ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА К ПРЕЗЕНТАЦИИ ИННОВАЦИОННОГО ПРОЕКТА «НЕЗАВИСИМАЯ БОРТОВАЯ ПОСАДОЧНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В УСЛОВИЯХ НУЛЕВОЙ ВИДИМОСТИ».

Посадка – самая ответственная и аварийно-опасная фаза полета самолёта, особенно в неблагоприятных погодных условиях и на необорудованных аэродромах.

Разработка РЛС ведётся в соответствиями с требованиями по минимальным стандартам характеристик авиационных систем Межгосударственного Авиационного Комитета (Руководство №315).

Требования к качеству изображения, формируемого на мониторе РЛС посадки достаточно жесткие: число пикселей на строку не менее 200, число строк в кадре не менее 200, частота смены кадров не менее 15 Гц, азимутальная и угломестная зона контроля не менее 20х30 градусов, минимальная дальность контроля не менее 5 км, независимость от оптической видимости, обзор прямо по курсу посадки, независимость от наличия наземной поддержки.

Удовлетворить этим требованиям существующие РЛС с однолучевым сканированием, доплеровским обужением луча, синтезированием апертуры, MIMO-системы по темпу формирования изображения и работы по курсу работы – не могут.

Техническая сущность предлагаемой РЛС заключается в том, что весь контролируемый телесный угол облучается широким лучом передатчика, а азимутальное сканирование заменяется формированием линейной параллельно и непрерывно функционирующей многолучевой многоканальной приёмной системой из десятков лучей с использованием режима азимутального сверхразрешения, что позволяет выполнить требования к посадочной РЛС. Для минимизации влияния неблагоприятных погодных условий, предлагается работать в диапазоне 17 ГГц, где зависимость от осадков в десятки раз слабее, чем в миллиметровом диапазоне длин волн.

Ключевым, определяющим узлом разрабатываемой РЛС является не имеющая прямых аналогов многолучевая приемная антенная система, формирующая 32 одновременно существующих луча.

Предлагаемый вариант системы делителей/сумматоров для формирования независимых лучей диаграммы направленности выполнен на основе интегрированных в подложку волноводов (SIW-структур), благодаря чему имеет широкую полосу рабочих частот, полностью экранированную структуру, малый вес, технологичность исполнения. Отличительной чертой является то, что при соединении отдельных каскадов системе формирования независимых лучей, не требуется использование СВЧ-соединителей, что

значительно снижает стоимость разработки и реализации всей системы. В ЗАО «МАГРАТЕП» для реализации предлагаемого решения разработаны уникальные ортогональные СВЧ-переходы, напоминающие скрутки в классических волноводах, но выполненные при помощи современных печатных технологий.

Проведенные детальные теоретические и экспериментальные исследования показали полную возможность создания предлагаемой МЛА на практике.

Независимость подключения антенной системы, а также принцип построения самой системы делителей/сумматоров в совокупности дают возможность ее использования в дополнительном режиме, например в качестве аналога автомобильного радара для выполнения руления по взлетно-посадочной полосе.

Использование широкой полосы не приводит к искажениям в диаграммах направленности и нарушениям точности формирования лучей в заданном секторе углов обзора.

Предполагается, что все вышеперечисленные особенности дадут возможность формирования цифрового радиотехнического изображения земной поверхности (взлетно-посадочной полосы) требуемого качества на расстоянии 6000 м и более в условиях недостаточной либо нулевой видимости.

1.	Центральная частота РЛС	17.5 ГГц
2.	Режим работы передатчика	ЛЧМ
3.	Рабочий диапазон частот	300 МГц
4.	Мощность передатчика	100 Вт
5.	Число пикселей на строку	>200
6.	Габариты ПРМ	350x350x600 мм
7.	Масса ПРМ	25 кг
8.	Габариты ПРД	200x120x50 мм
9.	Масса ПРД	5 кг
10.	Масса ВВИП	20 кг
11.	Потребляемая мощность: ПРМ ПРД	 0.25 кВт 1.5 кВт
12	Число кадров в секунду	>15

Графические материалы, отражающие суть работы, приведены в приложениях к настоящей заявке.

Мирозов О.А.

НЕЗАВИСИМАЯ БОРТОВАЯ ПОСАДОЧНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ В УСЛОВИЯХ НУЛЕВОЙ ВИДИМОСТИ

МАГнетрон РАзработка ТЕхнология Применение

МАГРАТЕП

ФРЯЗИНО – 2019г.

Посадка – самая ответственная фаза полёта!

Пилот должен увидеть на что он садится в любых условиях!

Исходным документом для разработки проекта послужило **«Руководство №315»**, Межгосударственного Авиационного Комитета

По минимальным стандартам характеристик авиационных систем (MASPS) для систем:

1. Улучшенного видения (EVS);
2. Искусственного видения (SVS);
3. Комбинированных систем искусственного видения (CVS);
4. Бортовых систем увеличения дальности видения (EFVS).

Статистика катастроф при заходе на посадку и посадке (AVIASAFETY.RU)

(по базе данных Международного консультативно-аналитического агентства «Безопасность полетов»):

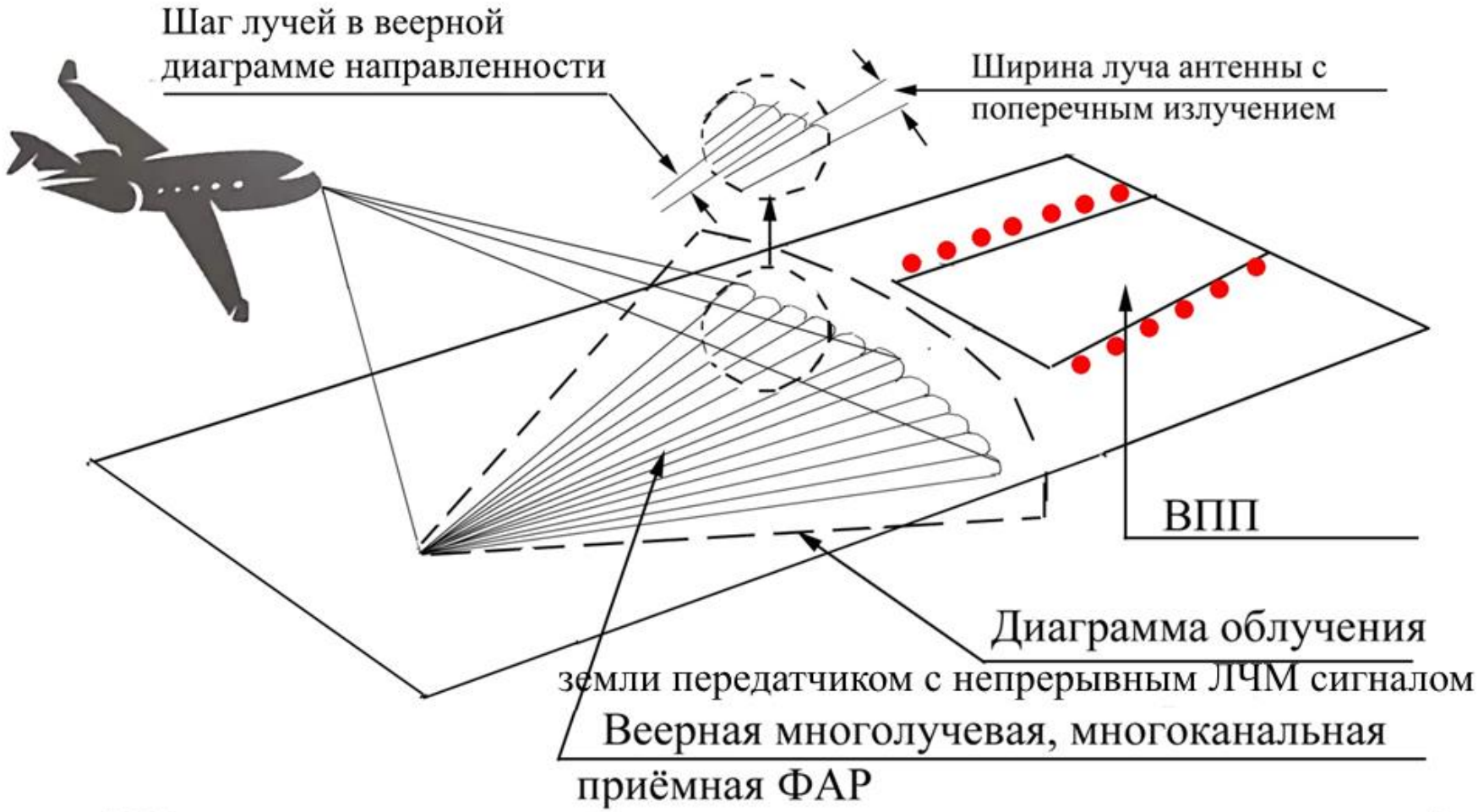
С 2006г. по 2016г. **24 из 58** катастроф при заходе на посадку случились в сложных метеоусловиях

Особенности посадки самолета:

1. Работа РЛС посадки прямо по курсу с достаточно высоким разрешением по азимуту и дальности с различением вида ВПП и окружающего пространства в направлении полёта в пределах углов 20х20 градусов и дальности до 6 км.
2. Высокий темп смены кадров на экране дисплея (не менее 15 кадров в секунду)
3. Задержка изображения не более 50 мс.

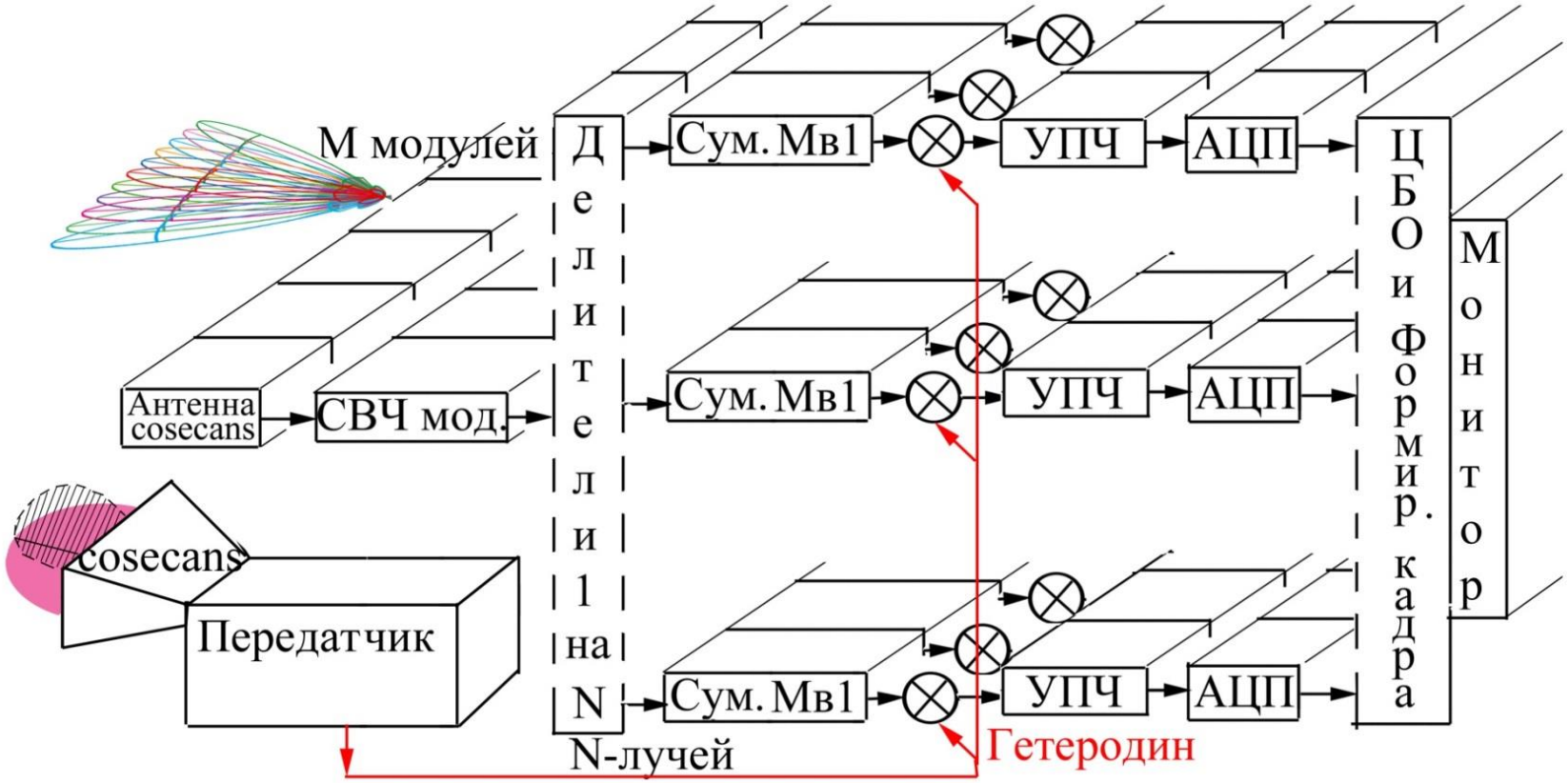
Существующие однолучевые РЛС со сканированием и с синтезированием изображения удовлетворить этим требованиям не могут.

ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ СИСТЕМЫ

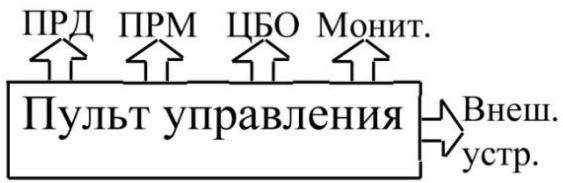


Широкоугольное освещение контролируемой зоны и многолучевой прием в совокупности снимают существующие противоречия

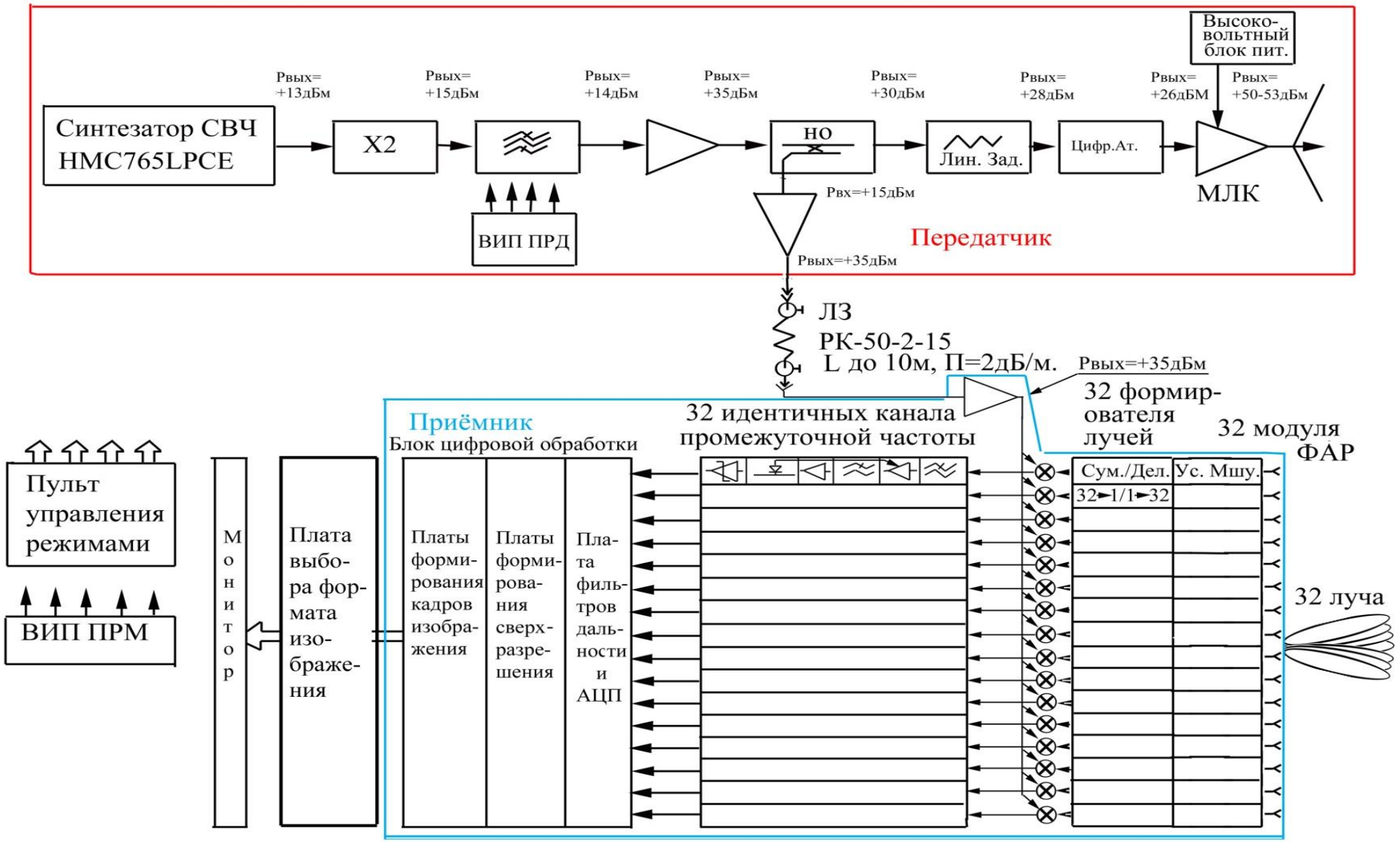
ОБОБЩЕННАЯ СТРУКТУРНАЯ СХЕМА



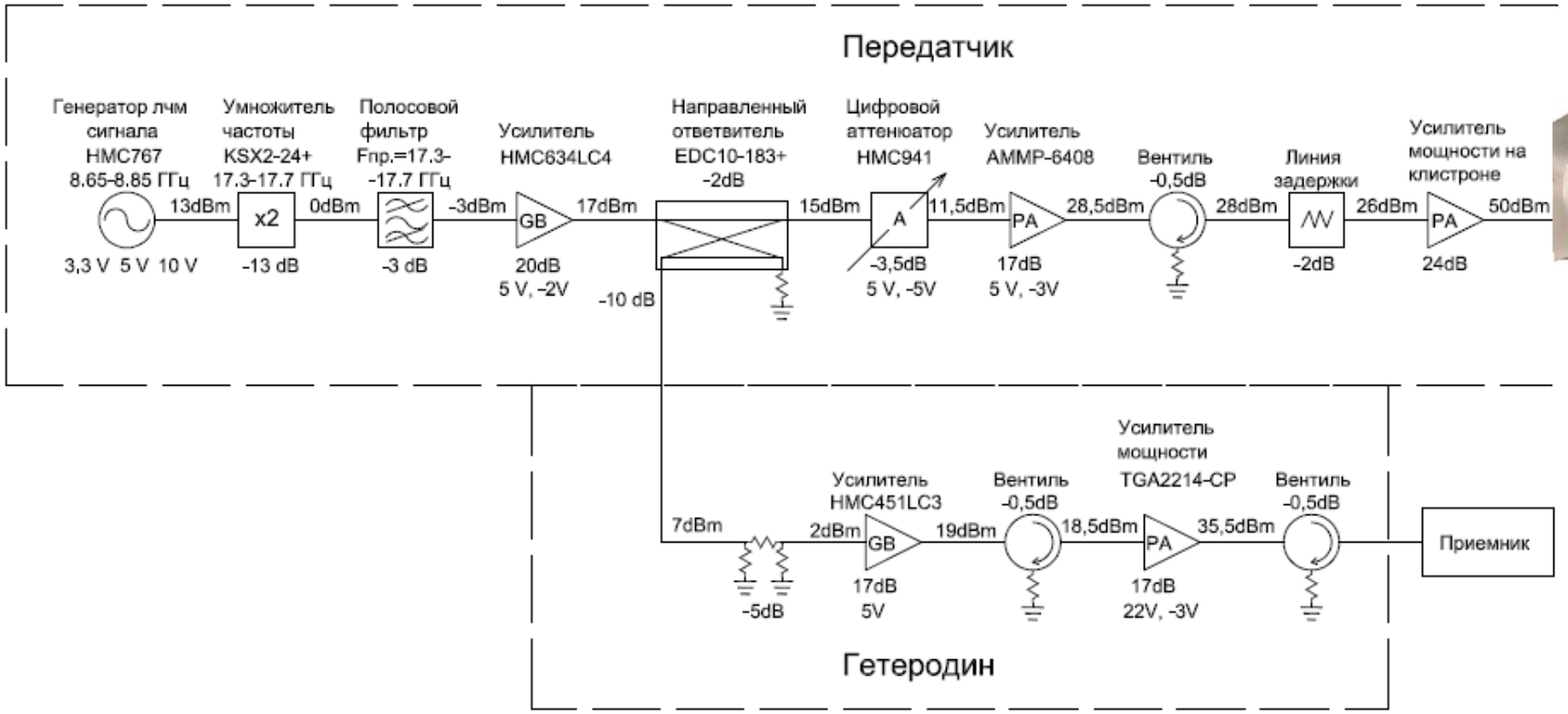
Структурная схема РЛС посадки самолёта в неблагоприятных погодных условиях.

