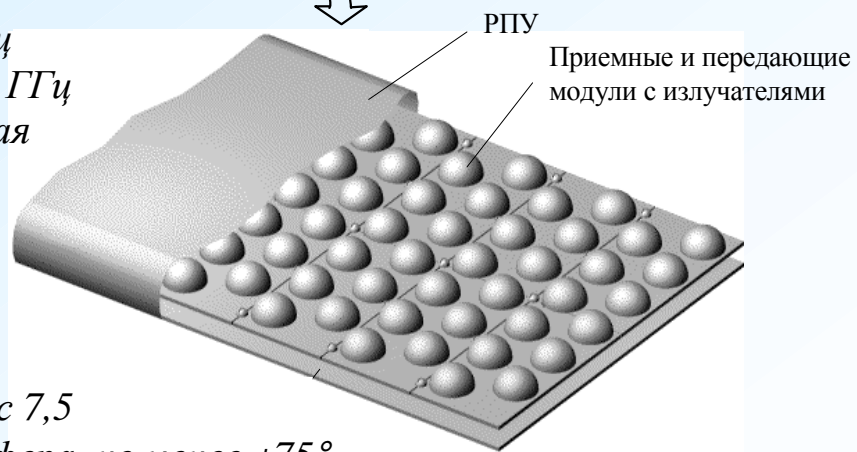
не менее минус 7,5

верхняя полусфера, не менее $\pm 75^\circ$
от нормали

при угловых скоростях самолета

до 30 °/сек

70



Мобильная самолетная абонентская станция спутниковой связи на основе АФАР



АФАР самолетной станции спутниковой связи



Самолет специального летного отряда «Россия»

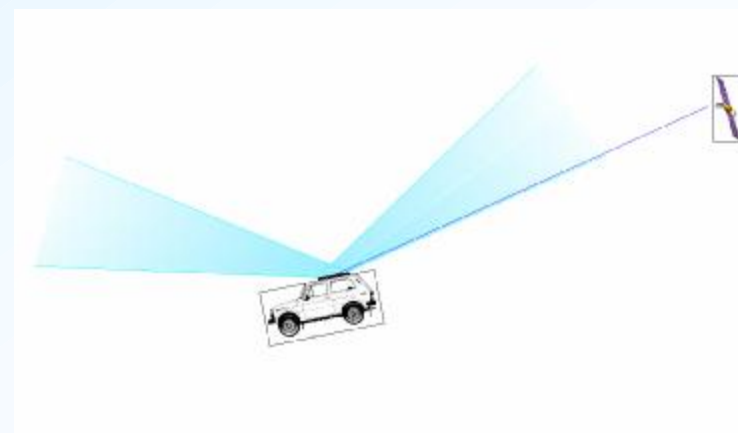
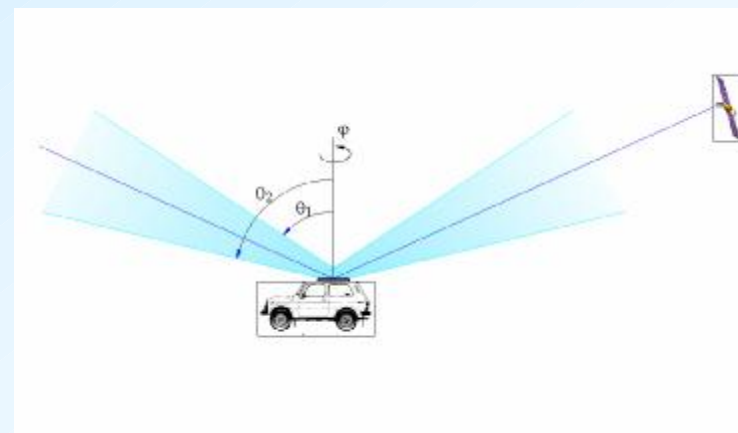
Особенности станций спутниковой связи на транспорте

Функции:

- *Транспортная антенна принимает/передает сигналы от/к спутникам и обеспечивает скорость передачи данных порядка 1-2 Мбит/с*
- *Она должна отслеживать спутник во время движения транспортного средства*

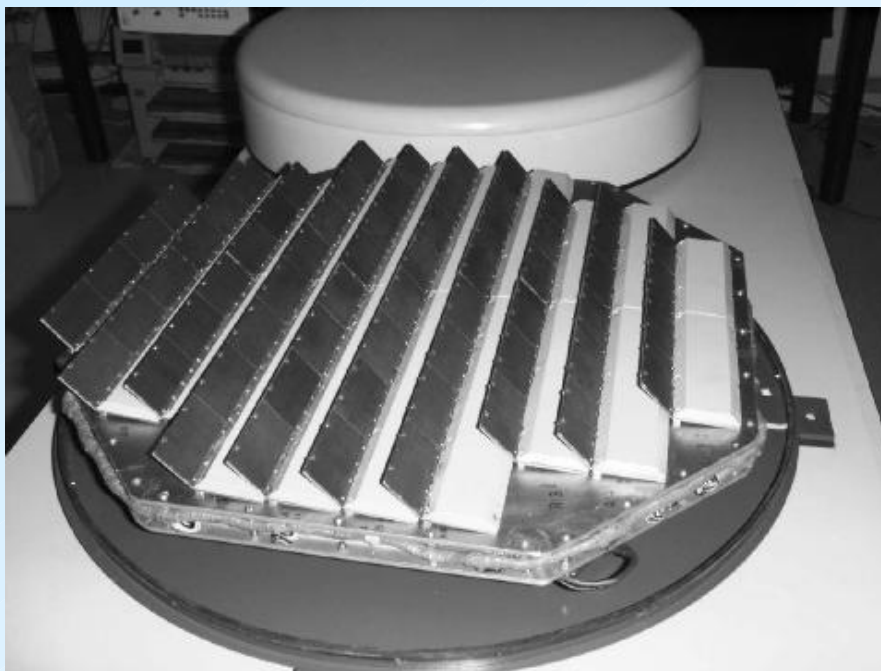
Ограничения:

- *Низкий профиль и обтекаемая форма*
- *Малый размер и вес в случае малых транспортных средств*
- *Высокая надежность*
- *Приемлемая цена*

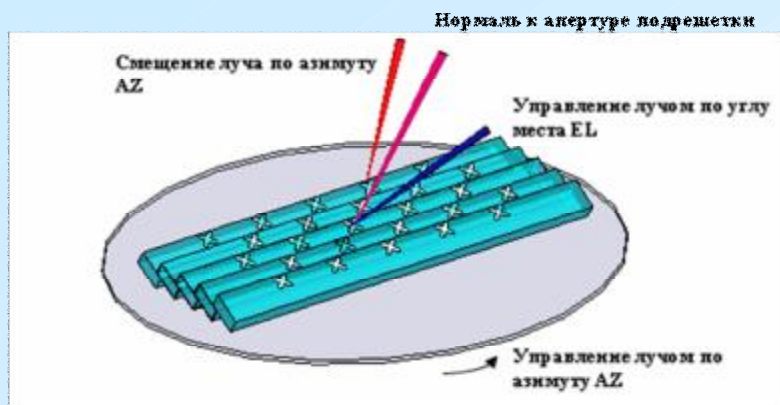


Пример 1: Мобильная станция приема спутникового телевидения с АФАР (совместно с ETRI, 1997 г.)

