



СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ

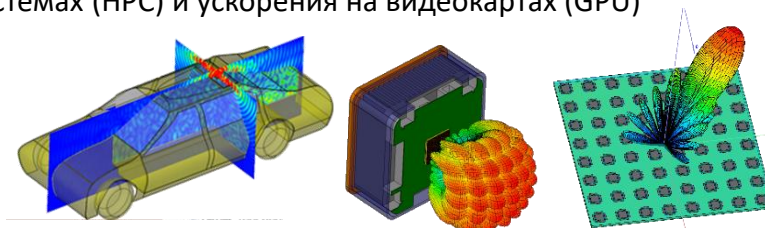
САПР «ГАММА» Обзор возможностей



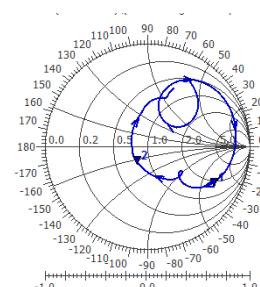
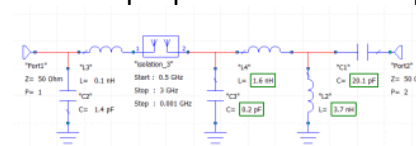
- GAMMA — это программный комплекс автоматизированного проектирования и моделирования сложных высокочастотных радиоэлектронных систем, таких как:
 - Антенно-фидерные устройства, включая фазированные антенные решетки,
 - ВЧ и СВЧ печатные платы,
 - Элементы СВЧ цепей: линии передач, делители, фильтры и т.п.,
 - Резонаторы.
- GAMMA сочетает в себе удобный пользовательский интерфейс, мощный 3-х мерный редактор, набор решателей, для моделирования разнообразных проблем, и набор инструментов для анализа результатов.
- Точность моделирования сопоставима с коммерческими программами (ANSYS HFSS, SPEAG SEMCAD, CST Studio) и хорошо согласуется с данными измерений.
- Успешно применяется для разработки различных конструкций антенн: UWB антенны, антенные решетки миллиметрового диапазона, антенны LTE MIMO, 5G для мобильных телефонов и т. д.

Основные режимы

- 3-х мерное Электромагнитное (ЭМ) Моделирование
 - Метод Конечных-элементов в частотной области (FEM) и Конечных разностей во временной области (FDTD)
 - Влияние на организм человека и анализ безопасности
 - Режим анализа антенных решеток
 - Поддержка расчетов на высокопроизводительных системах (HPC) и ускорения на видеокартах (GPU)



- Анализатор радиочастотных цепей
 - Анализ цепей в частотной области
 - Автоматическая оптимизация и настройка
 - Работа с импортированными S-матрицами



- Трассировка лучей
 - Распространение радиоволн на большие расстояния
 - Анализ производительности установленных антенн
 - Коммуникационный анализ



- Современный интерфейс с панелями быстрого доступа

- Главная
- Режим
- Вид
- Моделирование
- Мастера
- Решение
- Результаты
- и т.д.

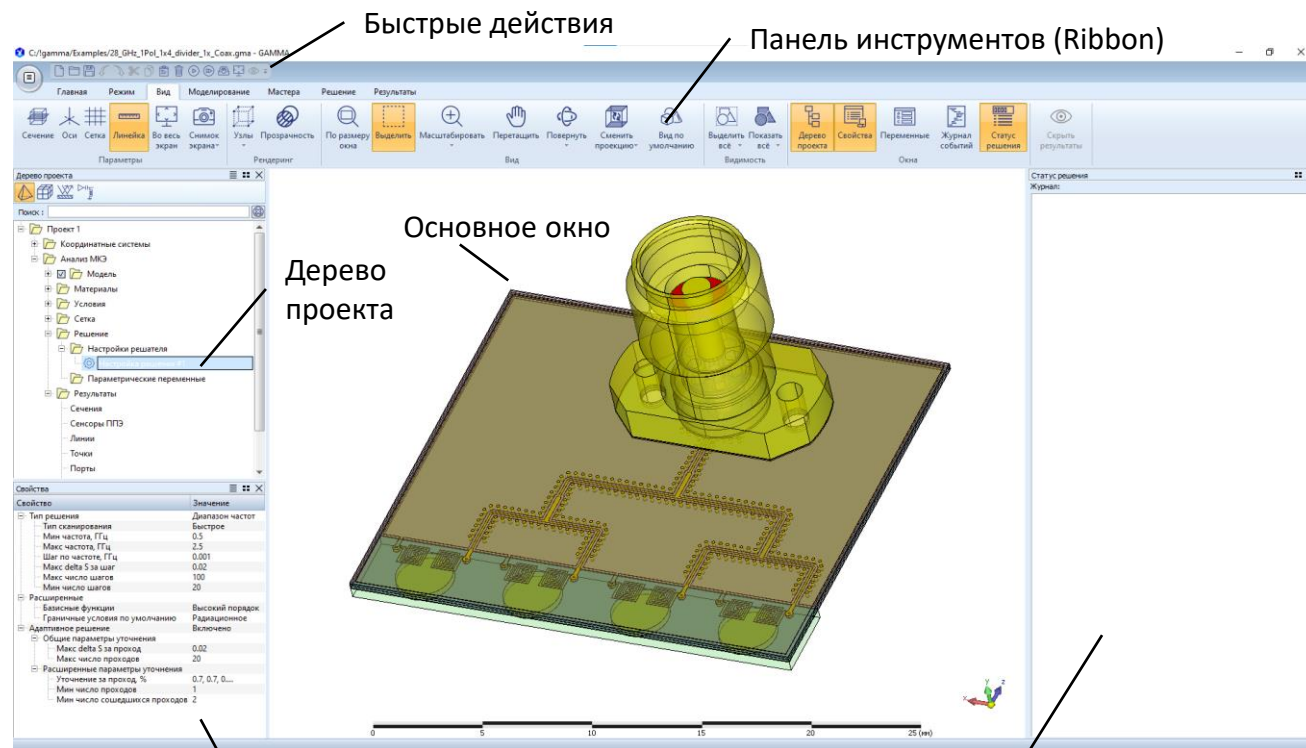
- Основное окно

- Сечения
- Контроль прозрачности
- Настраиваемые: фон, толщина линий и т.д.
- Фронтальная, боковая и т.д. проекции

- Иерархическое дерево проекта, Адаптивный редактор свойств и т.д.

- Настраиваемые пользовательский интерфейс и горячие клавиши

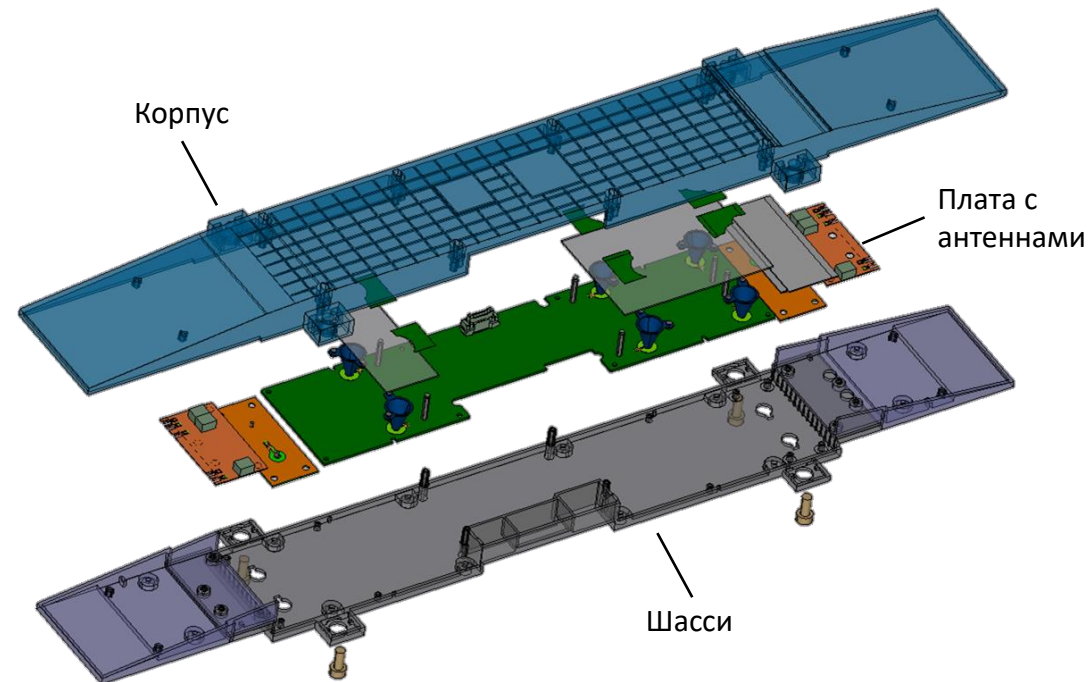
Пользовательский интерфейс программы



Вспомогательные окна
(сообщения о событиях,
статус моделирования и
т.д.)