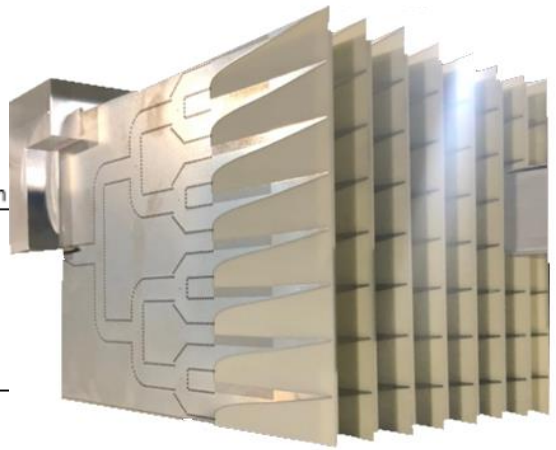


СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МНОГОЛУЧЕВОЙ РЛС ПОСАДКИ САМОЛЕТОВ

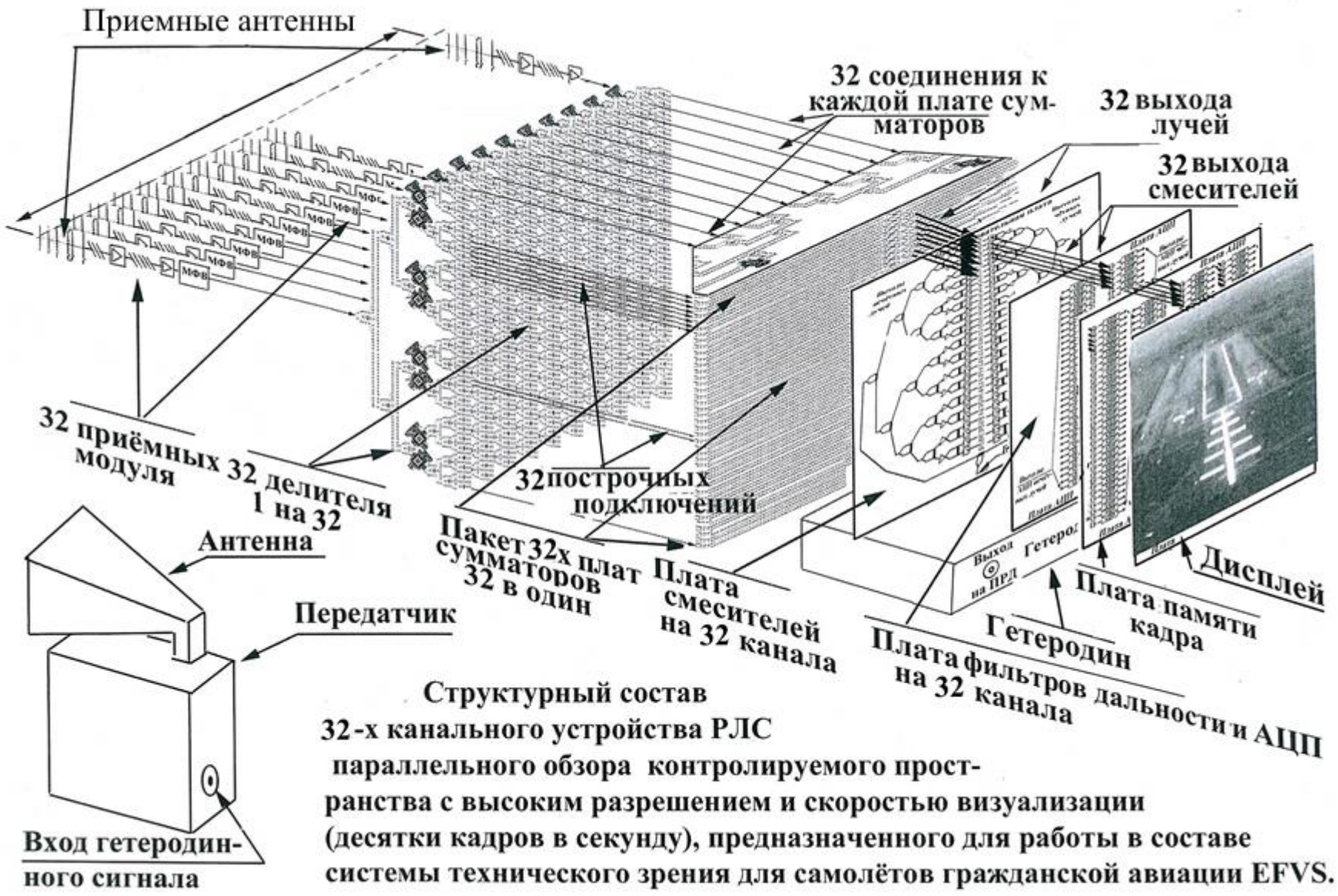


СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПЕРЕДАТЧИКА



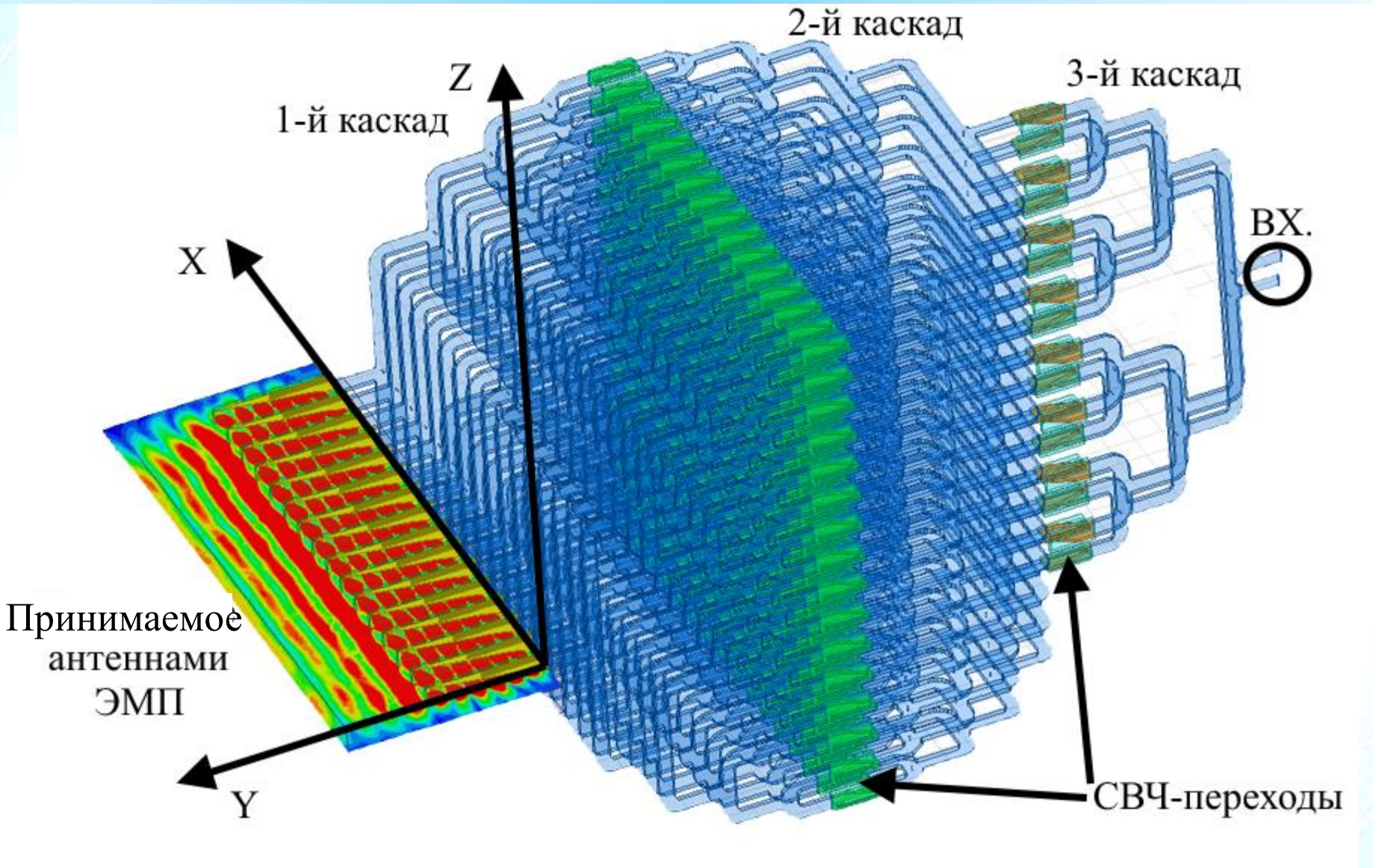


СОСТАВ СИСТЕМЫ ДЕЛИТЕЛЕЙ/СУММАТОРОВ И ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ МОДУЛИ

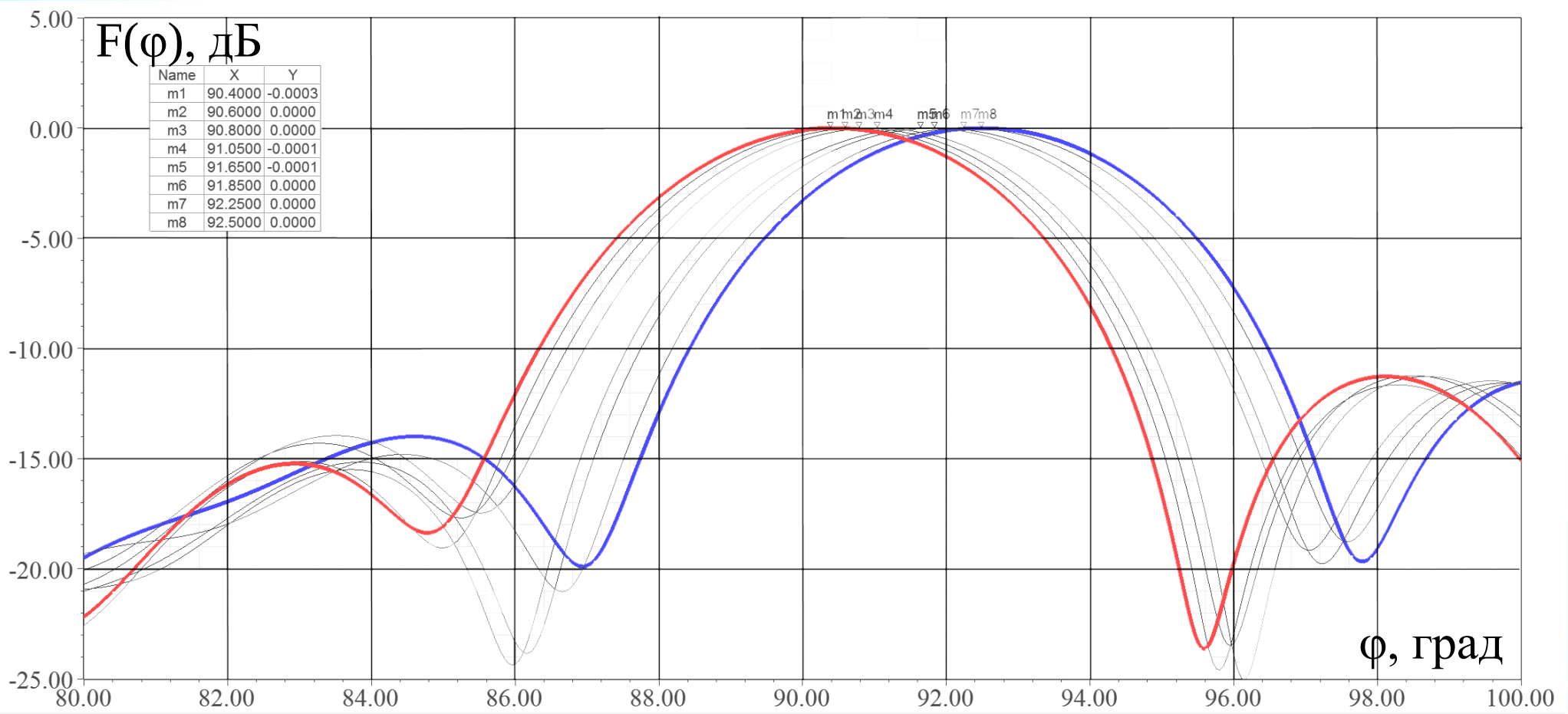


Структурный состав 32-х канального устройства РЛС параллельного обзора контролируемого прост-ранства с высоким разрешением и скоростью визуализации (десятки кадров в секунду), предназначенного для работы в составе системы технического зрения для самолётов гражданской авиации EFVS.

16-ТИ ЭЛЕМЕНТНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА С ИЗЛУЧАТЕЛЯМИ ВИВАЛЬДИ НА ОСНОВЕ 3-Х КАСКАДНОГО ДЕЛИТЕЛЯ/СУММАТОРА МОЩНОСТИ 16-16

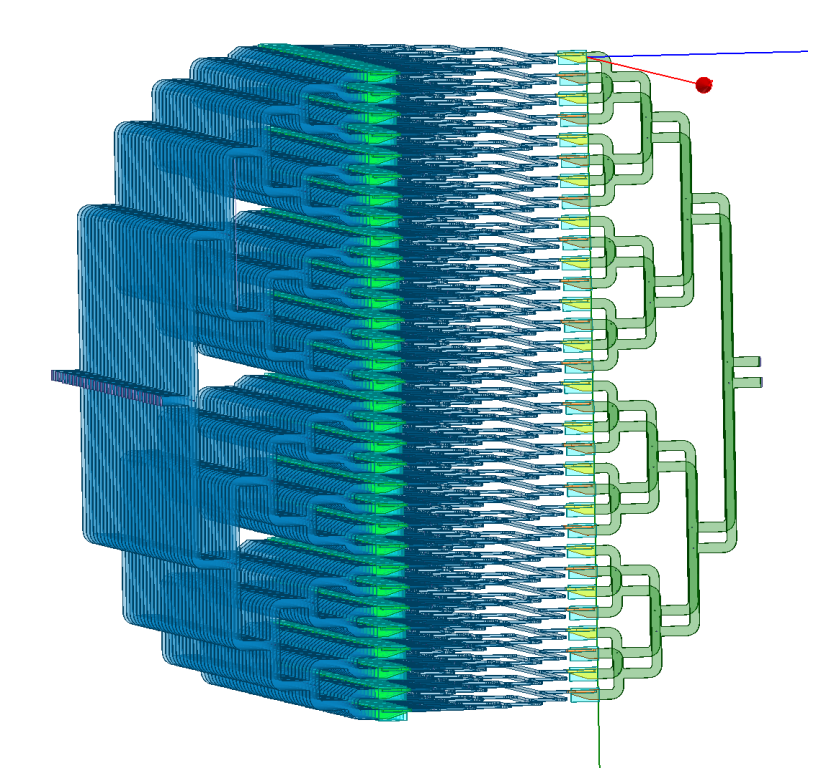


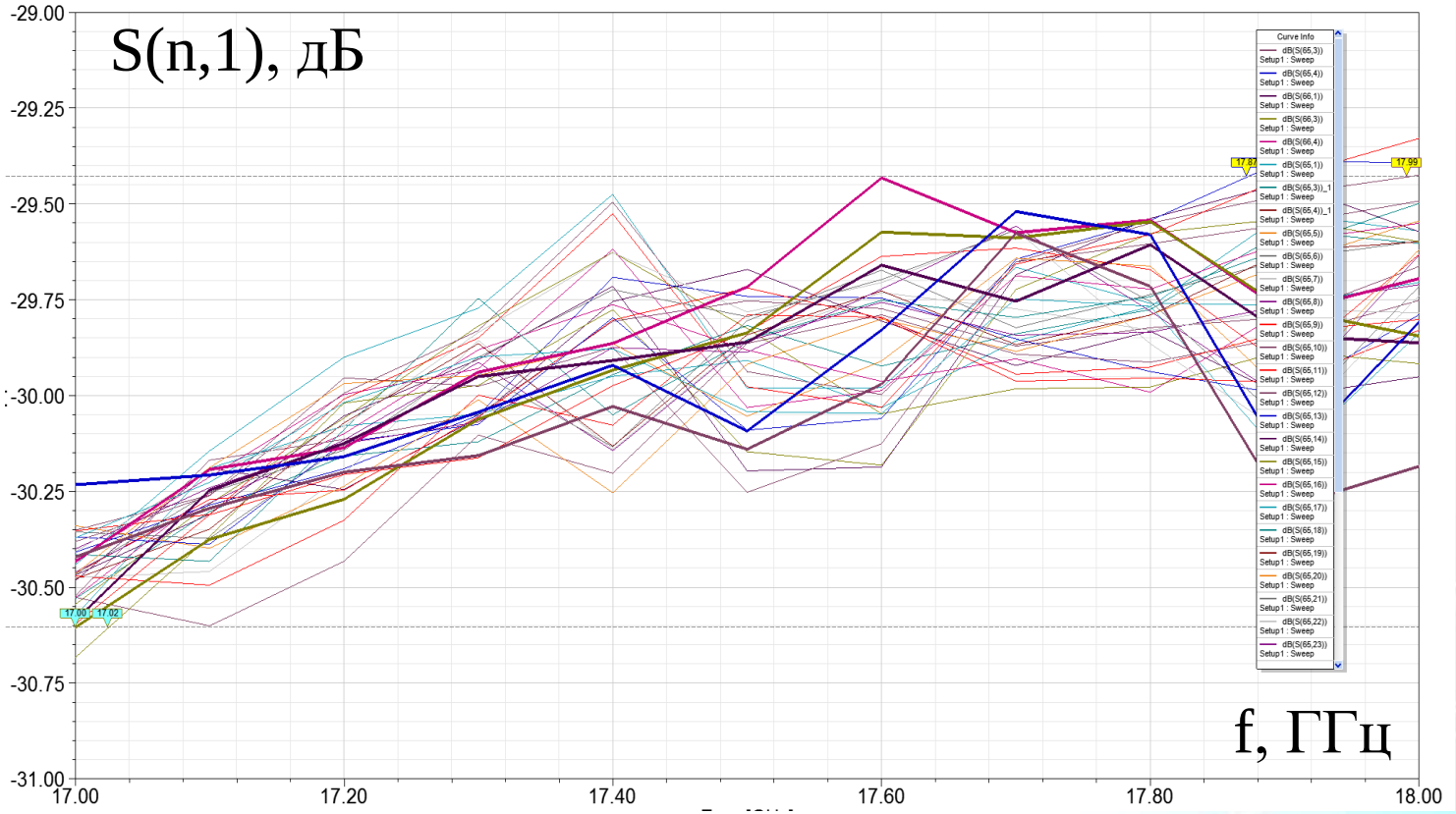
ОТКЛОНЕНИЕ ЛУЧА В АЗИМУТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ, ОРГАНИЗОВАННОЕ В 3-Х КАСКАДНОМ ДЕЛИТЕЛЕ/СУММАТОРЕ МОЩНОСТИ 16-16 НА ОСНОВЕ SIW



Результаты строгого электродинамического расчета отклонения диаграммы направленности 16-ти элементной антенной решетки в составе с 2х-каскадной системой делителей-сумматоров мощности при переключении между входами делителей, отвечающих за отдельное отклонение луча

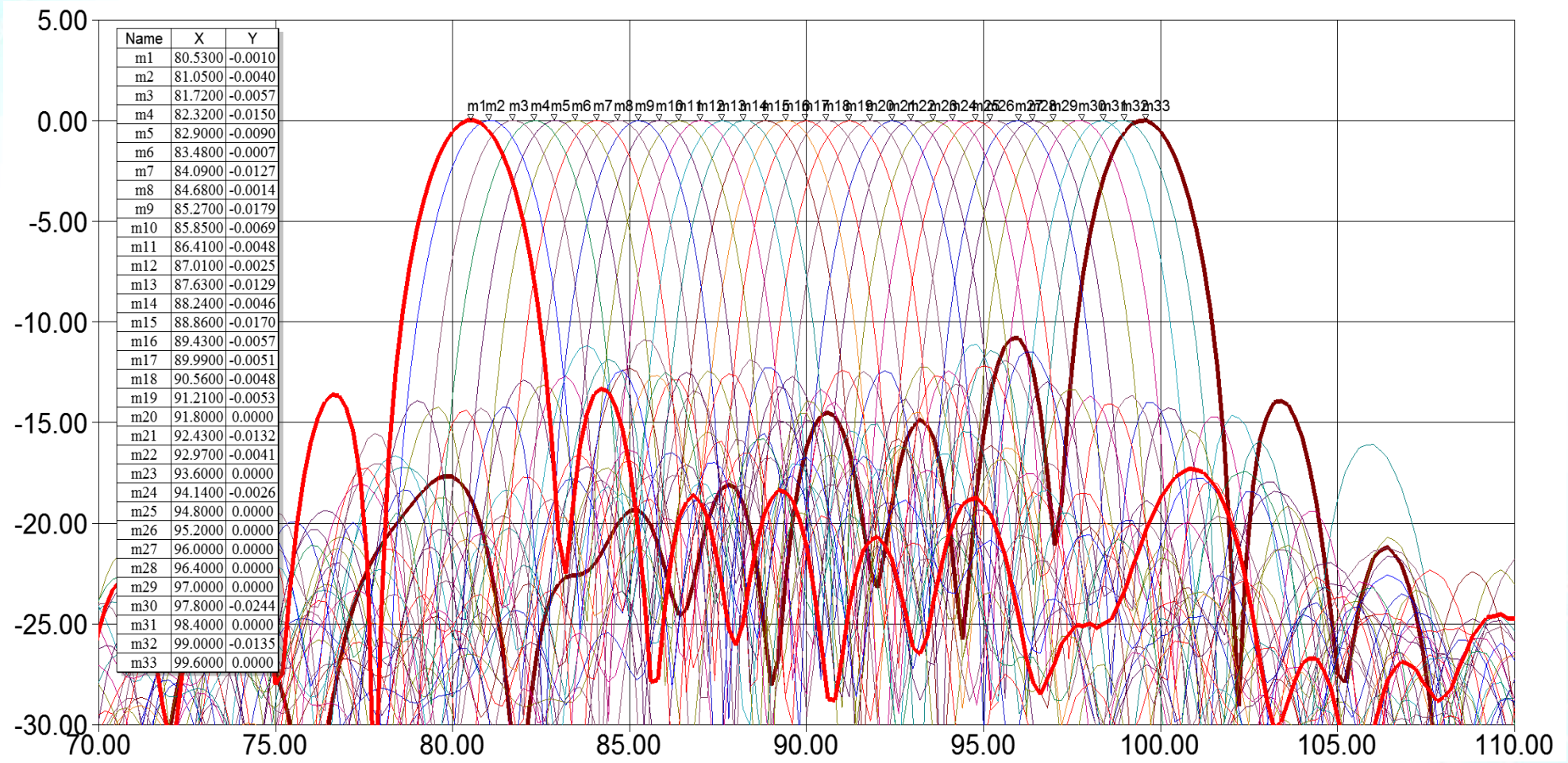
3-Х КАСКАДНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ/СУММАТОР МОЩНОСТИ 32-32, ИМЕЮЩИЙ 1056 ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДА НА ОСНОВЕ SIW