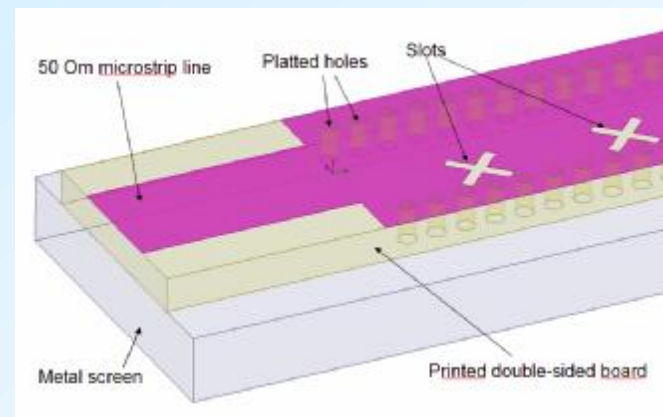
Диапазон рабочих частот 11,7 - 12,2 ГГц



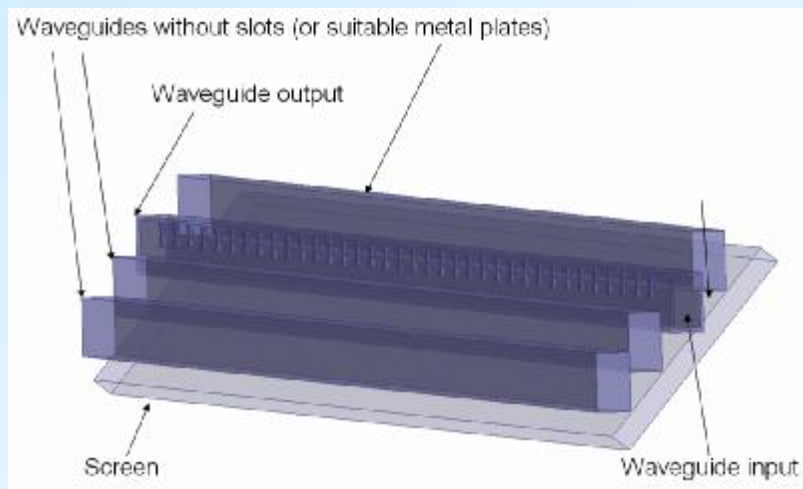
Разработка дешевых элементов для АФАР коммерческих станций спутниковой связи



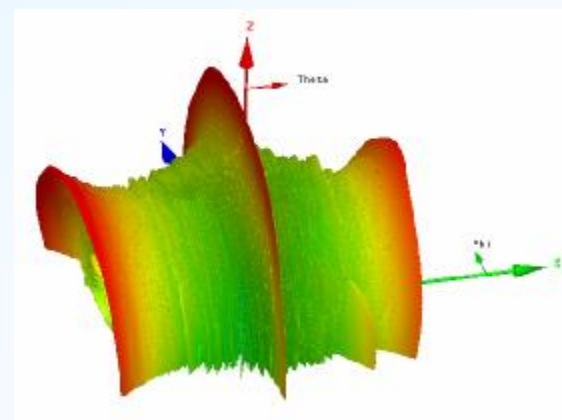
Антенна с наклоненными подрешетками



Печатная подрешетка на основе SIW-структуры



Модель решетки в "Ansoft HFSS"



ДН подрешетки

***Пример 2: Мобильный терминал связи
с трехдиапазонной низкопрофильной зеркальной антенной
(совместно с ETRI, Республика Корея, 2006 г.)***