- **Импорт/Экспорт из всех основных САПР**
 - 2D/3D форматы: Pro-E / PTC Creo, ACIS SAT, STEP, IGES, STL, DXF
 - Импорт ODB++ PCB files
- **Широкий набор инструментов для создания и редактирования геометрических объектов**
 - 1D/2D/3D примитивы
 - Логические операции
 - Инструменты для локального редактирования (смещение поверхности, скругление граней и т.д.)
 - Преобразование 2-х мерных примитивов в 3-х мерные
 - Инструменты для упрощения сложных форм
- **Инструменты для измерения: объем, площадь, длина**
- **Расширенный набор точек привязки: вершины, ребра, центр поверхности, пересечение ребер, проекции и т.д.**
- **Редактируемая история операций**
- **Поддержка переменных и параметризация объектов (для параметрического анализа)**
- **Помощники: создание массива антенн, фантом головы и руки, и т.д.**

Модель антенного модуля, спроектированного в GAMMA
(шасси и детали корпуса импортированы из PTC Creo)



■ Конечно-Элементный решатель:

- Векторные конечные элементы (КЭ) высокого порядка в частотной области
- Автоматическое построение тетраэдральных КЭ сеток
- Адаптивное улучшение КЭ сеток

■ Поддержка высокопроизводительных систем (НРС):

- Параллельные расчёты на MPI и SMP системах
- Удаленный расчёт (Windows и Linux)

■ Типы анализа:

- С источником (S-параметры)
- Собственные частоты
- Электромагнитная совместимость/интерференция (ЭМС/ЭМИ)

■ Типы источников:

- Сосредоточенный порт
- Прямоугольный волновод и коаксиальный порт
- Электрический и магнитный диполь (ЭМС/ЭМИ)

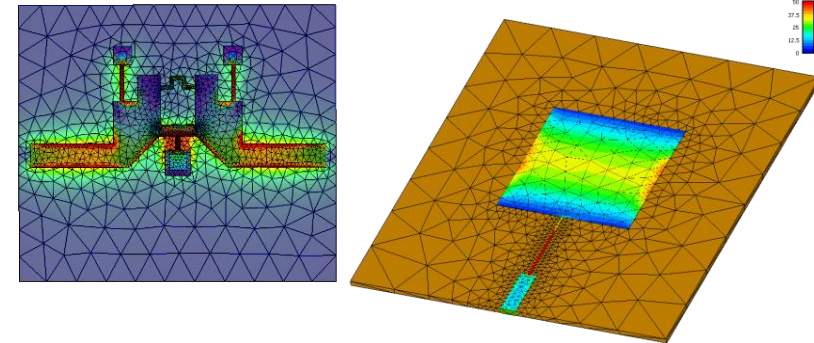
■ Материалы:

- Линейные не дисперсионные диэлектрики
- Частотно зависимые ткани человека
- Металлы (учет конечной проводимости)

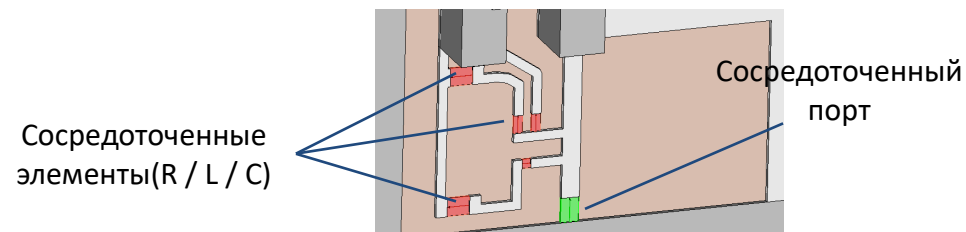
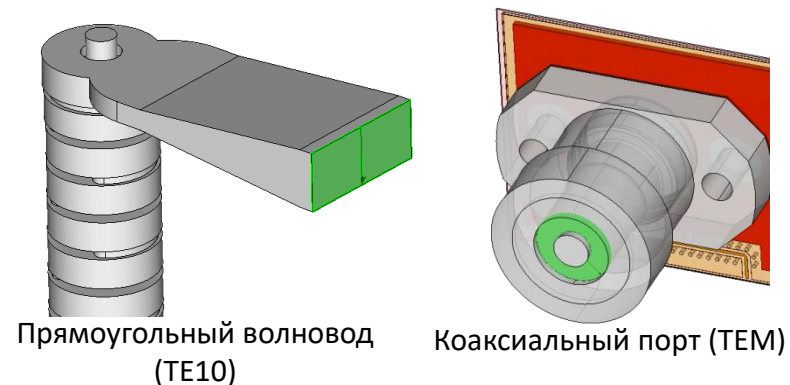
■ Граничные условия:

- Электрическая/магнитная стенка
- Конечная проводимость
- Сосредоточенные элементы (R/L/C)
- Поглощающие граничные условия

Автоматическое построение КЭ сетки с адаптивным улучшением

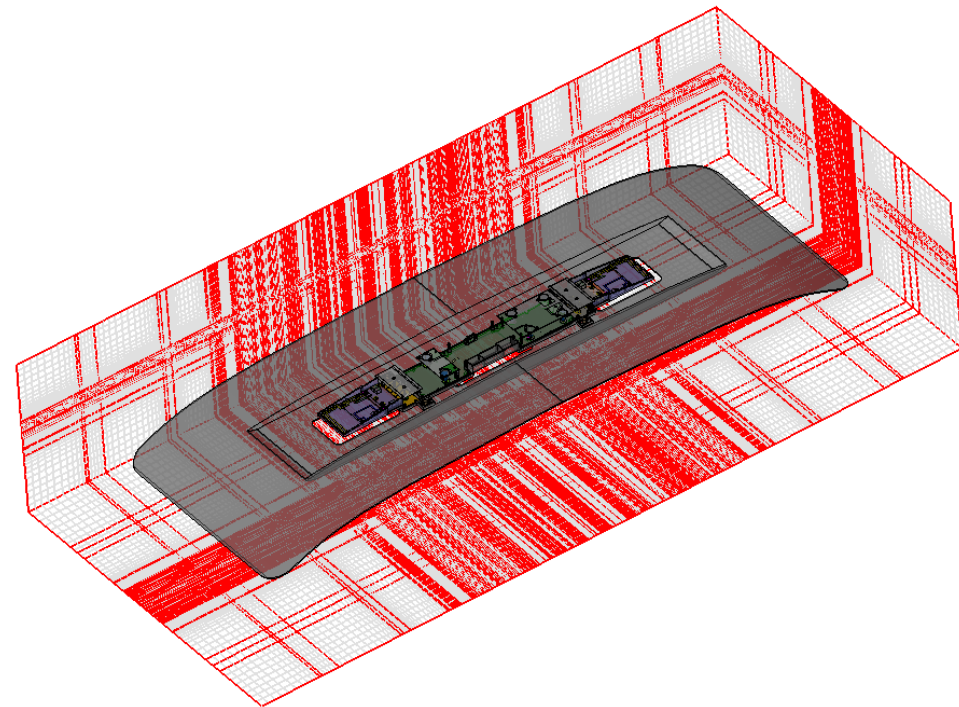


Поддерживаемые порты и элементы цепей



- **Конечно-разностный решатель во временной области:**
 - Быстрый широкополосный анализ
 - Быстрое и удобное построение регулярных сеток
 - Ускорение на видеокартах (NVIDIA GPU с поддержкой CUDA)
- **Типы анализа:**
 - Широкополосный с источником (S-параметры)
- **Сосредоточенные порты и элементы цепей**
- **Материалы:**
 - Линейные недисперсионные диэлектрики
 - Идеальный металл
- **Граничные условия:**
 - Поглощающие (на границе расчетной области)

Набор широкополосных антенн, встроенных
в крышу автомобиля (1,5 метра)



■ Сетевые параметры:

- S, Y, Z матрицы, KCB
- Диаграмма Смита
- Экспорт Touchstone SnP Text files

■ Ближнее поле:

- Поверхностные токи
- Объемное/поверхностное распределение электрического и магнитного поля