Коэффициент передачи на выходах делителя/сумматора в зависимости от частоты

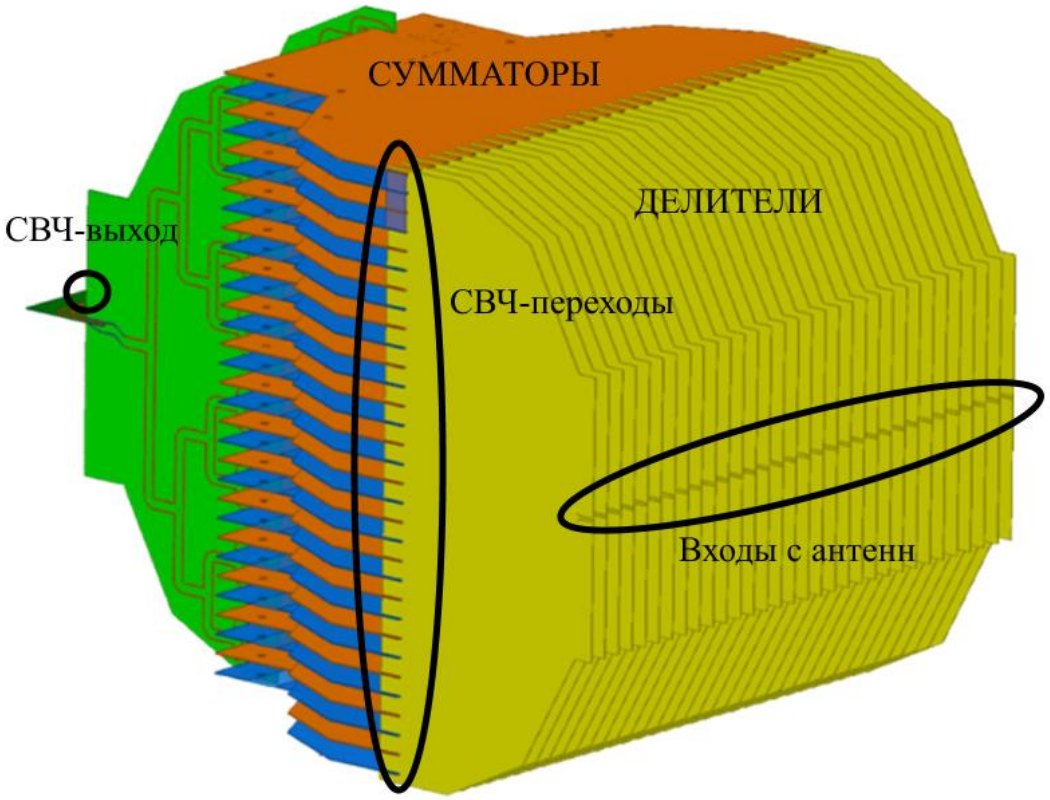
РАССЧЕТ ОТКЛОНЕНИЯ ЛУЧА ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ДЕЛИТЕЛЕЙ/СУММАТОРОВ МОЩНОСТИ НА ОСНОВЕ SIW



Name	X	Y
m1	80.5300	-0.0010
m2	81.0500	-0.0040
m3	81.7200	-0.0057
m4	82.3200	-0.0150
m5	82.9000	-0.0090
m6	83.4800	-0.0007
m7	84.0900	-0.0127
m8	84.6800	-0.0014
m9	85.2700	-0.0179
m10	85.8500	-0.0069
m11	86.4100	-0.0048
m12	87.0100	-0.0025
m13	87.6300	-0.0129
m14	88.2400	-0.0046
m15	88.8600	-0.0170
m16	89.4300	-0.0057
m17	89.9900	-0.0051
m18	90.5600	-0.0048
m19	91.2100	-0.0053
m20	91.8000	0.0000
m21	92.4300	-0.0132
m22	92.9700	-0.0041
m23	93.6000	0.0000
m24	94.1400	-0.0026
m25	94.8000	0.0000
m26	95.2000	0.0000
m27	96.0000	0.0000
m28	96.4000	0.0000
m29	97.0000	0.0000
m30	97.8000	-0.0244
m31	98.4000	0.0000
m32	99.0000	-0.0135
m33	99.6000	0.0000

Точность отклонения луча в азимутальной плоскости

4-Х КАСКАДНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ/СУММАТОР МОЩНОСТИ 32-32, ИМЕЮЩИЙ 1058 ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДА НА ОСНОВЕ SIW (ПРОТОТИП ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ)



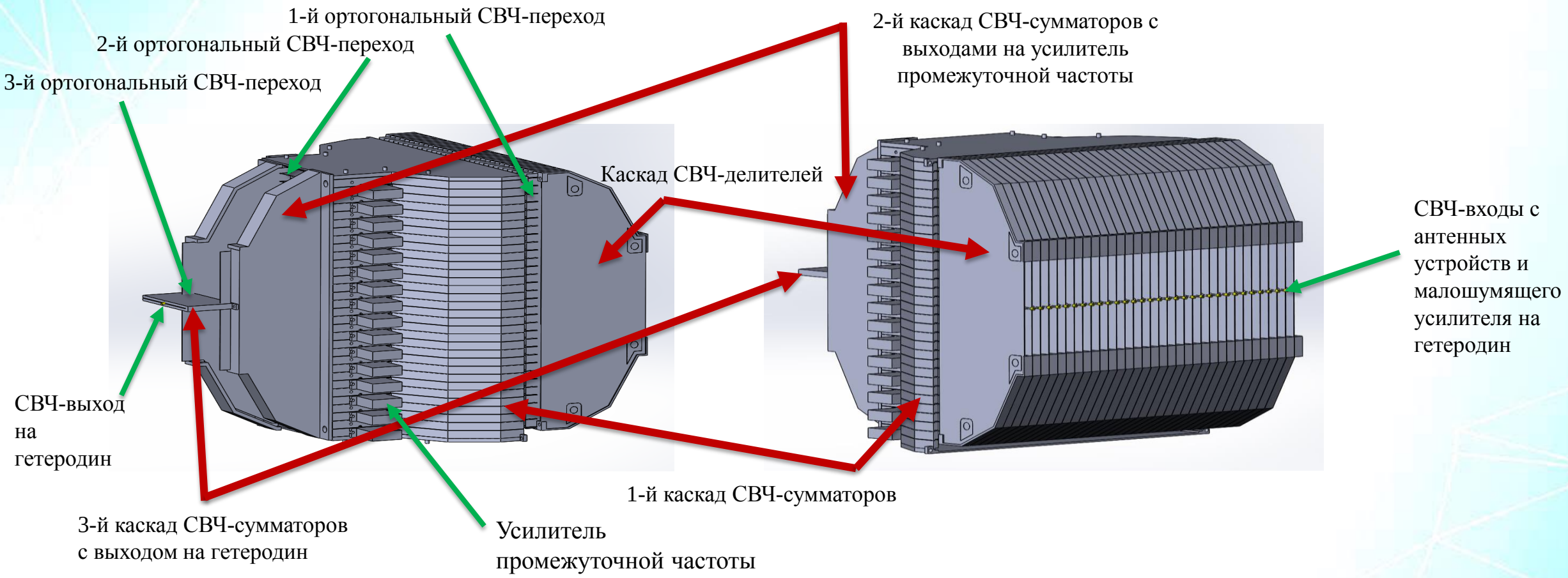
Общий вид сборки 4х-каскадной конструкции системы делителей-сумматоров для формирования многолучевой ДН (пример системы для формирования 32-х лучей)

Общие параметры устройства:

Диапазон рабочих частот: 16.2 – 22 ГГц
Общее количество переходов: 1058
Количество формируемых лучей: 32
Ширина распределительной системы: 384 мм
Высота распределительной системы: 384 мм
Длина (продольный размер всех каскадов): 563 мм

При использовании соединителей, мы потеряем около 7-9 дБ в коэффициенте передачи. Потери при отсутствии синфазности приходящих сигналов оценить невозможно.
Применение такого большого количества СВЧ соединителей увеличит стоимость разрабатываемой системы минимум на 1 млн. 904 тыс. рублей.
При применении требуемых торцевых СВЧ-соединителей, стоимость системы будет на 5 млн. 924 тыс. рублей больше.

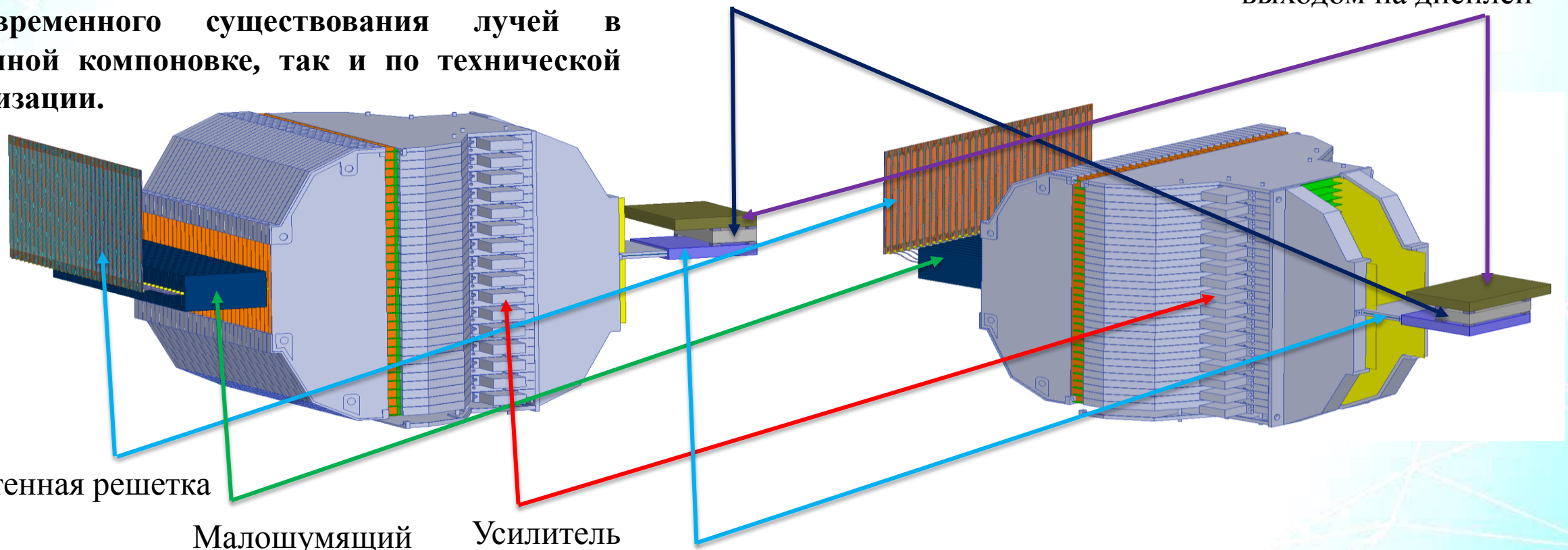
4-Х КАСКАДНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ/СУММАТОР МОЩНОСТИ 32-32, ИМЕЮЩИЙ 1058 ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДА НА ОСНОВЕ SIW В КОРПУСЕ (ПРОТОТИП ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ)



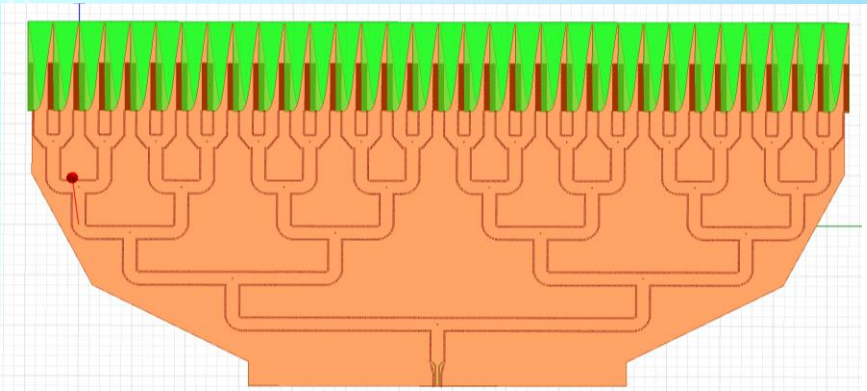
Внешний вид конструкции пассивного блока одновременного независимого формирования группы лучей в корпусе