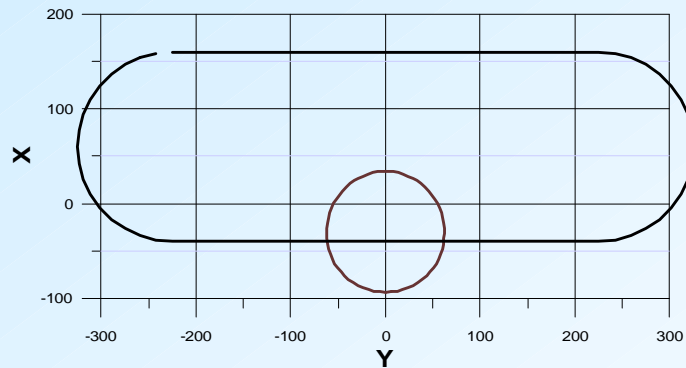
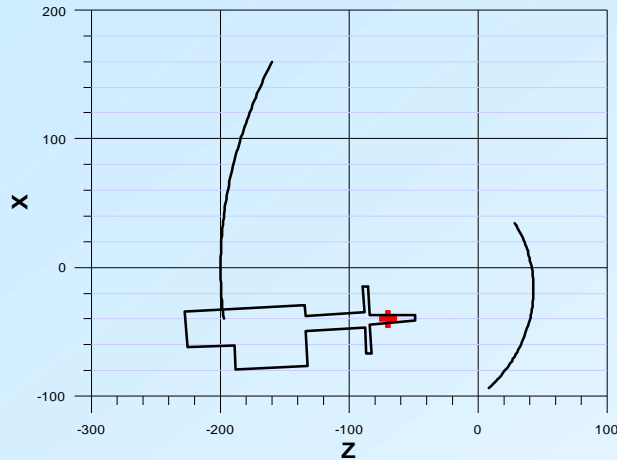
Диапазоны рабочих частот Rx: 11,7 - 12,2 ГГц, Rx: 19-21 ГГц, Tx: 28-31 ГГц



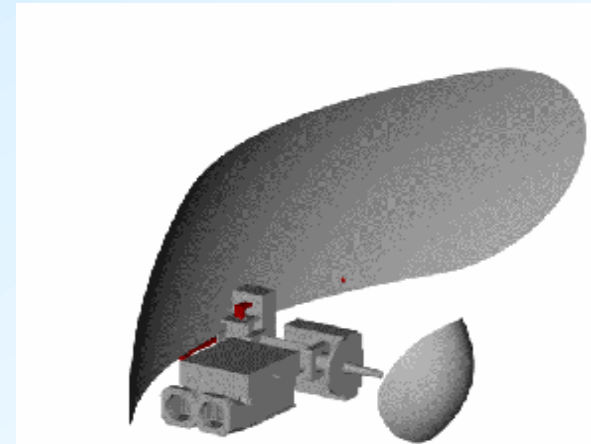
*Мобильный терминал связи
с трехдиапазонной низкопрофильной антенной
(совместно с ETRI, Республика Корея, 2006)*



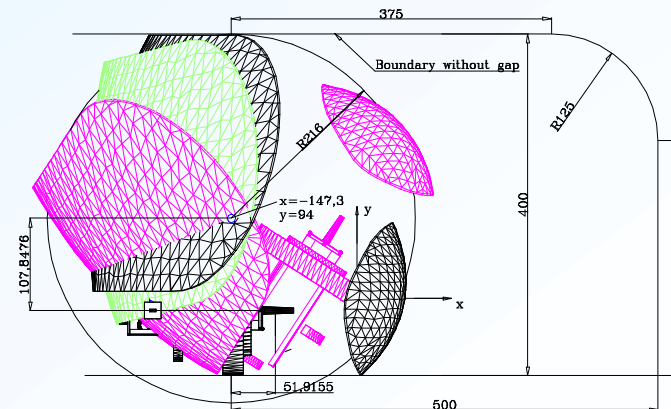
Синтез низкопрофильных зеркальных антенн для антенных терминалов на транспорте



Двухзеркальная антенна с «низким профилем» и малым затенением



Модель антенны с аппаратурой радиотракта



Выбор положения оси угломестного вращения

Спутниковые антенны

*Антенна бортового ретранслятора
диапазона 11-14 ГГц с контурным лучом*



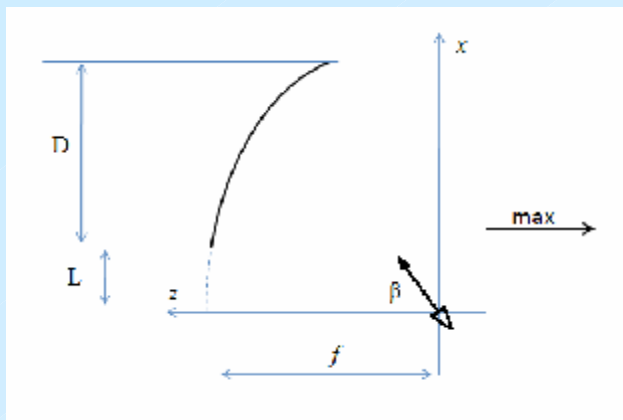
*Антенна системы связи
диапазона 44 ГГц*



