

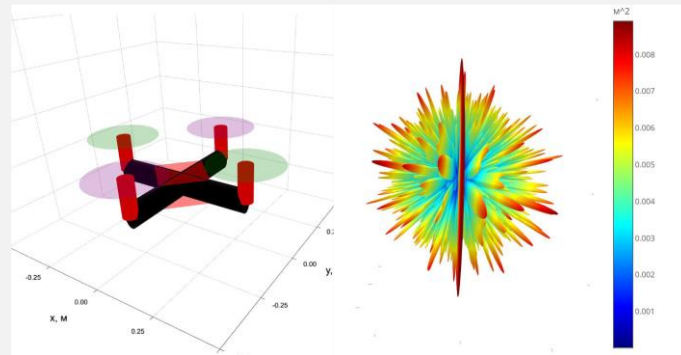


**ЭКСПОНЕНТА**  
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ  
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

# Engee

для разработки  
радиотехнических систем

Санкт-Петербург, 2025



# Создание современных РТС – вызовы и решения



## Вызовы

- Сложные сценарии и многофункциональность
- Продвинутые вычислители, уникальные алгоритмы
- Разнородные инженерные команды
- Дорогие натурные испытания



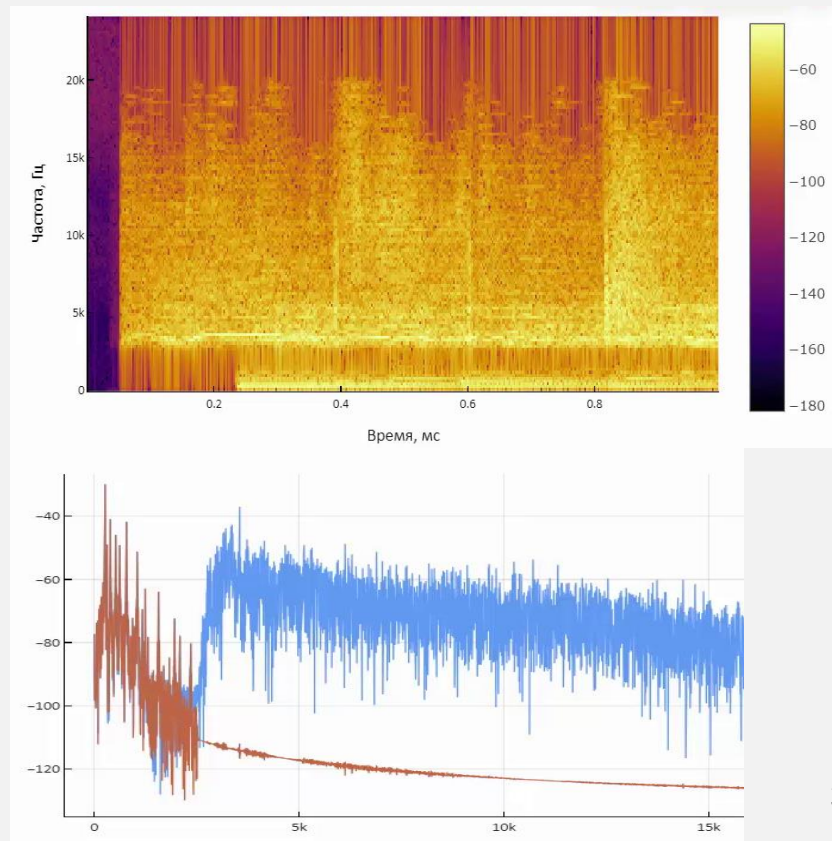
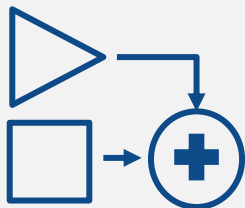
## Решения

- Всеобъемлющее моделирование
- Ранняя верификация и виртуальные испытания
- Автоматизация тестирования и генерации кода
- Цифровизация процесса разработки