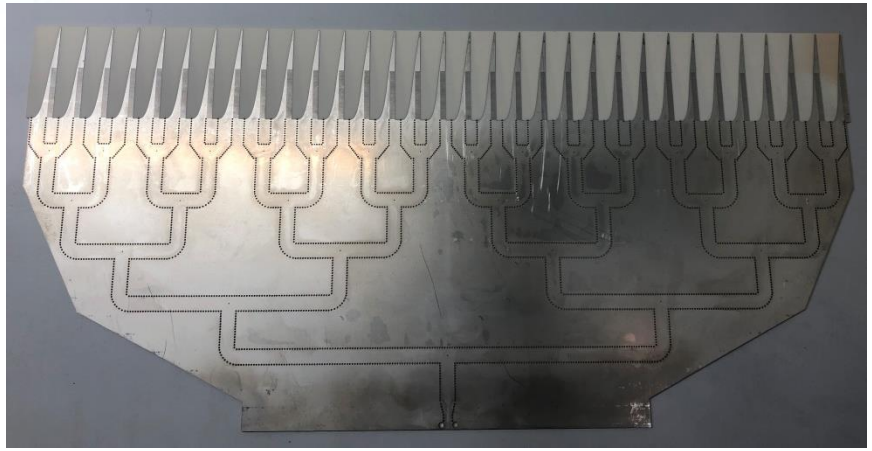
4-Х КАСКАДНЫЙ ДЕЛИТЕЛЬ/СУММАТОР МОЩНОСТИ 32-32, ИМЕЮЩИЙ 1058 ОРТОГОНАЛЬНЫХ ПЕРЕХОДА НА ОСНОВЕ SIW В СОСТАВЕ С АНТЕННОЙ РЕШЕТКОЙ И БЛОКАМИ АППАРАТУРЫ (ПРОТОТИП ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ)

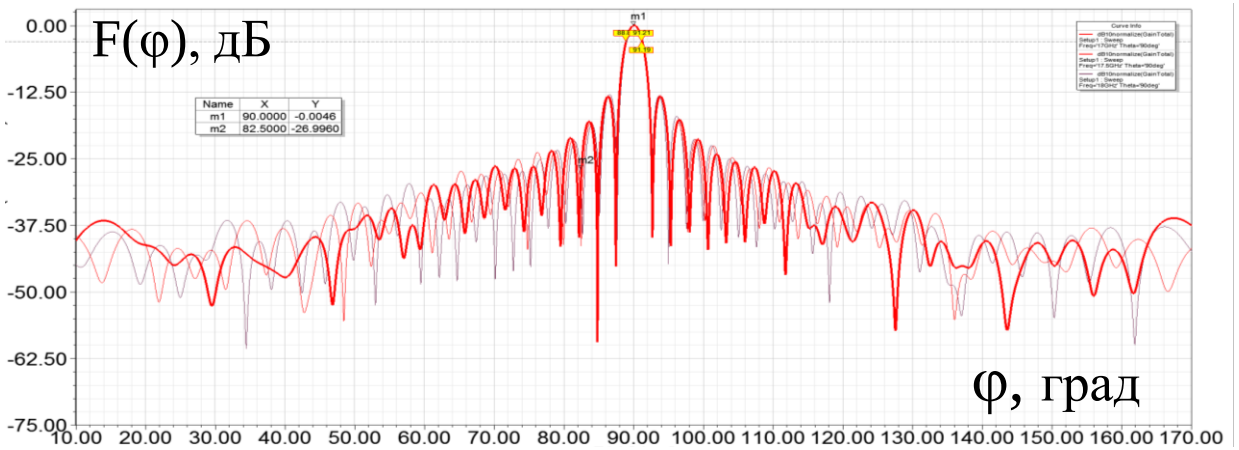
На сегодняшний день не найдено аналогов реализуемой системы, как по возможностям обеспечения такого количества одновременного существования лучей в заданной компоновке, так и по технической реализации.



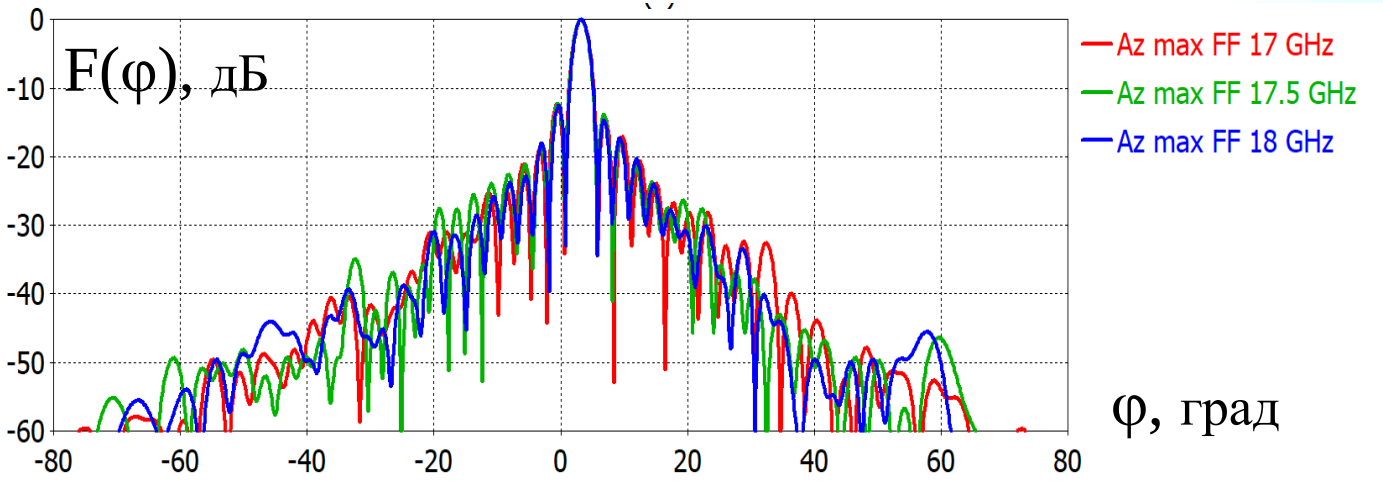
ПЕЧАТНАЯ ЛИНЕЙНАЯ РЕШЕТКА 32-Х АНТЕНН ВИВАЛЬДИ НА ОСНОВЕ SIW СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ И ИЗМЕРЕНИЙ







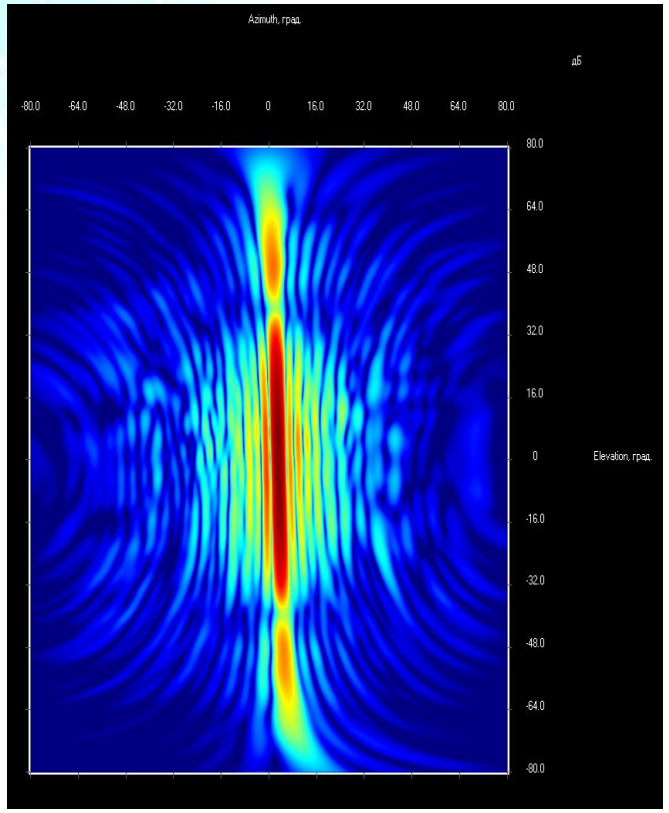
Рассчитанные нормированные диаграммы направленности в азимутальной плоскости



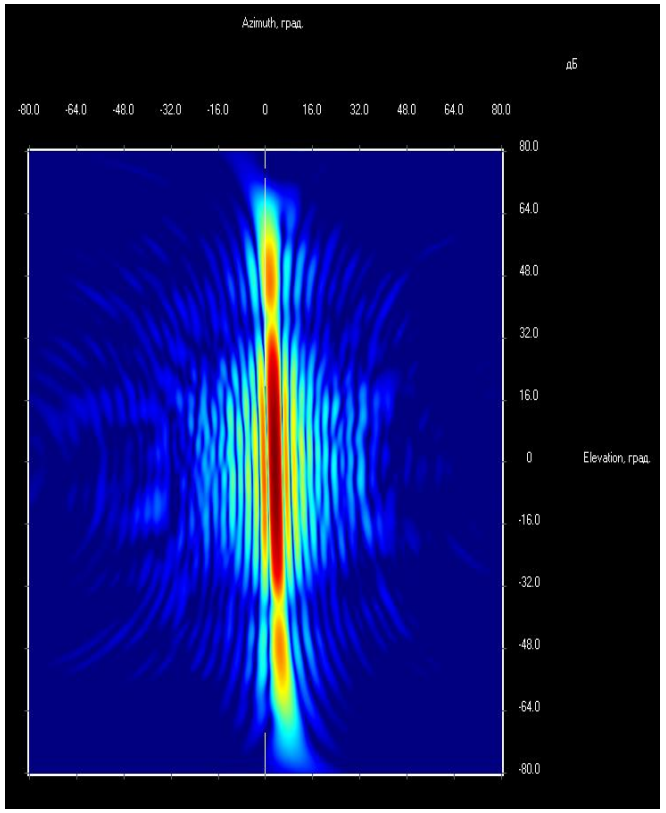
Измеренные нормированные диаграммы направленности в азимутальной плоскости

Частота, ГГц	16	16.5	17	17.5	18
Ширина диаграммы на уровне -3 дБ, град.	2.491	2.388	2.332	2.240	2.207