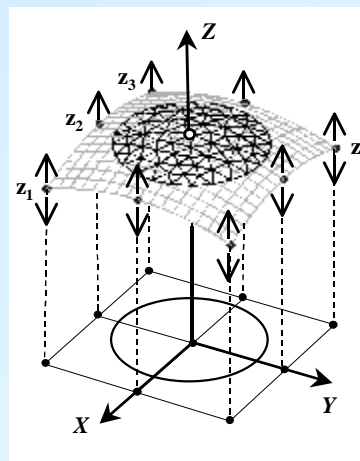
Перспективные разработки:

*спутниковые цифровые АФАР сантиметрового и миллиметрового диапазонов
с многолучевыми и контурными диаграммами направленности*

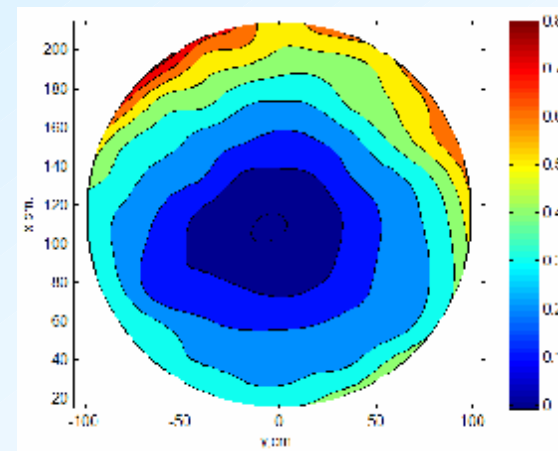
Синтез зеркал с профилированными рефлекторами для формирования контурных ДН



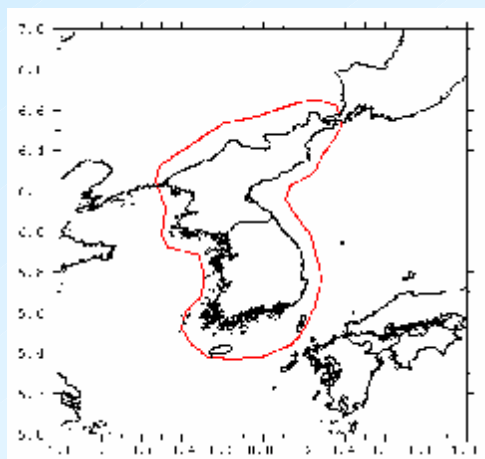
Конфигурация антенны



Параметрическое представление рефлектора сплайном.



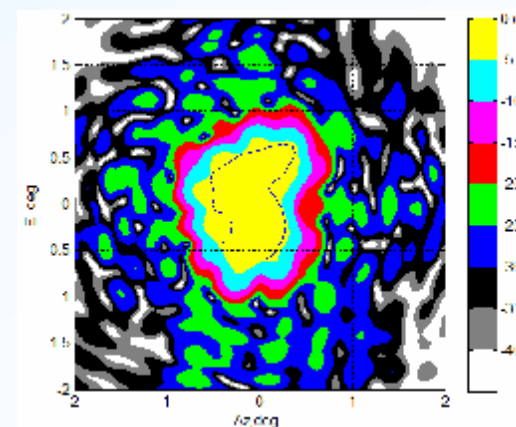
Отклонение профиля рефлектора от параболоида