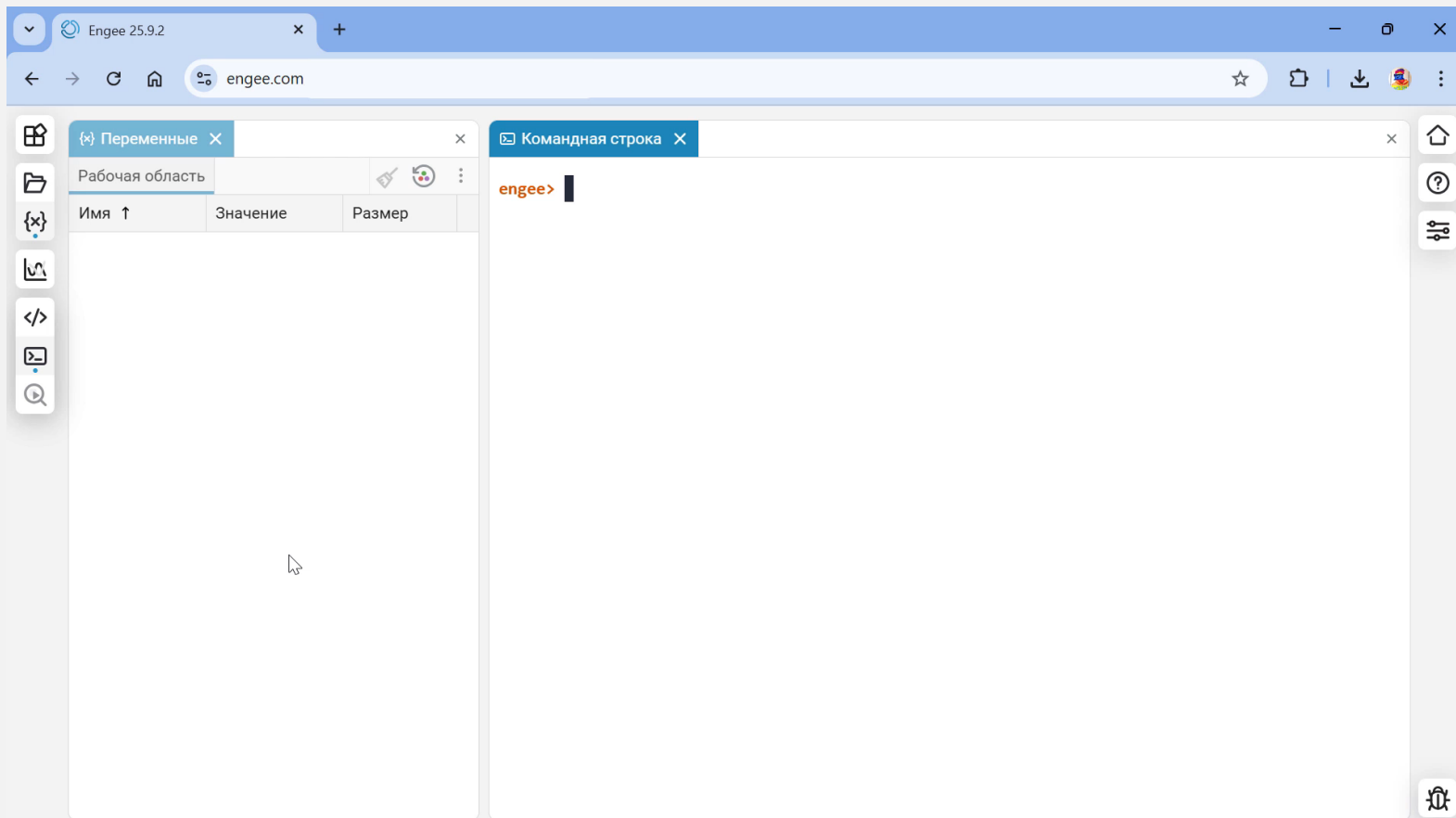


# ЦОС – основа разработки РТС

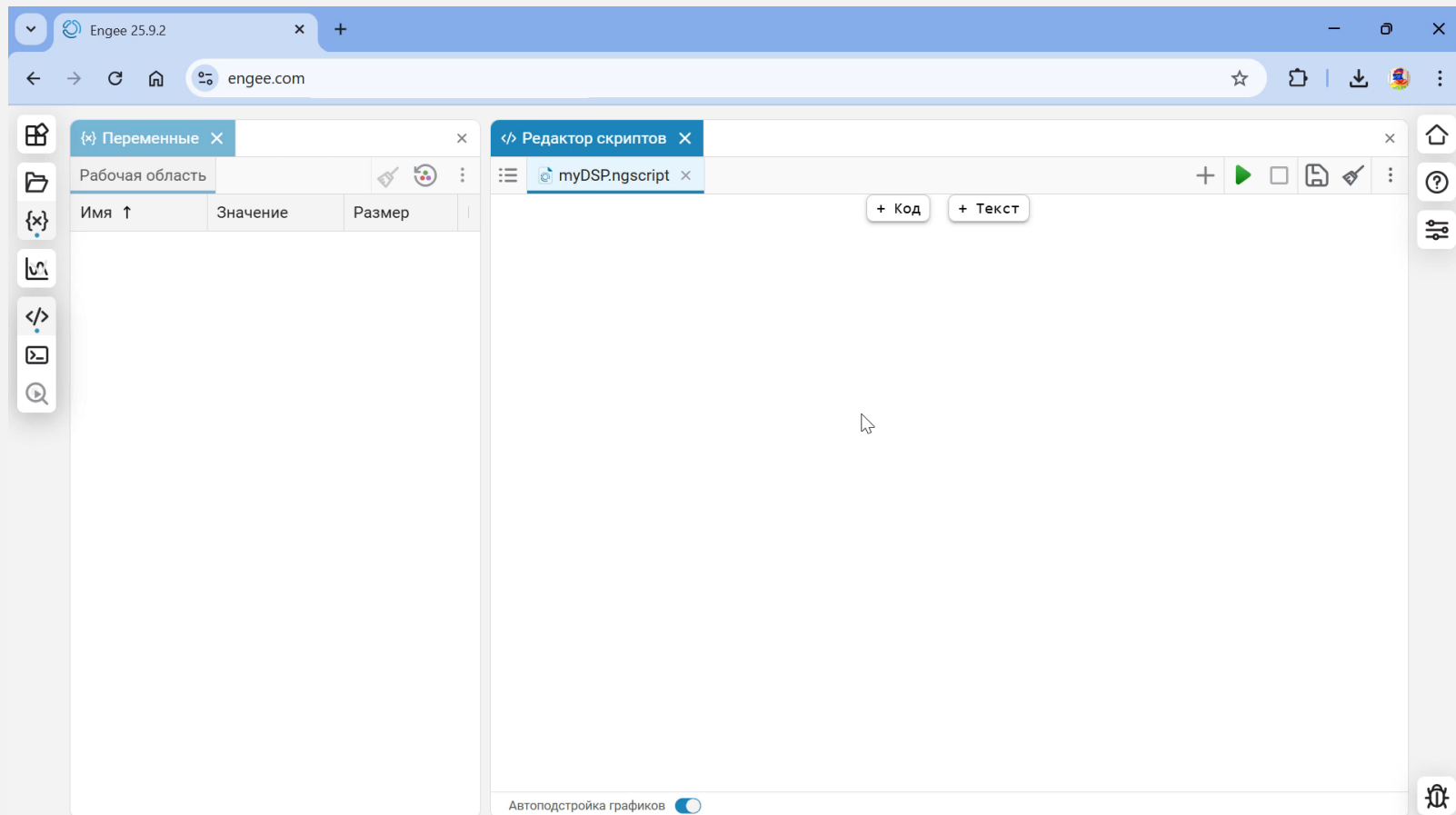
- Тестовые сигналы
- Визуализация во времени
- Спектральный анализ
- Цифровая фильтрация
- Динамическое моделирование
- Прототипы в «железе»



# Работа в командной строке



# Обработка сигнала в скриптах Engage



# Интерактивное приложение – редактор фильтров



## Информация о фильтре

Тип ИХ фильтра: **КИХ**

Тип АЧХ фильтра: **ФНЧ**

Порядок: 50

Частота дискретизации: 48000 Гц



## Тип АЧХ фильтра

- ☒ Фильтр нижних частот
- ☐ Фильтр верхних частот
- ☐ Полосовой фильтр
- ☐ Режекторный фильтр

## Метод синтеза фильтра

- ☐ БИХ **Баттерворта**
- ☒ КИХ **Равномерный**

## Порядок фильтра

- ☒ Минимальный порядок
- ☐ Произвольный порядок:

## Параметры

Коэффициент плотности сетки частоты

## Требования по частоте

Размерность

Частота дискретизации  $F_s$

Частота пропускания  $F_{pass}$

Частота подавления  $F_{stop}$

## Требования по амплитуде

Единицы измерения

Пульсации ( $A_{pass}$ )

Подавление ( $A_{stop}$ )