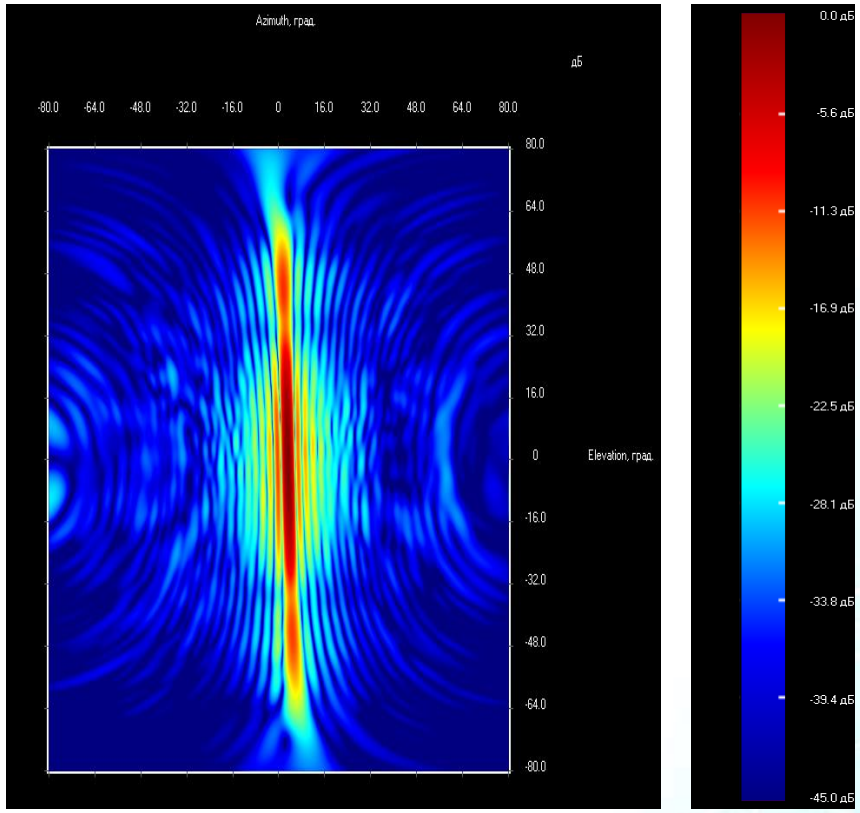
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ПЕЧАТНОЙ ЛИНЕЙНОЙ РЕШЕТКИ 32-Х АНТЕНН ВИВАЛЬДИ НА ОСНОВЕ SIW РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ



16 ГГц

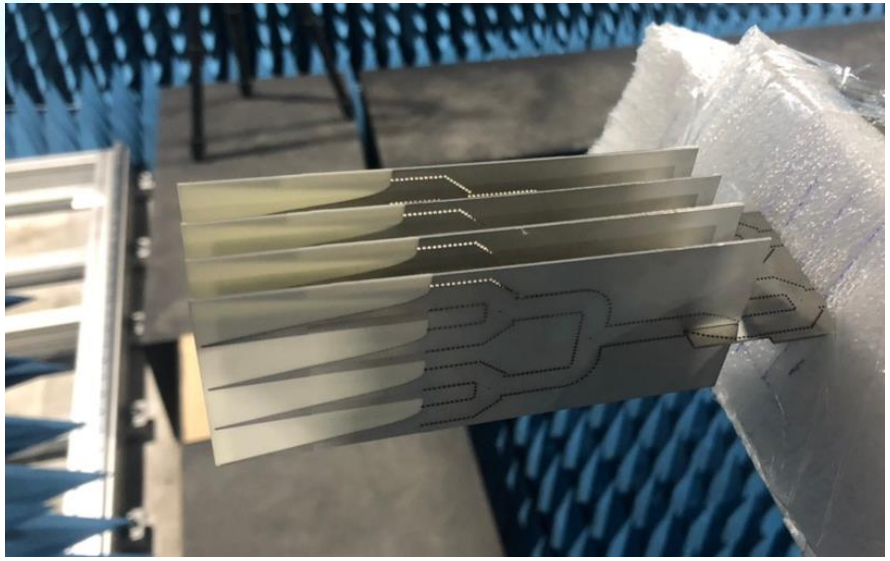


17 ГГц

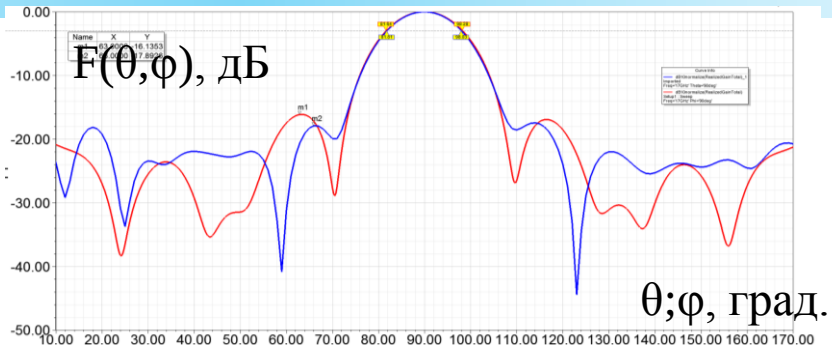


18 ГГц

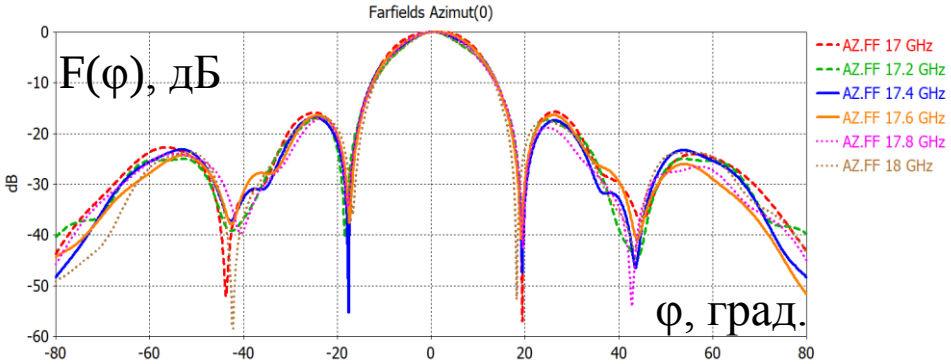
ПЕЧАТНАЯ ОБЪЕМНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА АНТЕНН ВИВАЛЬДИ 4x4 НА ОСНОВЕ SIW СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТОВ И ИЗМЕРЕНИЙ



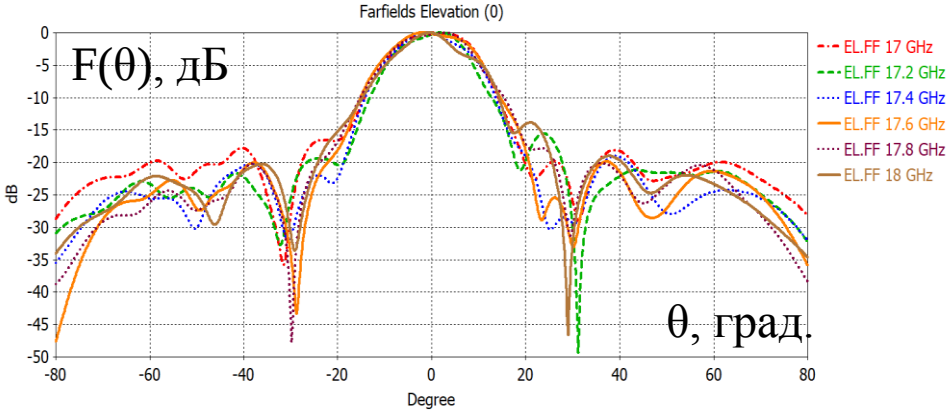
Двумерная антенная решетка на основе SIW с ортогональными переходами



Рассчитанные нормированные диаграммы направленности в вертикальной и горизонтальной плоскостях