Требуемая зона обслуживания

Численная оптимизация положения узлов сплайна для обеспечения максимума минимального значения поля в зоне обслуживания:

$$\min_i g(a_i, b_i, \mathbf{m}) \rightarrow \max_{\mathbf{m}}$$



Контурная диаграмма направленности



Большая безэховая камера (БЭК) для измерений характеристик излучения СВЧ-радиоустройств, ОАО «Радиофизика»

Измерения в дальней и промежуточной зонах



Размеры БЭК - 80×35×23 м

Диапазон рабочих частот

- 0.1-100 ГГц

Размеры измеряемых антенн

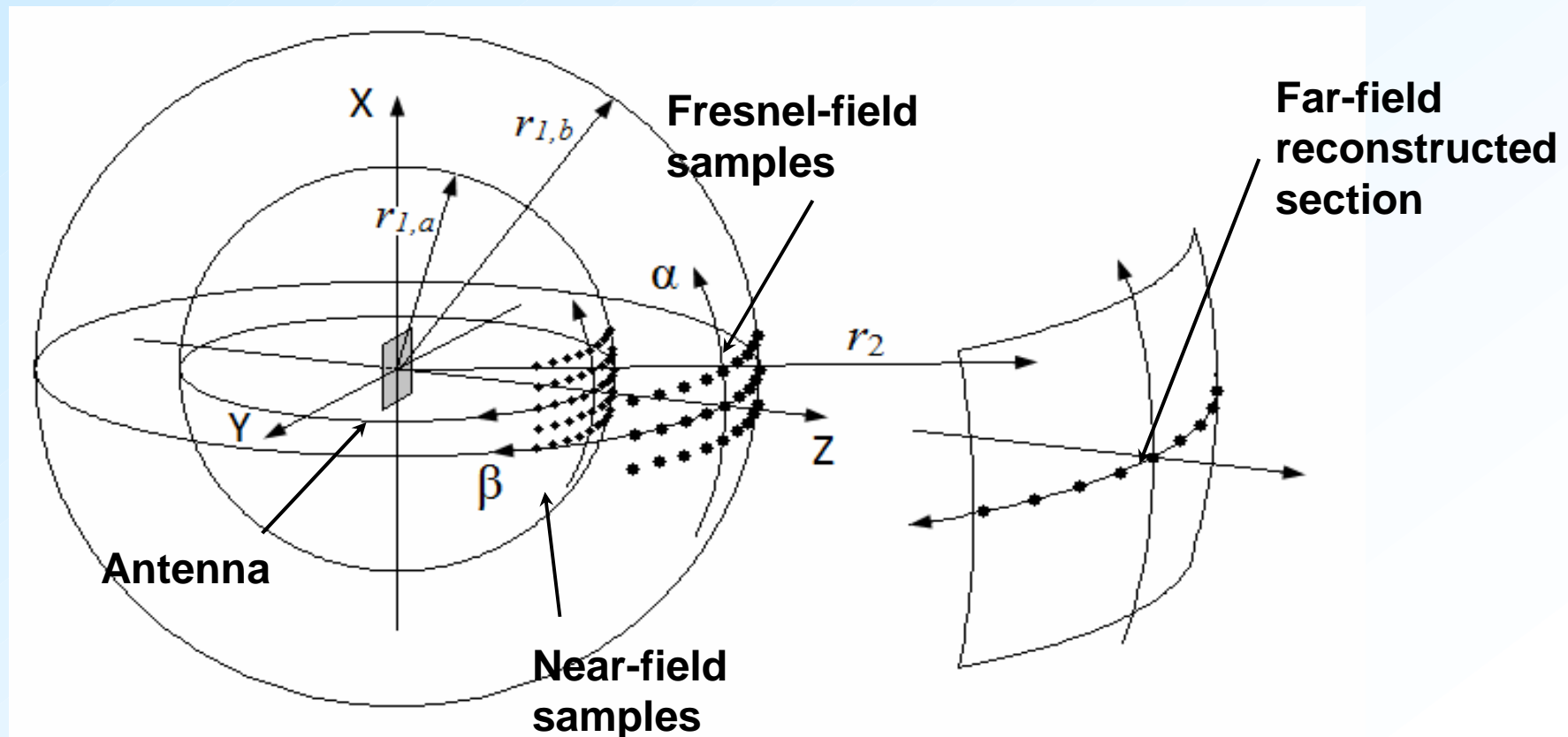
- до 20 м

*Актуальная задача:
создание модели БЭК для
расчета погрешностей из-за
отражений от стен
и определения оптимального
размещения измерительного
оборудования.*