■ Безопасность:

- Certification SAR
- RF Exposure

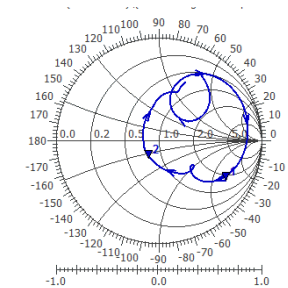
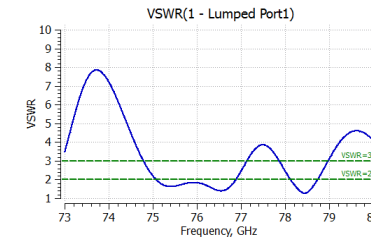
■ Параметры антенн:

- Частотные зависимости (графики) усиления антенны, КПД, полной излучаемой мощности и т.д.
- Envelope Cross-Correlation for MIMO
- Диаграмма излучения с контролем положения луча в реальном времени и инструментами анализа формирования луча для антенных решеток

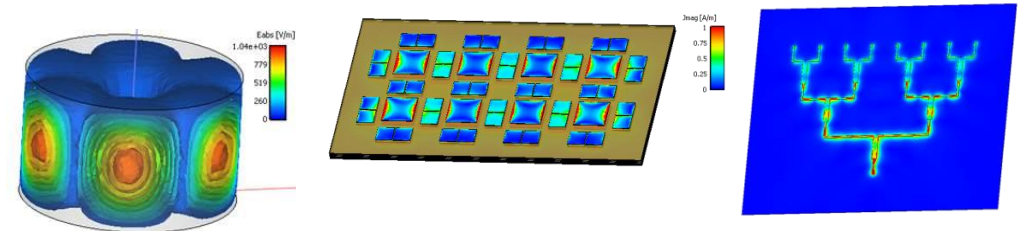
■ Дополнительно:

- Анимация полей и токов
- Графики: Маркеры, настройка шрифтов, линий и т.д.
- Экспорт: Снимки экрана, Графики в текстовые и CSV файлы

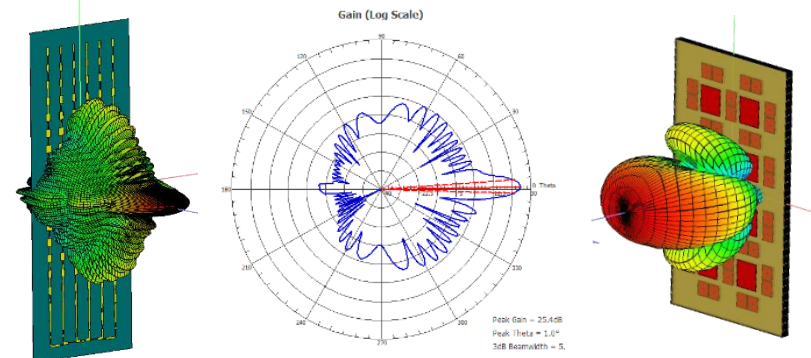
• Графики



• Ближнее поле



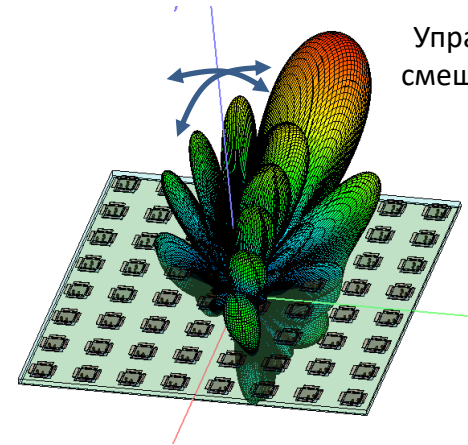
• Дальнее поле



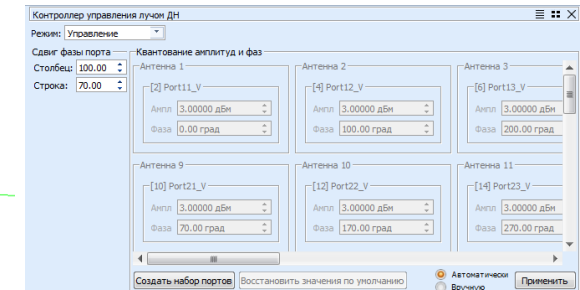
- Помощник создания Антенных решеток позволяет создавать прямоугольные решетки из одного излучателя
- Во время анализа результатов можно задавать распределение фазы и амплитуды для прямоугольных антенных решеток:
 - Анализ любых результатов в ближней и дальней зоне для любой комбинации портов и распределения амплитуд / фаз
 - Импорт и экспорт распределения амплитуд / фаз на портах
- Усовершенствованный анализ диаграммы направленности для прямоугольных антенных решеток:
 - Управления лучом в реальном времени путем изменения смещения фазы для строк и столбцов
 - Генерация многолучевой диаграммы направленности
 - Генерация многолучевого шаблона для анализа покрытия: генерация лучей по количеству углов с использованием генетической оптимизации
 - Срез диаграммы направленности под любым углом Φ / Θ
 - Суммарная функция распределения (CDF)
 - Суммарный охват для нескольких антенных решеток

Диаграмма направленности антенной решетки 8x8 в миллиметровом диапазоне

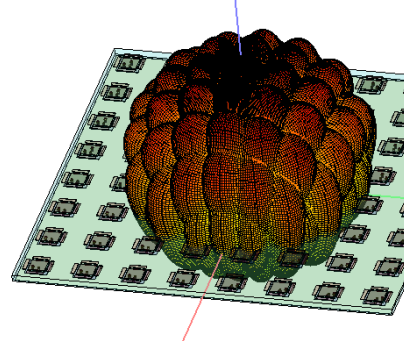
- Режим управления лучом



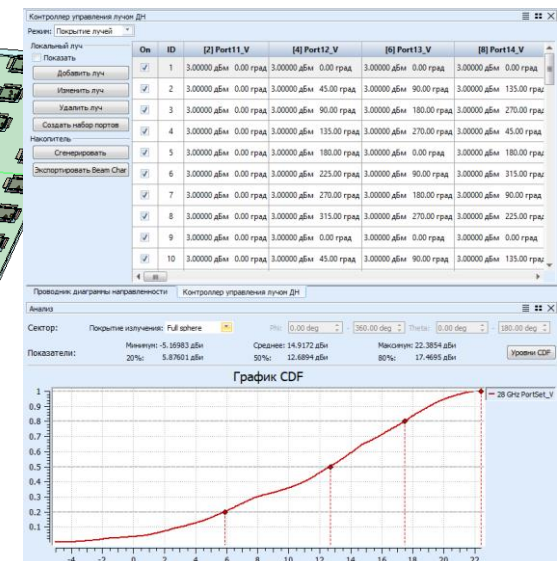
Управление в реальном времени смещением фазы столбца и строки



- Режим анализа покрытия (многолучевой)



- Автоматическая генерация лучей по углам
- Контроль Амплитуды/Фазы по портам
- Статистический анализ – график CDF



- Режим для быстрого создания и анализа пассивных цепей:

- Согласующие цепи
- Фильтры
- Комбинированные характеристики антенных решеток
- Т.д.

- Импорт/Экспорт Touchstone SnP файлов:

- Компоненты цепей:

- R, L, C
- Делители мощности
- Линии задержки
- Сдвиг фазы

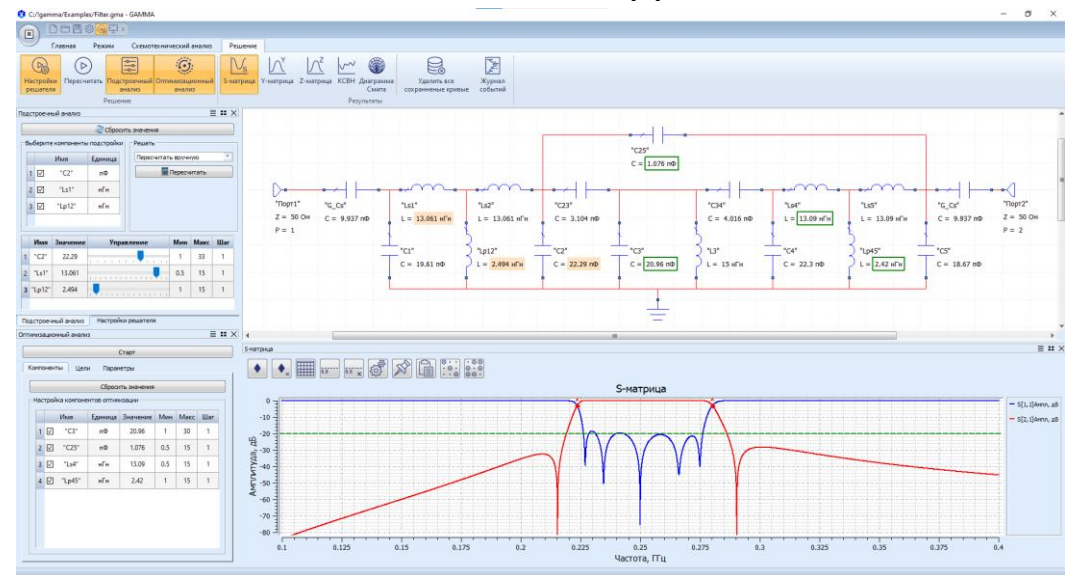
- Моделирование:

- Анализ и настройка в режиме реального времени
- Автоматическая оптимизация (Генетический алгоритм)

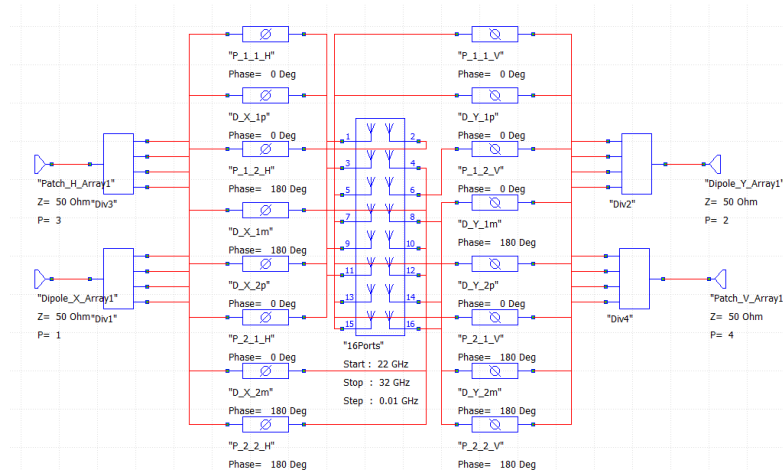
- Результаты:

- S-, Y-, Z- матрица, КСВ, Диаграмма Смита

Пользовательский интерфейс



Импорт N-port SnP файла
(измерение или моделирование)



- **Квазиоптическое моделирование для численного анализа распространения РЧ-волн на большие расстояния. :**

- Базируется на методе Shooting and Bouncing Rays (геометрическая оптика)
- Поддержка отражений, проникновение через препятствия (стены, окна, перегородки) и дифракции на ребрах

- **Анализ коммуникаций:**

- Расчет многолучевого распространения радиочастотного сигнала между передающей (Tx) и приемной (Rx) антеннами в реальных условиях внутри или вне помещений
- Анализ полной системы, состоящей из передающих и приемных антенн, заданных диаграммами направленности, или только оценка покрытия для передающей антенны (базовой станции)
- Расчетные значения: принимаемая мощность, отношение сигнал-шум и пропускная способность для беспроводных сетей (LTE, Wi-Fi, Bluetooth, 5G NR).

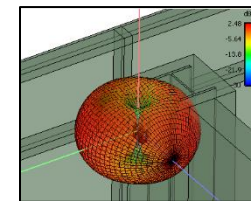
- **Анализ диаграммы направленности:**

- Оценка параметров излучения установленной антенны

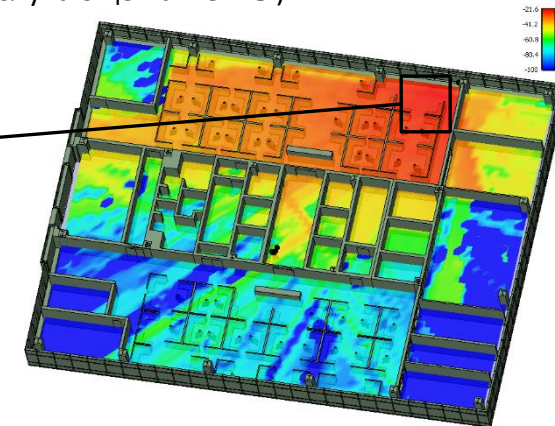
Поддерживается два типа анализа

- **Анализ беспроводных сетей**

- Анализ точка-точка (заданы диаграммы направленности на излучающей и принимающей антенне)
- Анализ покрытия точка-область (задана диаграммы направленности излучающей антенны)

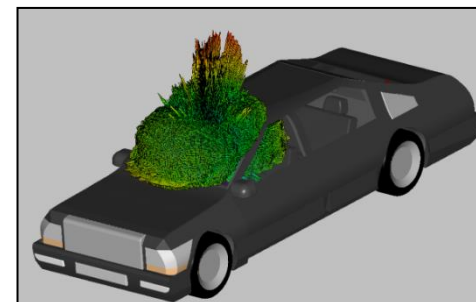


Точка доступа
(2.45 GHz, 23 dBm
Conducted Power)



Пример точка-область: Мощность сигнала Wi-Fi внутри здания

- **Расчет диаграмма направленности от крупномасштабного объекта**



Излучение антенны мобильного телефона расположенного в автомобиле



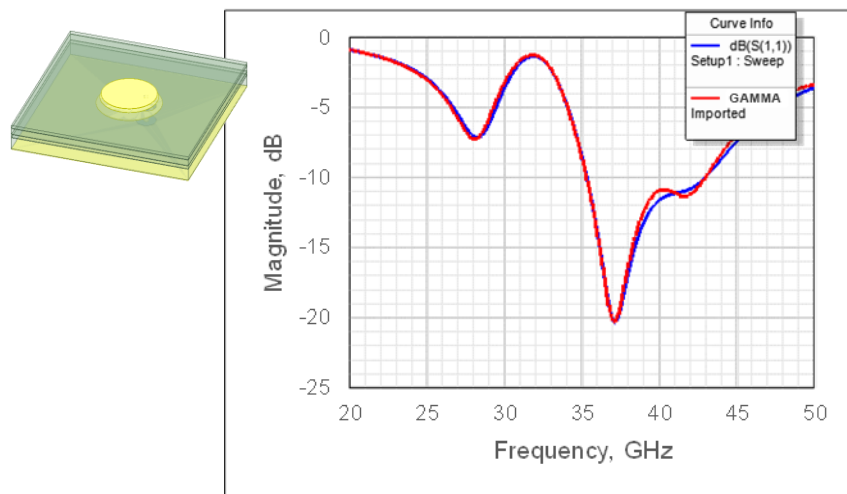
Излучение антенны в миллиметровом диапазоне внутри здания

- **GAMMA поддерживает удаленный расчет на высокопроизводительных кластерах (HPC):**
 - Связь по сетевому протоколу (TCP), собственная реализация клиент/сервер
 - Запуск удаленного решателя на кластерах под управление ОС Microsoft Windows и Linux
 - Возможность адаптации под конкретный менеджер задач и тип кластера (по запросу)
- **Методы ускорение расчета:**

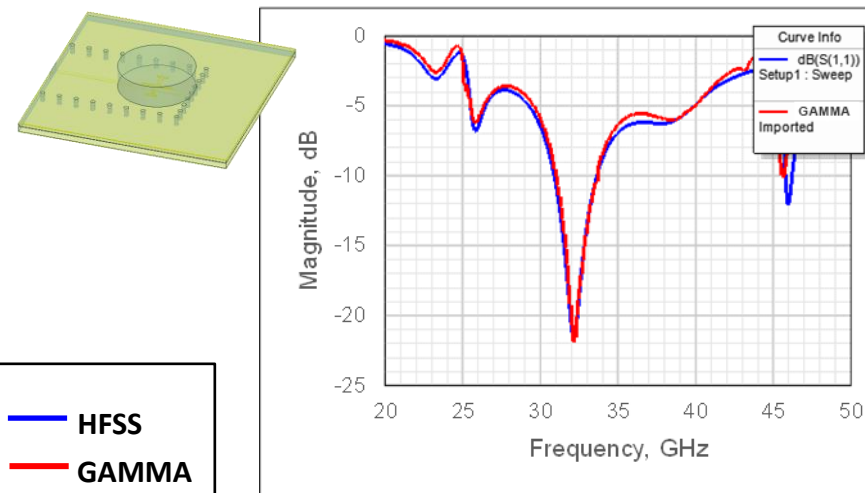
Тип	FEM	FDTD	Трассировка лучей
Удаленный расчет на HPC	Да	Нет (планируется в следующей версии)	Нет
Параллельные вычисления (SMP)	Да	Нет (планируется в следующей версии)	Да
Распределенные вычисления (MPI)	Да	Нет	Нет
Вычисления с применением графического сопроцессора (видеокарты)	Нет	Да	Нет