# Простая модель системы ЦОС

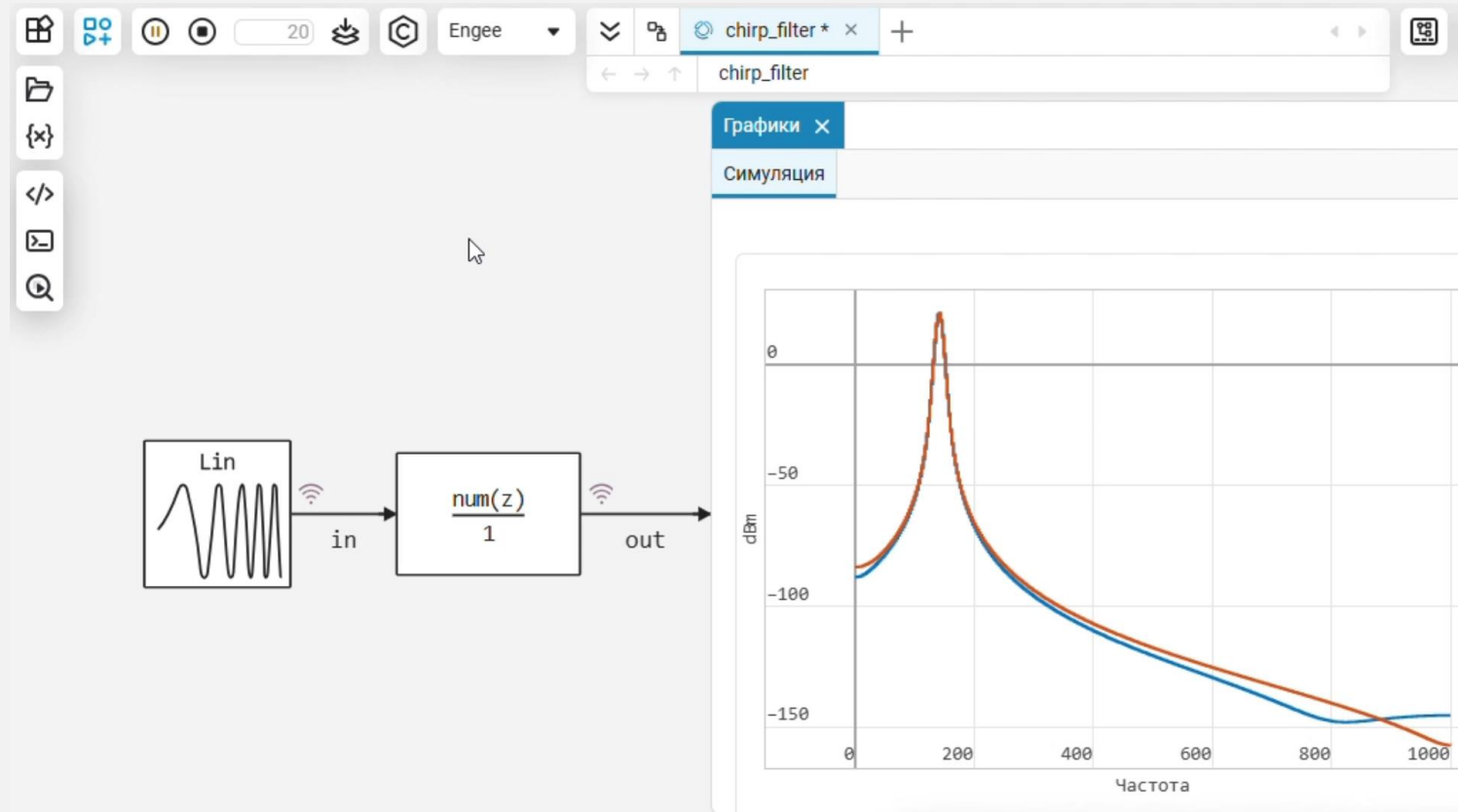
The screenshot displays the Engage 25.9.2 software interface. The top browser window shows the URL `engee.com`. Below it, a secondary window titled `newmodel` is open. On the left side, a sidebar contains a vertical menu with icons for file management, code editing, and search. A **Библиотека** (Library) panel is open, featuring a search bar with the placeholder text `Введите название блока` and a list of system components:

- ▶ Часто используемые
- ▶ Базовые
- ▶ Конечные автоматы
- ▶ Физическое моделирование
- ▶ Аэрокосмические системы
- ▶ Оборудование
- ▶ Обработка сигналов
- ▶ Пользовательские библиотеки
- ▶ РИТМ
- ▶ РЧ компоненты
- ▶ Радары
- ▶ Системы связи
- ▶ Системы связи 5G
- ▶ Системы управления
- ▶ Фазированные антенные решетки

The bottom status bar includes the text `Готов Euler 1c 0%`, a zoom level of `220%`, and icons for camera and zoom functions.