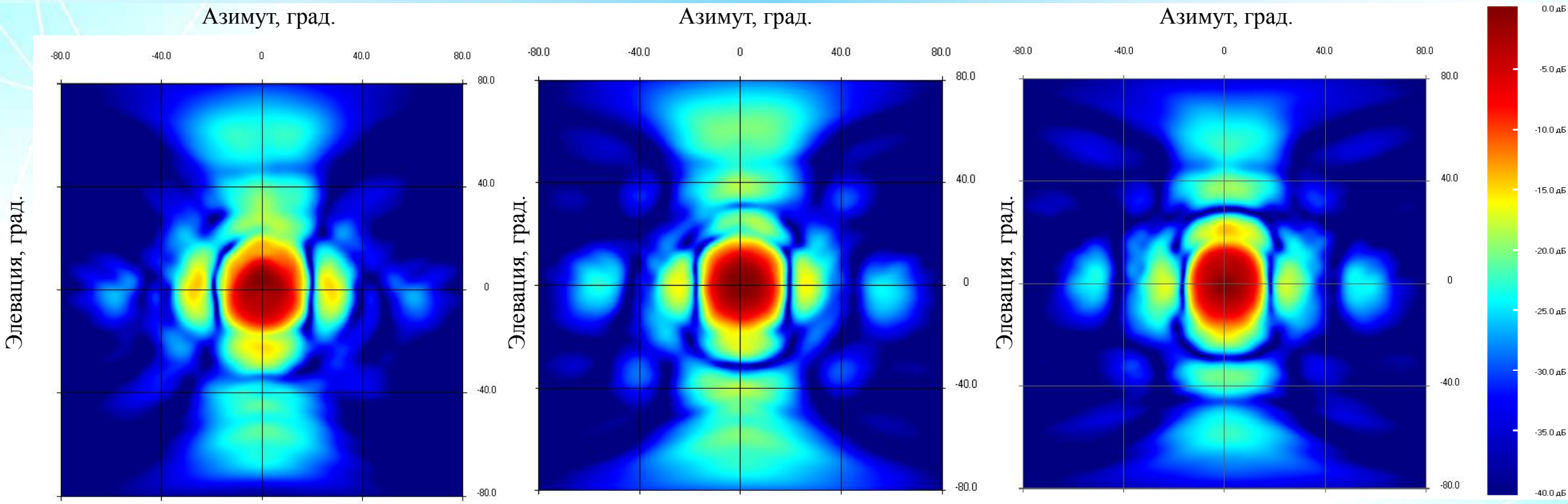


Измеренные нормированные диаграммы направленности в горизонтальной плоскости



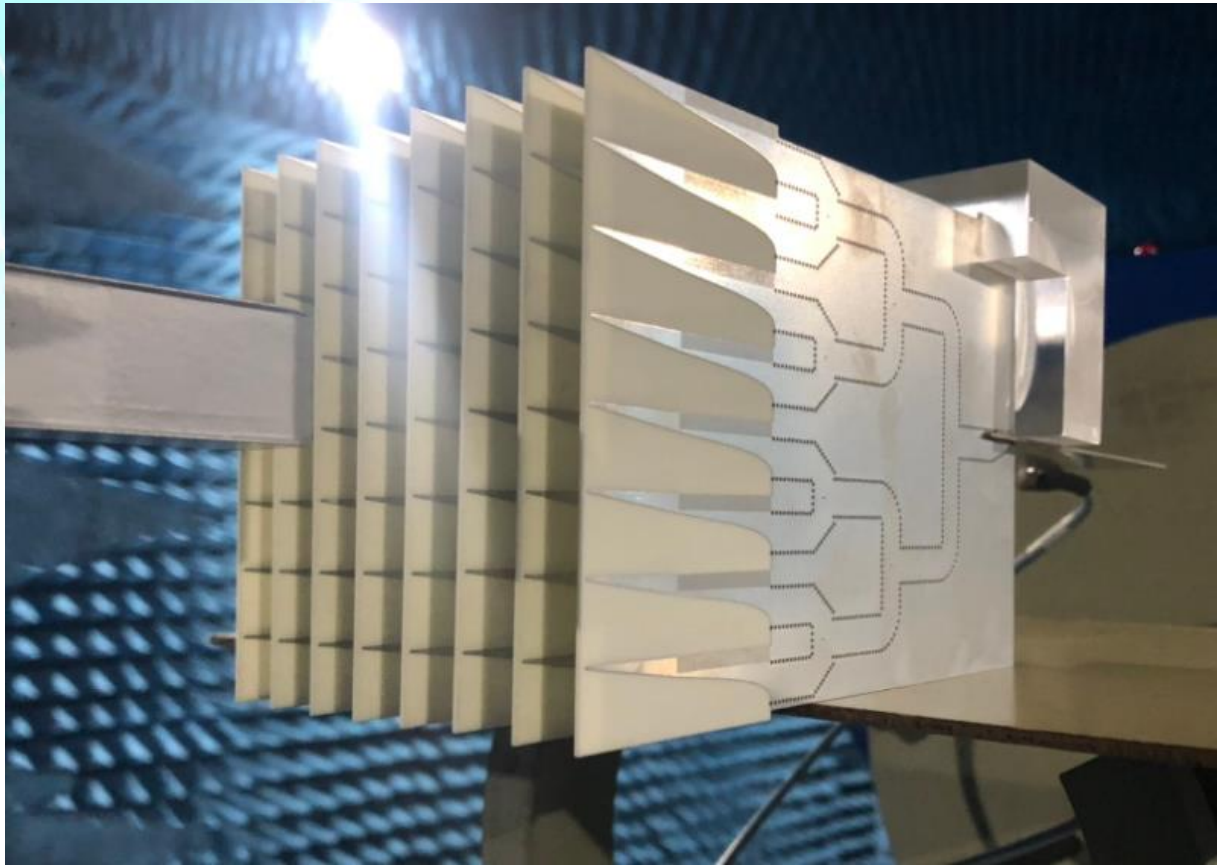
Измеренные нормированные диаграммы направленности в вертикальной плоскости

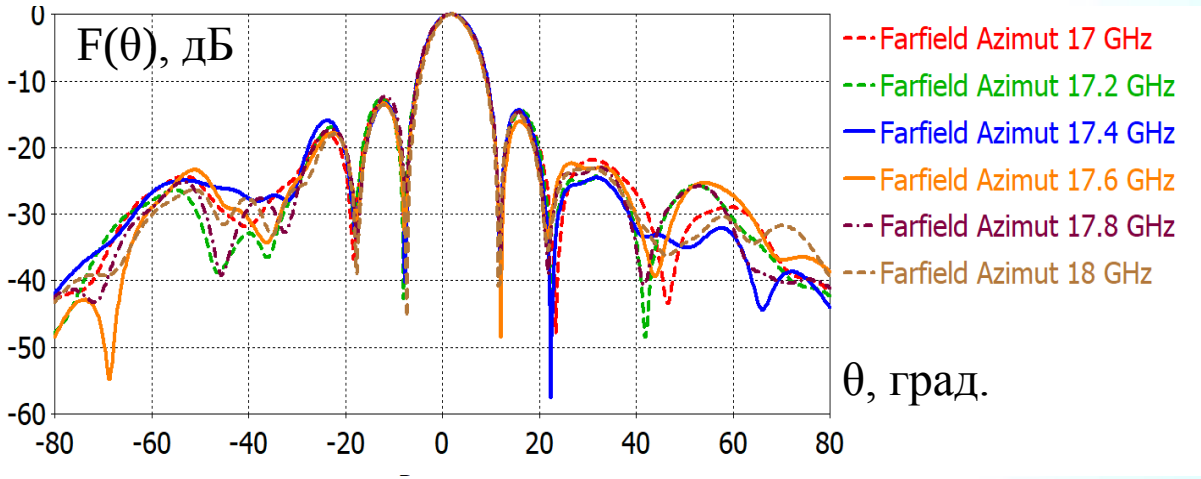
РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ПЕЧАТНОЙ ОБЪЕМНОЙ РЕШЕТКИ 4x4 АНТЕНН ВИВАЛЬДИ НА ОСНОВЕ SIW
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

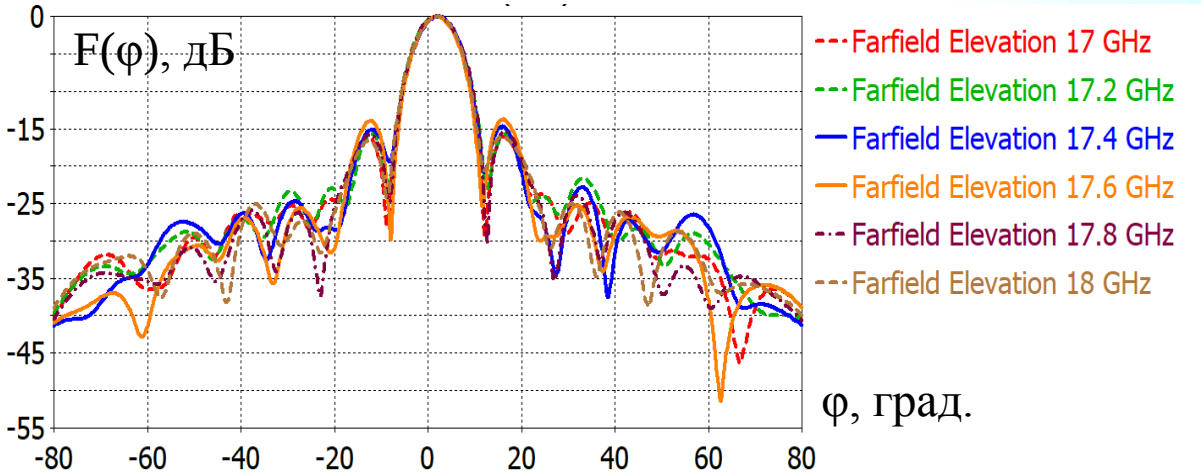


16 ГГц 17 ГГц 18 ГГц

ПЕЧАТНАЯ ОБЪЕМНАЯ АНТЕННАЯ РЕШЕТКА АНТЕНН ВИВАЛЬДИ 8x8 НА ОСНОВЕ SIW

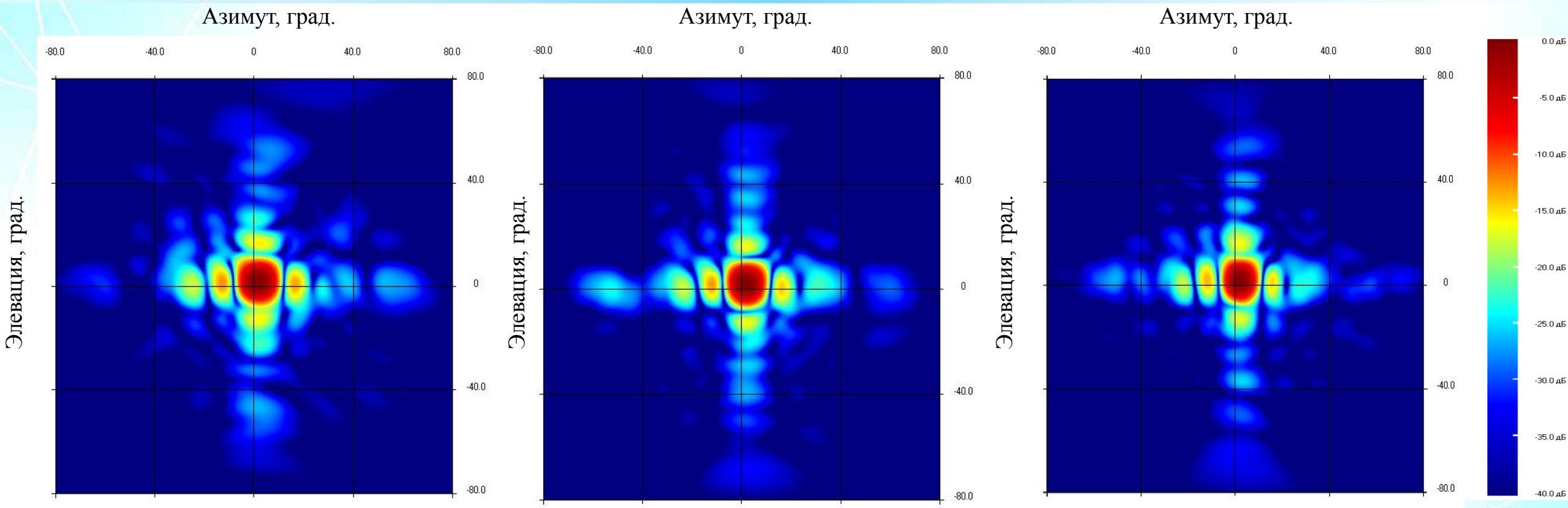






Частота, ГГц	16	17	18
Ширина диаграммы на уровне -3 дБ, град.	8.6	8.3	7.9

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ПЕЧАТНОЙ ОБЪЕМНОЙ РЕШЕТКИ 8x8 АНТЕНН ВИВАЛЬДИ НА ОСНОВЕ SIW
РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ



16 ГГц

17 ГГц

18 ГГц

Преимущества и отличительные черты предлагаемой системы посадки

Проведенные экспериментальные исследования показали, что принцип построения системы позволяет в дальнейшем использовать основной модуль системы делителей-сумматоров без доработки для приема СШП сигналов. Это даст в свою очередь, как большую разрешающую способность по дальности (увеличить дальность работы системы, путем замены только приемника и передатчика) и улучшить качество формируемого радио-изображения поверхности.

Применение уникальных СВЧ-переходов позволяет избегать применения СВЧ-соединителей, тем самым увеличивая надежность системы и снижая ее стоимость.

Многофункциональность. Предполагаемые режимы работы системы позволят работать не только во все погодном режиме при посадке, но и включать опцию помощи руления по взлетно-посадочной полосе.

Возможность конфигурирования системы под разные типы самолетов путем замены только антенной системы, исходя из технических требований к посадке, тем самым избегая дорогостоящих решений для гражданской авиации.

СВОДНАЯ ТАБЛИЦА ПАРАМЕТРОВ РАЗРАБАТЫВАЕМОЙ СИСТЕМЫ

№	Параметр	Значение
1	Рабочая частота f, ГГц	17.5
2	Режим работы передатчика	ЛЧМ
3	Диапазон частот Δf, МГц	300
4	Максимальная дальность $Д_{макс}$, м	6000
5	Коэффициент шума $К_{ш}$, Вт	$1,6*10^{-20}$
6	Вид модуляции излучаемого сигнала	ЛЧМ
7	Минимальный динамический диапазон приемника, дБ	80
8	Задержка индикации изображения относительно реального времени, не более мс	100
9	Мощность передатчика, Вт	100-200
10	Разрешающая способность , количество пикселей	256
11	Число строк	256-512
12	Число кадров в секунду	>15

Проведенные детальные теоретические и экспериментальные исследования показали полную возможность создания предлагаемой многолучевой системы на практике.

Предполагается, что все вышеперечисленные особенности дадут возможность формирования цифрового радиотехнического изображения земной поверхности (взлетно-посадочной полосы) требуемого качества на расстоянии 6000 м и более в условиях недостаточной либо нулевой видимости.