- Сравнение результатов моделирования антенн миллиметрового диапазона: GAMMA и ANSYS HFSS

Circular Patch Antenna

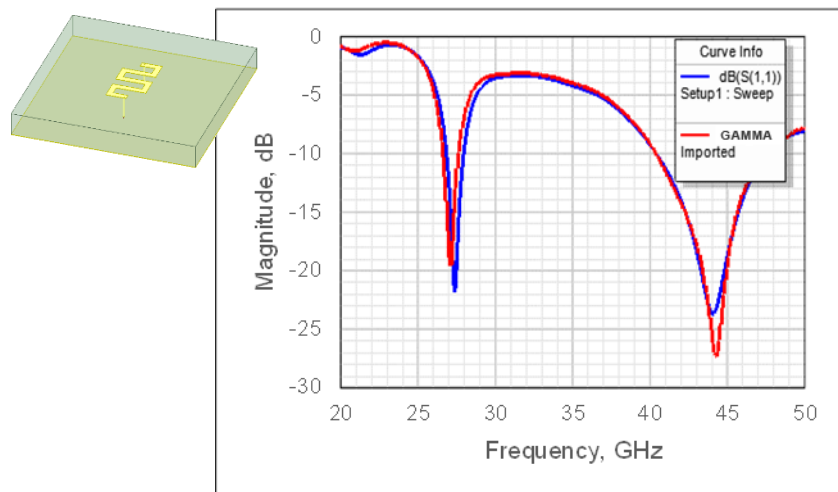


Dielectric Resonator Antenna

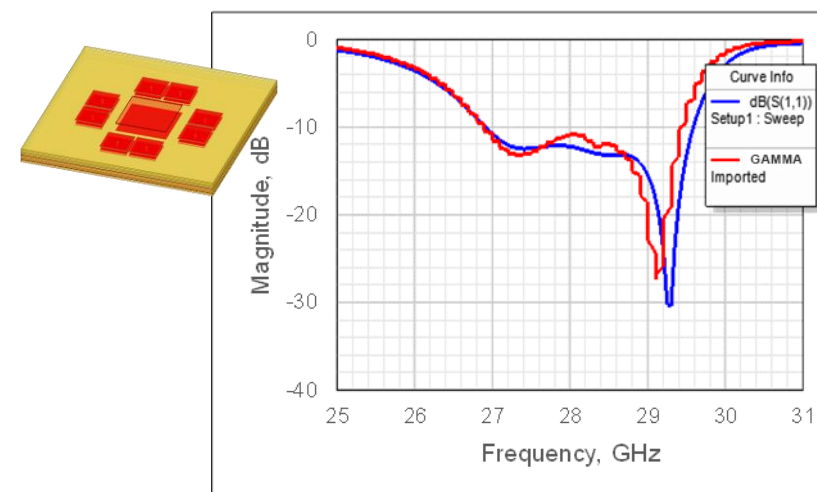


— HFSS
— GAMMA

Meander Antenna



Coupled Patch Antenna



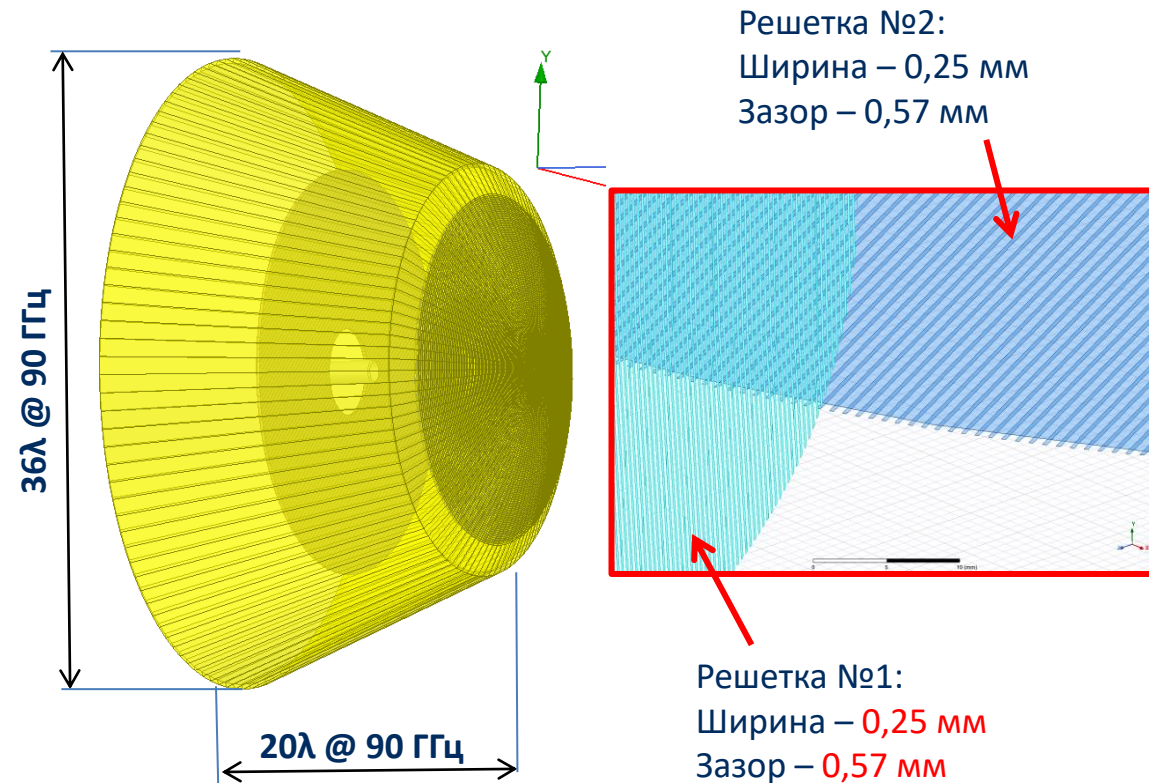
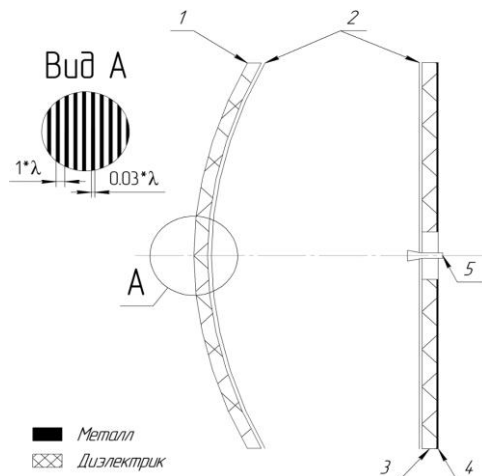
Постановка задачи

Состав антенны:

- Основное зеркало – решетка из вертикальных проводников
- Плоское зеркало с поворотом плоскости поляризации
- Рупорный облучатель с вертикальной поляризацией
- Рабочая частота – 90 ГГц

Материал элементов антенны:

- Радиопрозрачный обтекатель (1) – $\epsilon = 3,4$; $\text{tg}\delta = 0,0012$;
- Диэлектрическая пластина (3) – $\epsilon = 2,33$; $\text{tg}\delta = 0,0012$;
- Поляризационные решётки (2), экран (4), рупор (5)
- идеальный электрический проводник (ПЕС).