*-Кто возьмется за эту
интересную задачу?*

*В ОАО «Радиофизика» разработан метод измерений
больших антенн в зоне Френеля.*

*Преобразование измеренного поля
из зоны Френеля в зону Фраунгофера*



Соотношения для пересчета поля

$$\mathbf{E}(u_2, v_2, r_2) \approx e^{-jk(r_2-r_1)} \frac{r_1}{r_2} \sum_{m,n} k_{mn}(u_1, v_1, u_2, v_2) \times \mathbf{E}(u_1 + m\Delta u, v_1 + n\Delta v, r_1)$$

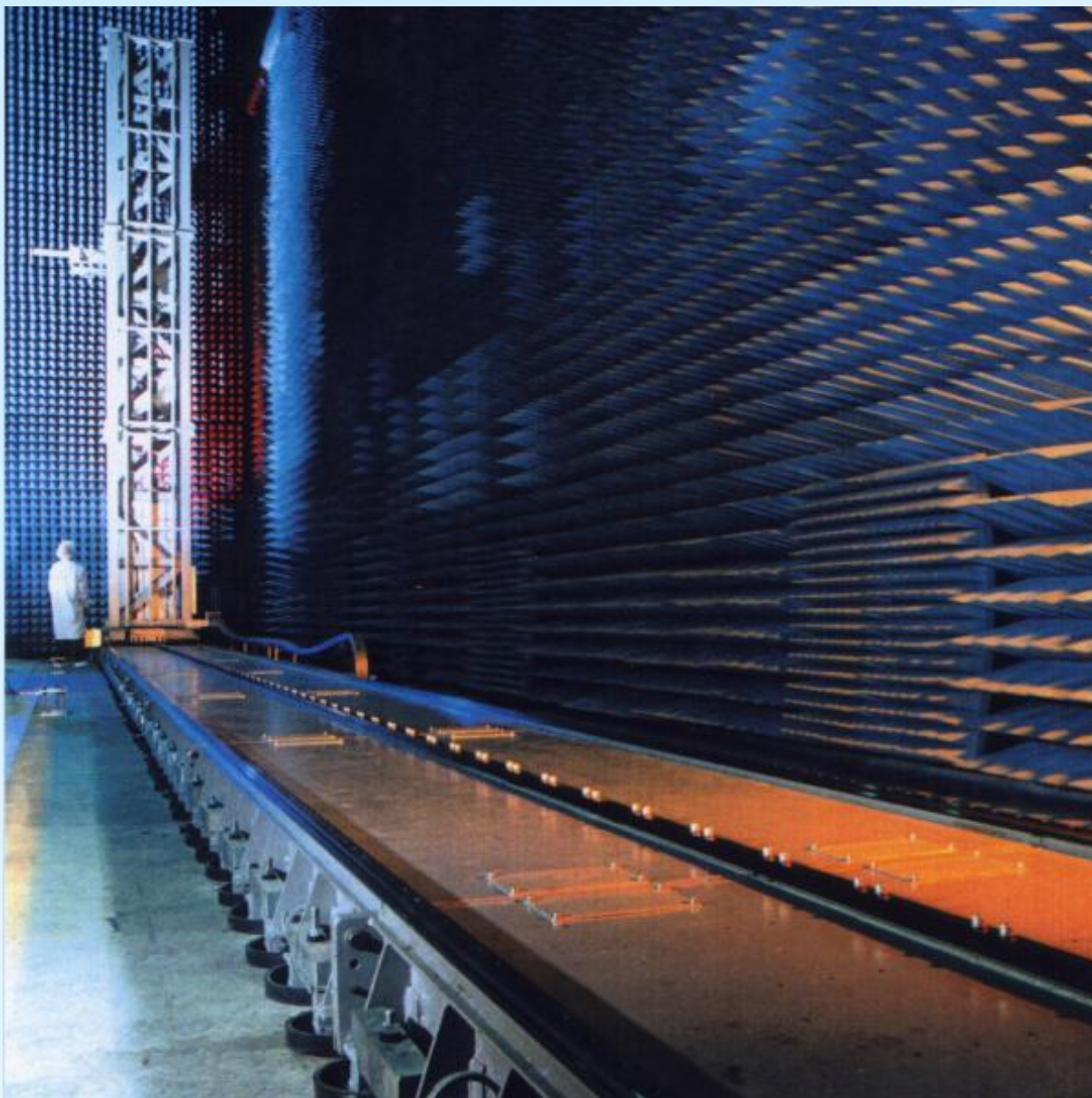
где

$$k_{mn}(u_1, v_1, u_2, v_2) = \frac{1}{T_x T_y} \iint_{T_x \times T_y} e^{j\Phi_{r_1}^{(2)}(x, y, u_1, v_1) - j\Phi_{r_2}^{(2)}(x, y, u_2, v_2)} \times e^{jk(x(u_2-u_1)+y(v_2-v_1))} e^{-jm\frac{2p}{T_x}x} e^{-jn\frac{2p}{T_y}y} dx dy$$

Зона Фраунгофера $r_2 > 2D^2 / l$

Зона Френеля $2D^2 / l > r_1 \geq 0.62\sqrt{D^3 / l}$

Измерения в ближней зоне



*T-сканер
в БЭК ОАО
«Радиофизика», 2013*

*Размер рабочей зоны:
9 м × 7 м*

*Диапазон
рабочих частот
Измеряемых
радиосистем:
0.1 – 60 ГГц*

*Нам ещё предстоит
осваивать работу с этим
сканером, методы
калибровки, диагностики
и измерений
АФАР и ЦАР.
Кто к нам?*

Измерения характеристик спутников

Спутник «Казсат-2» на измерениях характеристик ЭМС, 2011



Темы научно-исследовательских работ в НИО-3 для студентов в 2013 – 2014 учебном году

Руководитель - к.т.н. Скобелев С. П. (Отделение антенных систем)