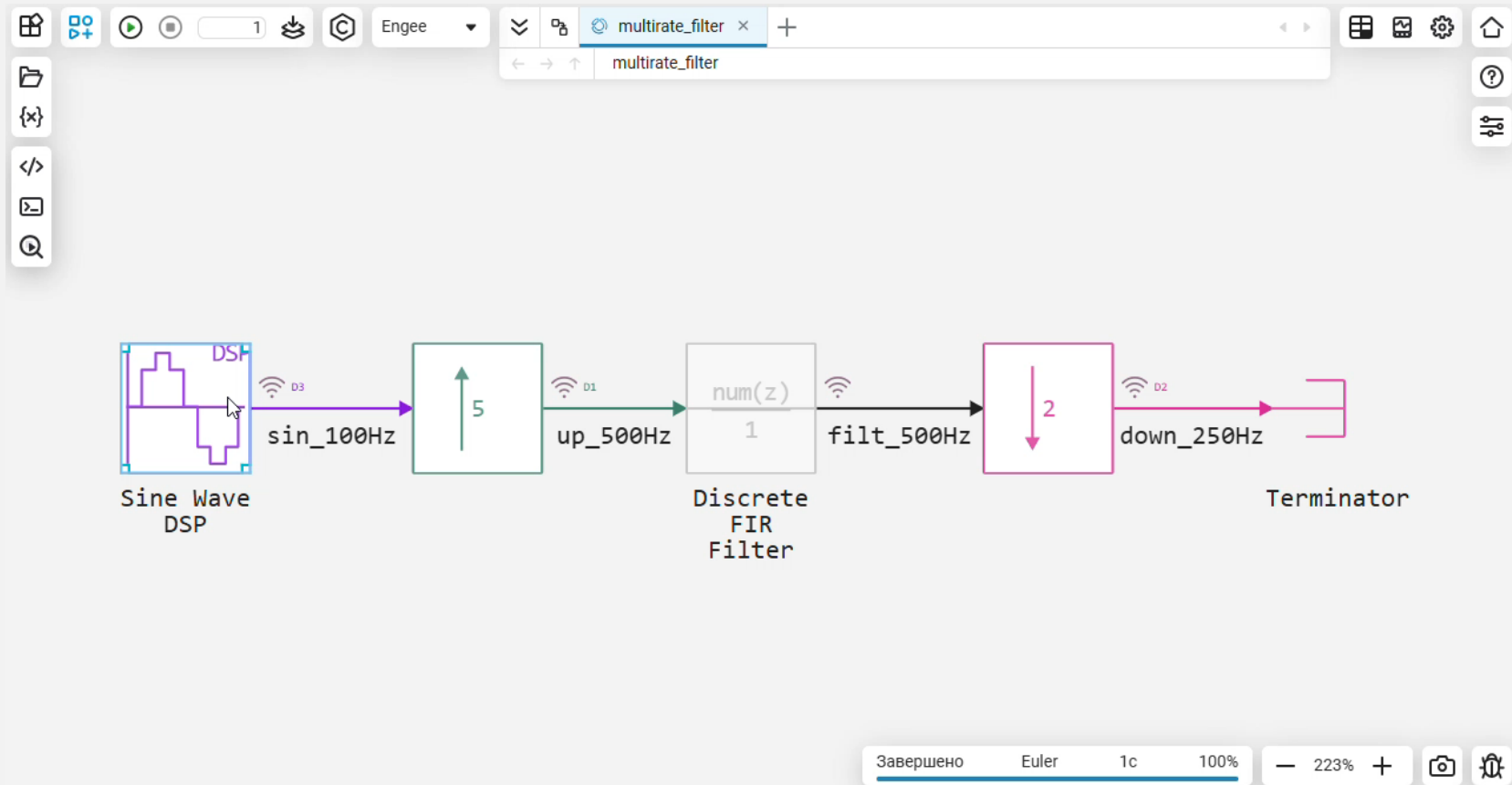
# Спектральный анализ в среде моделирования







# Многоскоростная обработка в моделях Engage

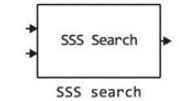
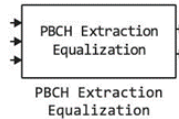
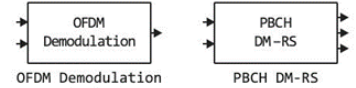
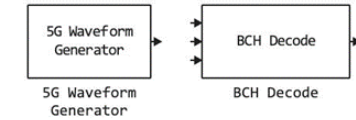




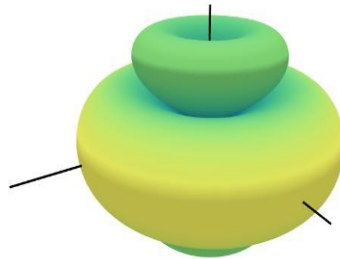
# Моделирование радиотехнических систем и узлов

- Системы связи физического уровня
- Функции и блоки стандарта 5G
- Модели систем радиолокации и радионавигации