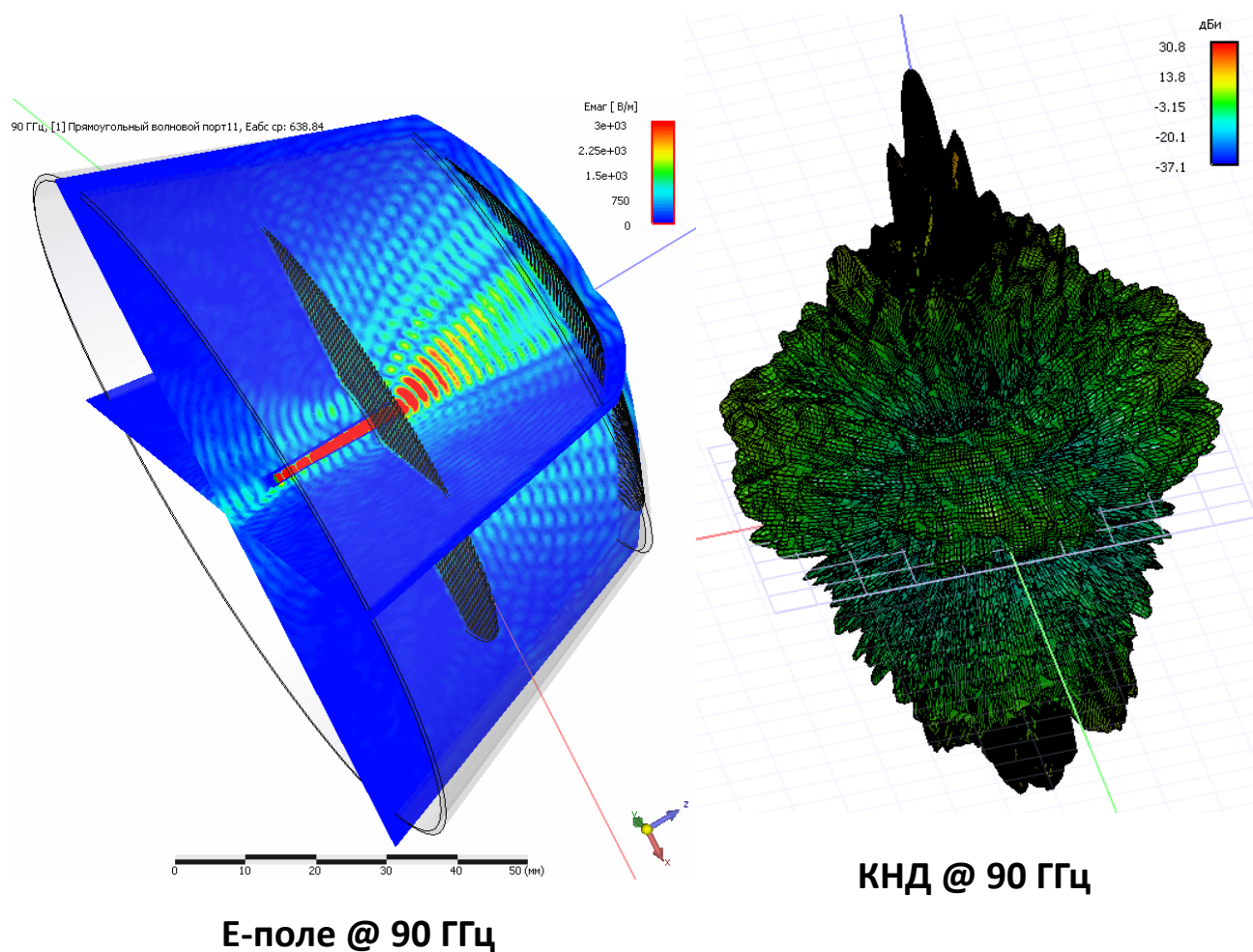
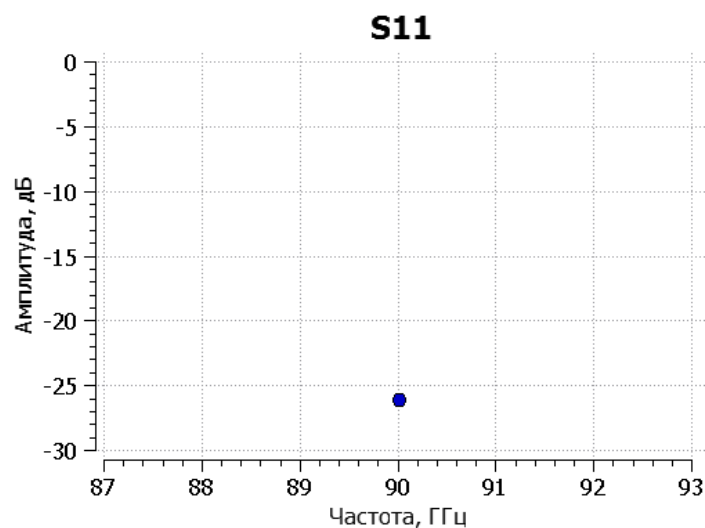


МКЭ: Построение сетки и расчет

- CPU: Intel® Xeon® E5-2699 v4 @ 2.2 ГГц

2 шага адаптивного решения:

Размер сетки, тетраэдров	4 502 339
Пиковый объем RAM	500 Гб
Количество ядер	42
Время расчета	63,5 ч.



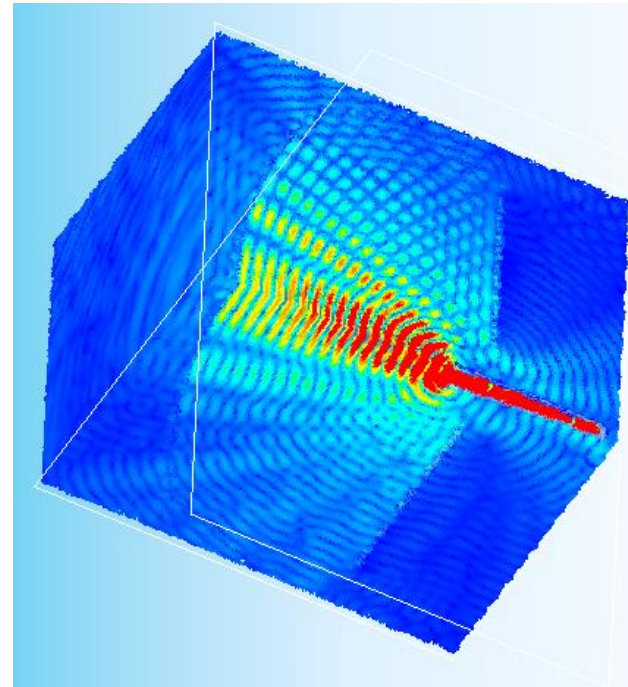
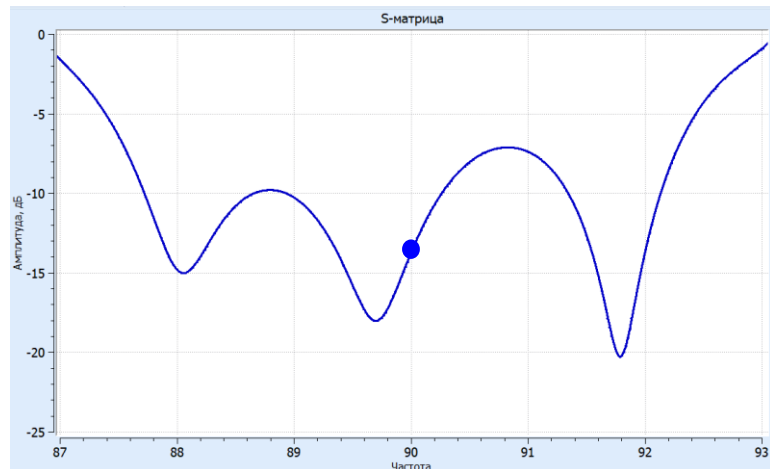
МКР: Построение сетки и расчет

- GPU: NVIDIA Quadro P5000

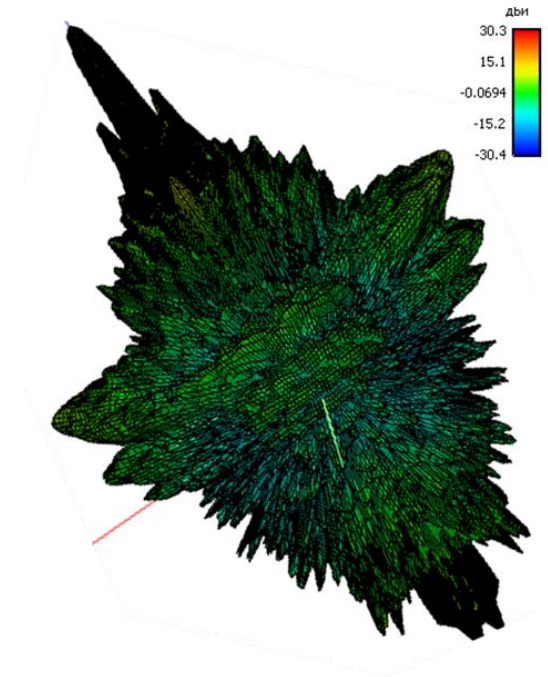
Количество временных периодов расчета: 100

Размер сетки, ячеек	150 млн.
Пиковый объем видеопамати	15,1 ГБ
Количество ядер CUDA®	2560
Время расчета	36 мин.