**Разработка моделей и численное исследование характеристик
конечно-бесконечных волноводных решеток**

Руководитель - к.т.н. Скобелев С. П. (Отделение антенных систем)

**Разработка эффективных методов для численного анализа и оптимизации
периодических диэлектрических структур и волноводных элементов**

Руководитель - к.т.н., с.н.с. Корчемкин Ю.Б. (Отделение антенных систем)

**Компьютерное моделирование, исследование характеристик и проектирование элементов
сложных антенных систем, в том числе**

- элементов фазированных антенных решеток**
- многоэлементных квазиоптических систем сантиметрового и миллиметрового диапазонов;**
- элементов облучателей антенн космических систем связи**

Руководитель - к.т.н. Шитиков А. М. (Отделение антенных систем)

**Разработка алгоритмов широкополосного подавления помех в широком секторе углов
в системах с АФАР**

Руководитель - к.т.н. Шишлов А. В. (Отделение антенных систем)

**Разработка и исследование активных фазированных антенных решеток (АФАР)
для спутниковых систем связи с контурными зонами обслуживания.**

**Руководитель - к.т.н. Елизаров С.В. (Отделение антенных систем) Создание модели
безэховой камеры для расчета погрешностей из-за отражений от стен и определения оптимального
размещения измерительного оборудования.**

Приходите к нам учиться и работать!

Благодарим за внимание!