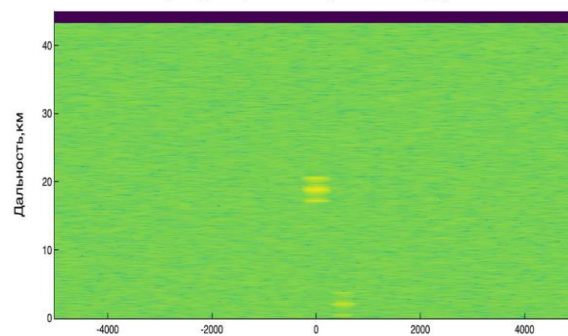
## 5G



3D Directivity Pattern

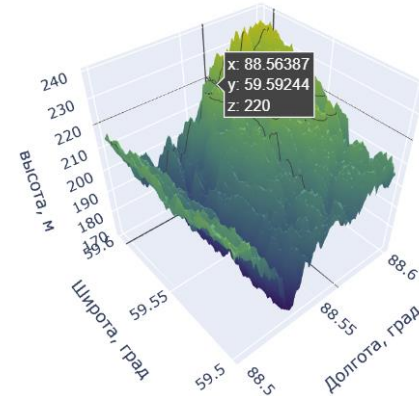


Карта доплеровских и временных задержек

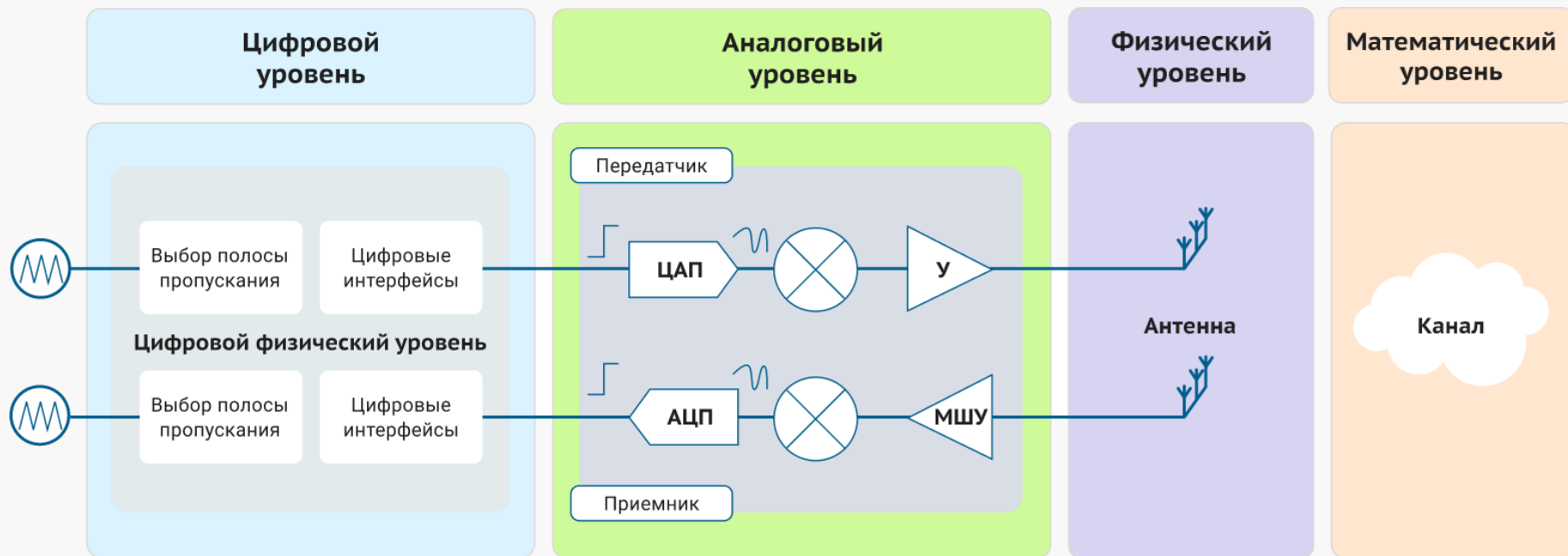


Скорость км/ч

Мощность, дБм



# Радиотехнические системы: структура



# Расчёт уравнения радиолокации



Engage Расчет уравнений радиолокации

Расчет уравнений радиолокации

Расчет уравнений радиолокации | Версия: 2.0

Оцениваемый параметр: Дальность

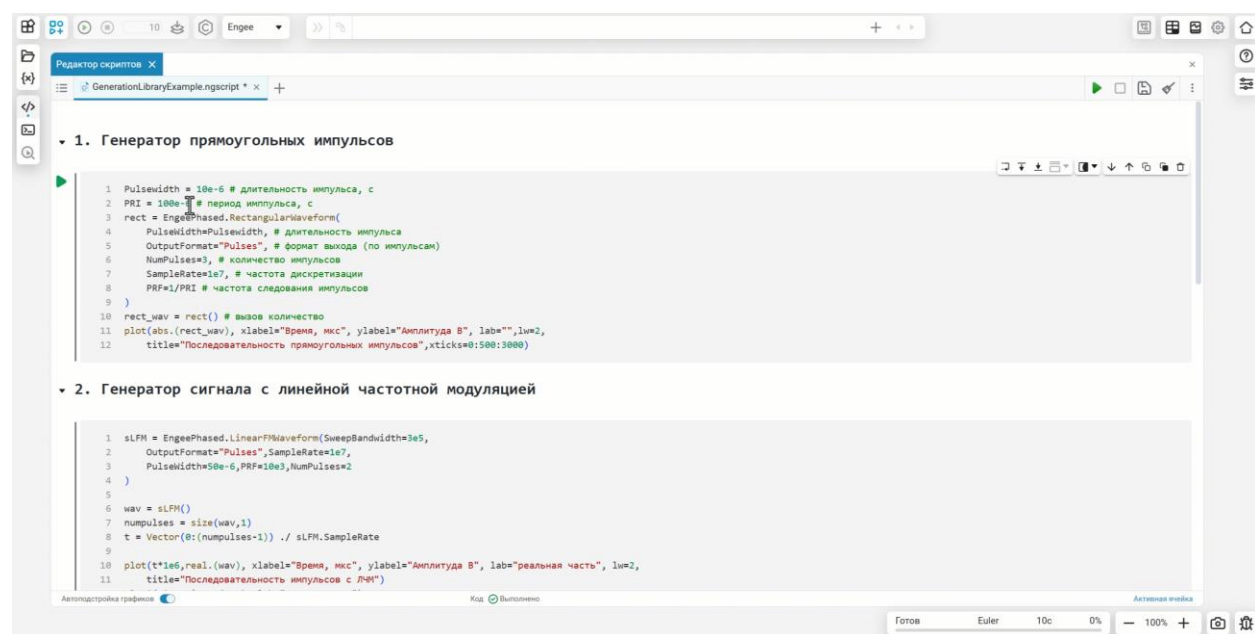
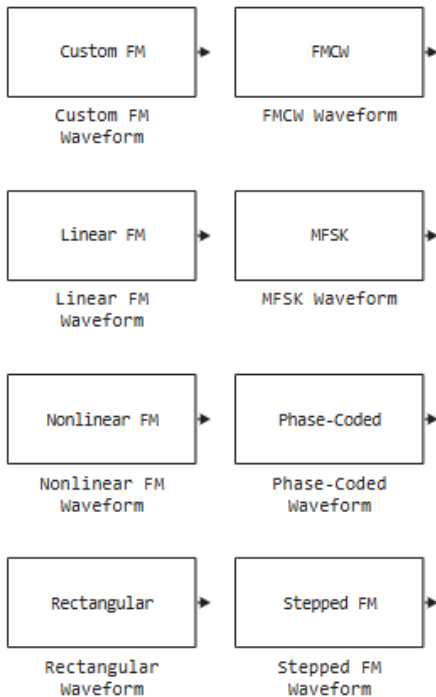
▼ Тактико-технические характеристики радара