S11



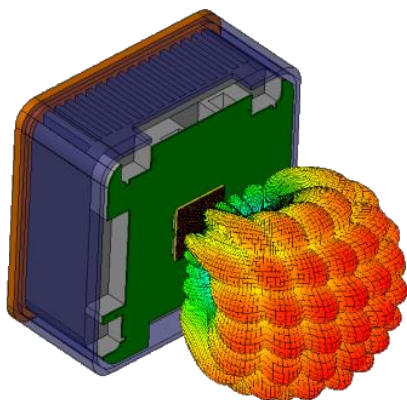
Е-поле @ 90 ГГц



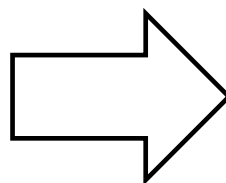
КНД @ 90 ГГц

- **Поддерживается полный цикл проектирования систем связи:**
 - Системы связи < 6 ГГц (Wi-Fi, Bluetooth, LTE, 5G NR sub-6 GHz)
 - Системы связи миллиметрового диапазона (5G mm-Wave, 60GHz Wi-Fi)
- **Проектирование и моделирование устройств (пользовательские устройства, точки доступа и базовые станции)**
 - Набор инструментов для электромагнитного моделирования полных моделей сложных устройств, включающих несколько фазированных антенных решеток
- **Моделирование крупномасштабной инфраструктуры методом трассировки лучей**
 - Моделирования распространения сигнала внутри и снаружи помещения с учетом всех физических эффектов
 - Планировка сетей, оценка покрытия

I. Моделирование устройств (FEM/FDTD)



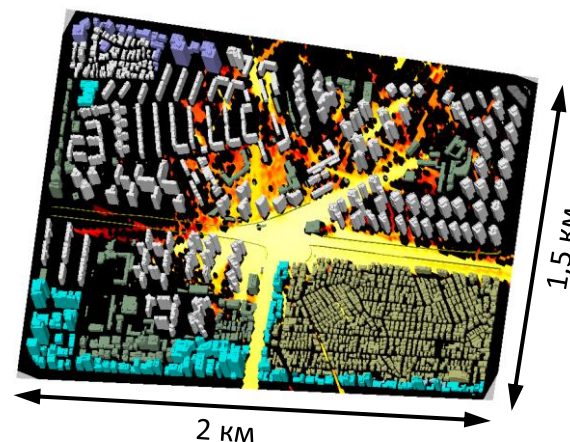
5G Точка доступа
(антенная решетка мм
диапазона)



Импорт
результатов ЭМ
моделирования

II. Моделирование систем связи (трассировка лучей)

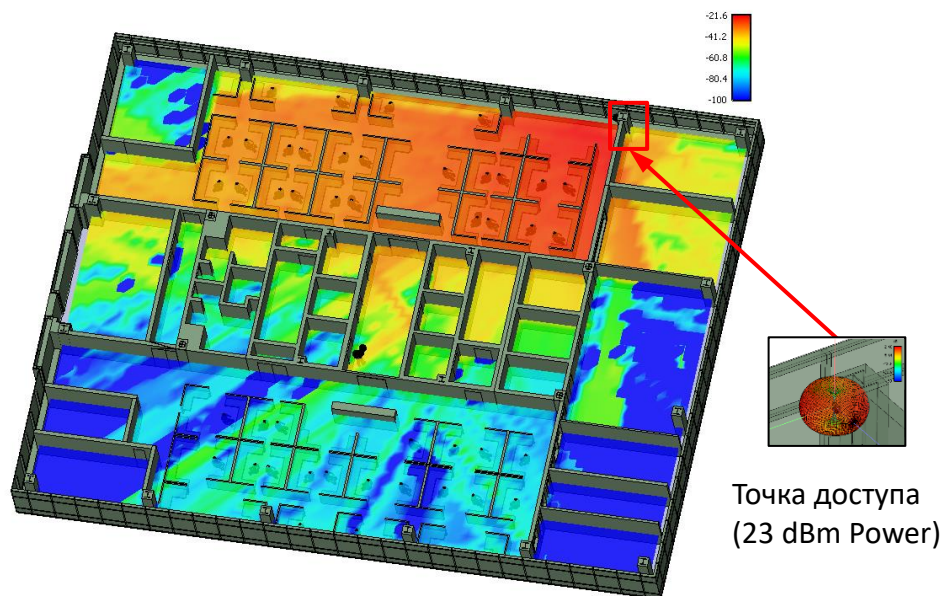
- Импорт параметров антенн из результатов ЭМ моделирования или из базы (диполь и т.п.)
- Загрузка 3-х мерных карт городской инфраструктуры (Shapefiles)



■ Результаты коммуникационного анализа:

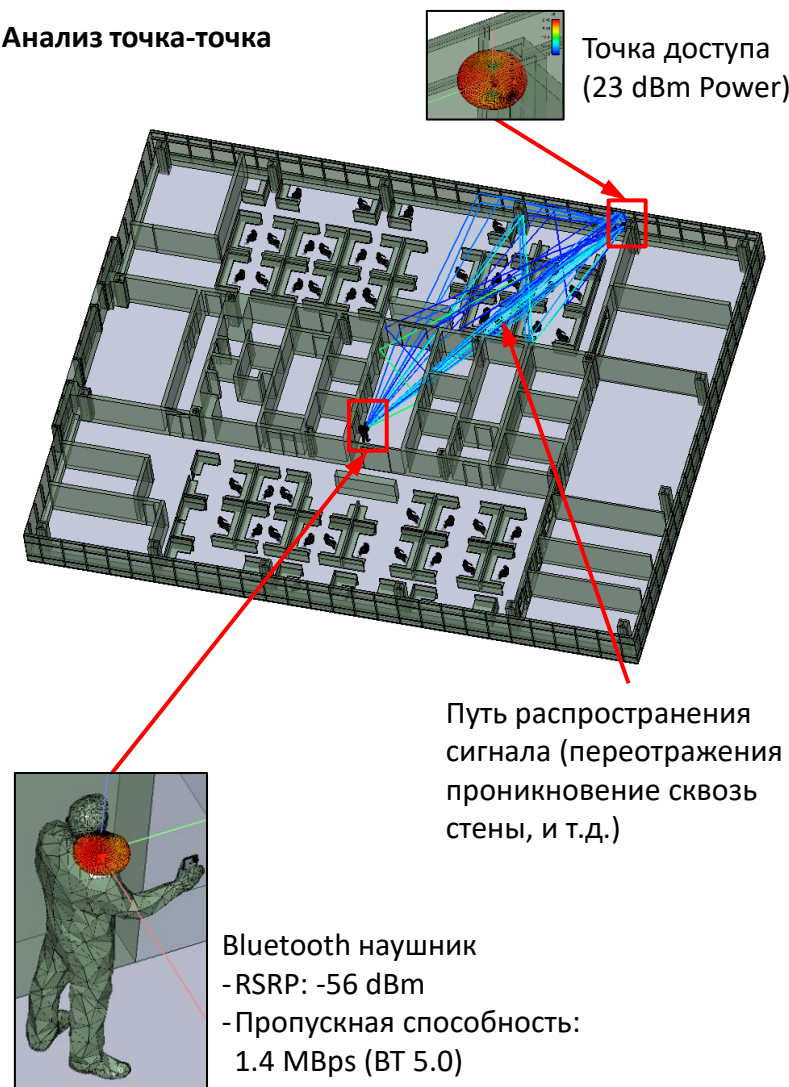
- Мощность принятого пилотного сигнала (RSRP)
- Пропускная способность канала передачи данных (Мбит/сек) для стандартов:
 - Bluetooth 4.0/4.1/4.2/5.0,
 - Wi-Fi IEEE 802.11 n/ac/ax,
 - Wi-Max,
 - LTE,
 - 5G NR.