▼ Параметры обнаружения для расчета ОСШ

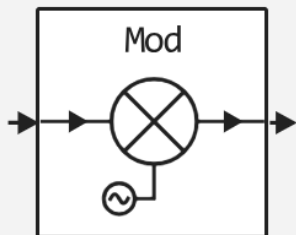
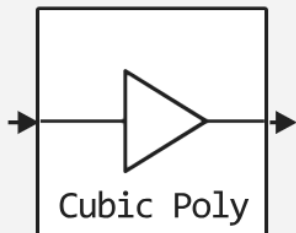
Дальность действия РЛС: 10.317 KM

# Цифровой уровень: генераторы сигнала

## Генераторы сигналов



# Аналоговый уровень: РЧ-тракт



## ▼ Основные

Модель

cubic

Линейное усиление мощности (дБ)

Тип нелинейности

Точка пересечения по  
интермодуляции 3-го порядка по  
выходу (дБм)

✓ cubic  
ampm  
modified-rapp  
saleh  
Int

## ▼ Основные

Модель

cubic

Линейное усиление мощности (дБ)

0

Тип нелинейности

OIP3

Точка пересечения по  
интермодуляции 3-го порядка по  
выходу (дБм)

IIP3  
✓ OIP3  
IP1dB  
OP1dB  
IPsat  
OPsat

## ▼ Основные

Тип смесителя

mod

Преобразование усиления для  
смесителя (дБ)

Преобразование частоты

Частота несущей радиосигнала  
(Гц)

Частота гетеродина (Гц)

✓ mod  
demod  
iqmod  
iqdemod

1e9

Float64

1e8

Float64

## ▼ Основные

Сдвиг по фазе гетеродина (град)

0

Int64

Тип нелинейности 3-го порядка

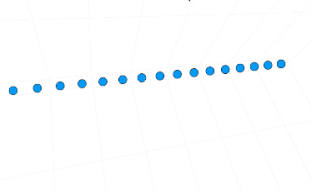
OIP3

Точка пересечения по  
интермодуляции 3-го порядка по  
выходу

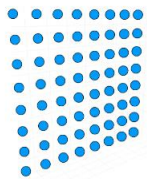
IIP3  
✓ OIP3  
IP1dB  
OP1dB  
IPsat  
OPsat