Покрывтие точка-область (распределение RSRP на высоте 1.5 метра)



Bluetooth локальная сеть внутри офисного помещения

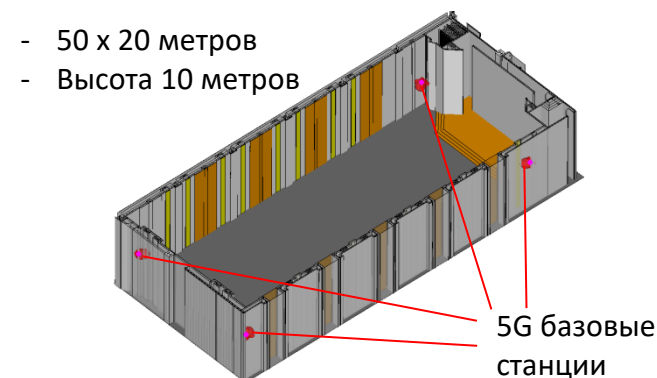
Анализ точка-точка



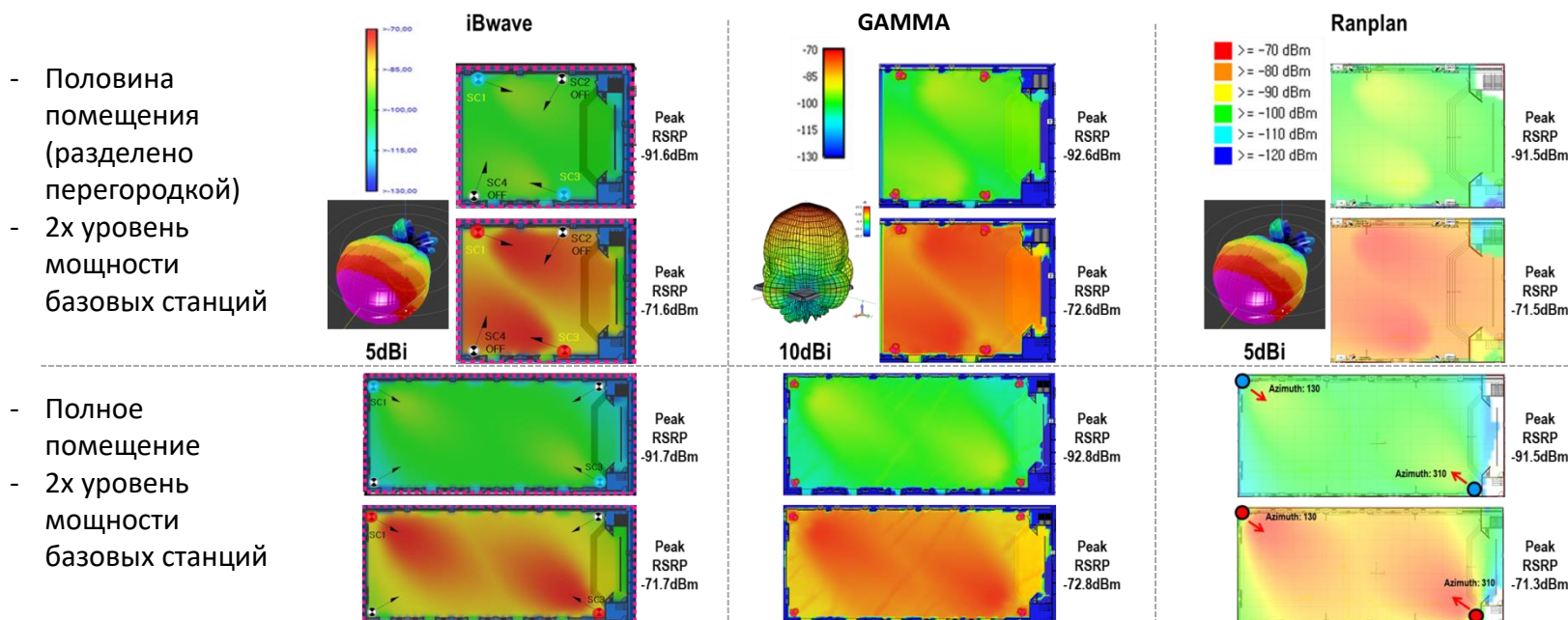
■ Тестирование приватной сети 5G:

- Приватная сеть: 4x 5G базовых станций расположены на стенах
- Промоделировано 4 варианта конфигурации сети:
 - Полное/половинное покрытие помещения
 - 2x Мощность излучаемого сигнала
- Сравнение распределения RSRP на высоте 1.5m над уровнем пола с коммерческими программами iBwave¹⁾ и Ranplan Wireless²⁾
 - Хорошее совпадение для всех вариантов,
 - Разница в пиковых значениях RSRP < 1.5 dBm (2%)

План помещения



Распределение RSRP



1) In-building wireless network design & deployment solutions by iBwave <https://ibiwave.com>

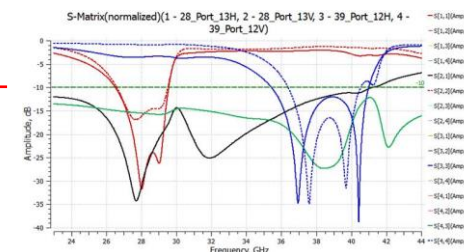
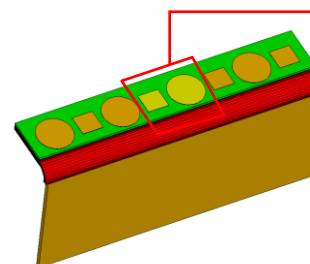
2) In-Building and Outdoor Wireless Network Design | Ranplan Wireless <https://www.ranplanwireless.com/gb/>

Цели

- Разработать mm-Wave антенную решетку для работы в сетях 5-го поколения
- Подготовка к прототипированию и измерениям: спроектировать РЧ линию и делитель мощности для каждой подрешетки

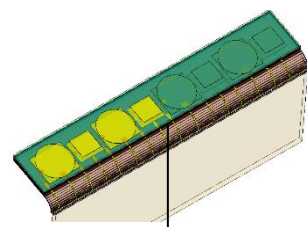
Спецификации:

- Многослойная гибкая печатная плата
- 1x4 28GHz/39GHz двух-диапазонная двойной поляризации антенная решетка
- Компактный размер

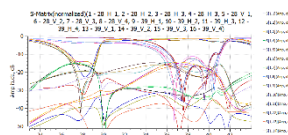


Широкая полоса, изоляция >20 dB между поляризациями и диапазонами

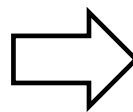
1. Дизайн и оптимизация излучателей



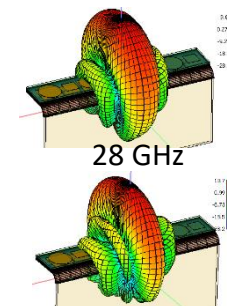
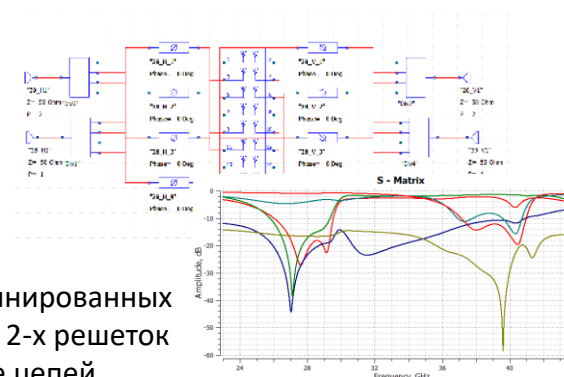
Линия передачи на гибкой печатной плате



S-параметры по всем элементам

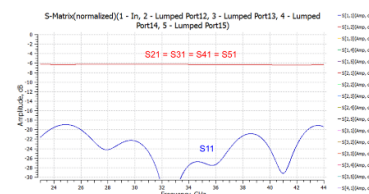
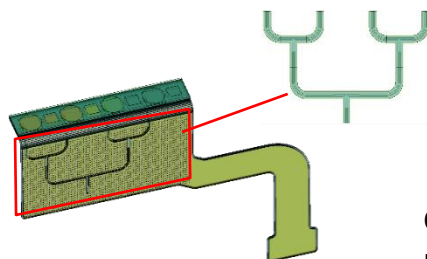


Анализ комбинированных S-параметров 2-х решеток в анализаторе цепей



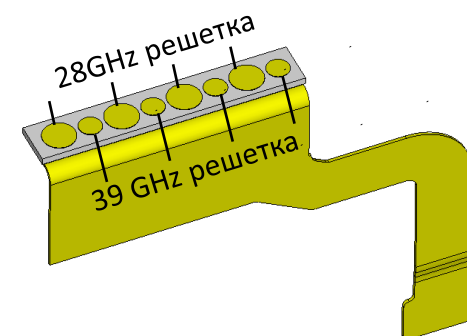
Array Realized Gain

2. Оптимизация решеток по диапазонам



Согласование и изоляция широкополосного делителя

3. Дизайн делителя мощности



4. Итоговый дизайн

**СПАСИБО
ЗА ВНИМАНИЕ!**