# Физический уровень: антенные решетки

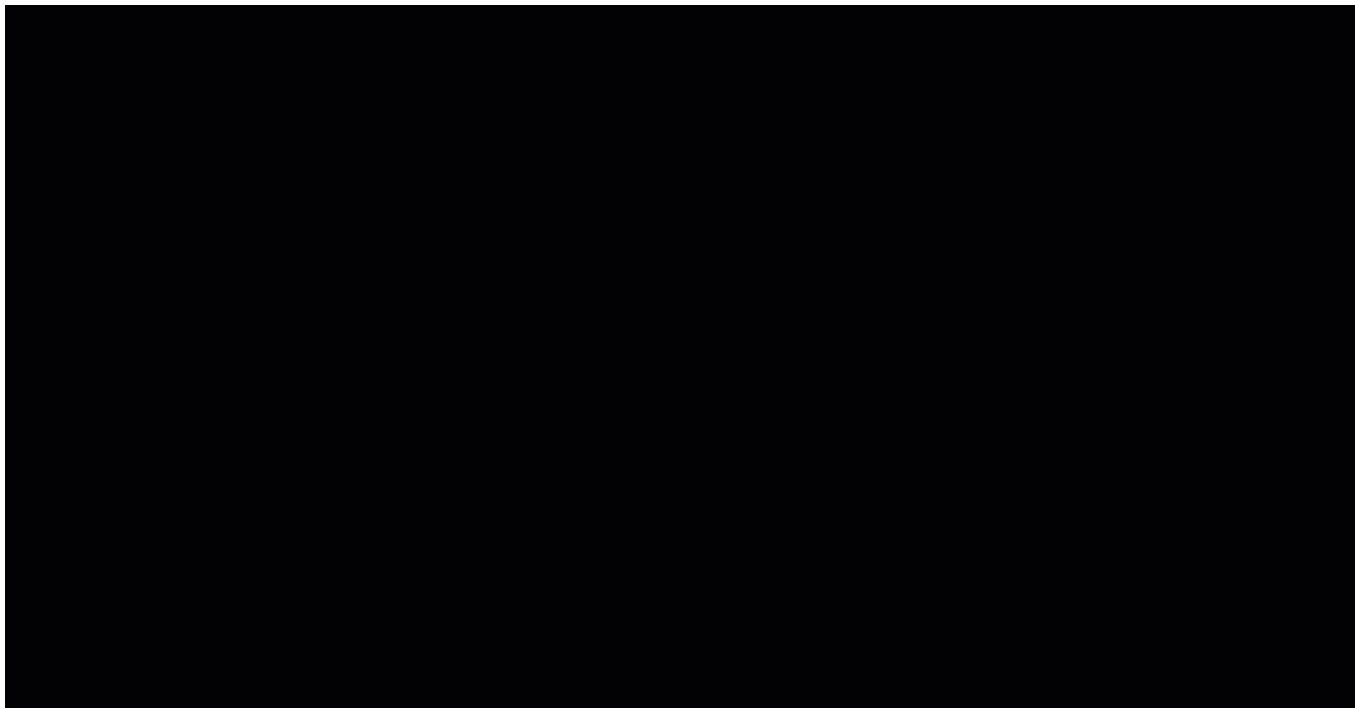
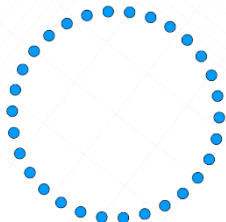
Линейная антенная решетка



Прямоугольная антенная решетка

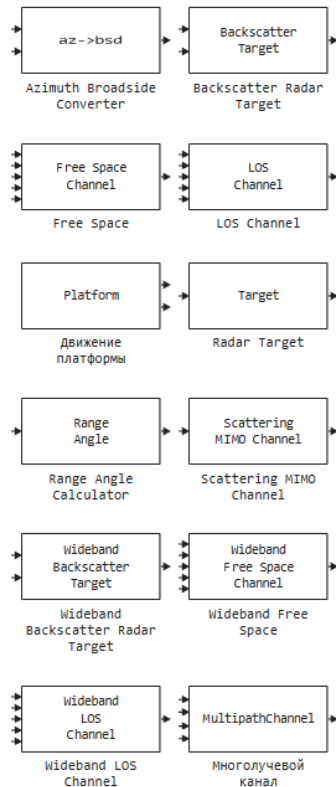


Кольцевая антенная решетка



# Математический уровень: среда распространения и цель

## ▼ Среда и цель



## Редактор скриптов

LOS\_Ex\_new.ngscript \* x

## ▼ Моделирование распространения радиочастотных сигналов

В этом примере показано, как моделировать несколько эффектов распространения радиочастот. К ним относятся потери на пути в свободном пространстве, атмосферное затухание из-за дождя, тумана и газа, а также многолучевое распространение из-за отражения от земли. Это обсуждение основано на рекомендациях серии Р Международного союза электросвязи ITU-R. ITU-R - это сектор радиосвязи организации, а серия Р посвящена распространению радиоволн.

## ▼ Введение

Для правильной оценки работы радаров и систем беспроводной связи очень важно понимать условия распространения сигнала. На примере радара мощность принимаемого сигнала моностатического радара определяется уравнением дальности действия радара:

$$P_r = \frac{P_t G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4 L}$$

где  $P_t$  - передаваемая мощность,  $G$  - коэффициент усиления антенны,  $\sigma$  - поперечное сечение радара цели (RCS),  $\lambda$  - длина волны и  $R$  - расстояние распространения. Все потери при распространении, кроме потерь в свободном пространстве, включены в этот термин. В оставшейся части примера показано, как оценить этот член в различных сценариях.

## ▼ Потери пути в свободном пространстве

Сначала вычисляются потери пути в свободном пространстве как функция расстояния

Автоматическая настройка графиков

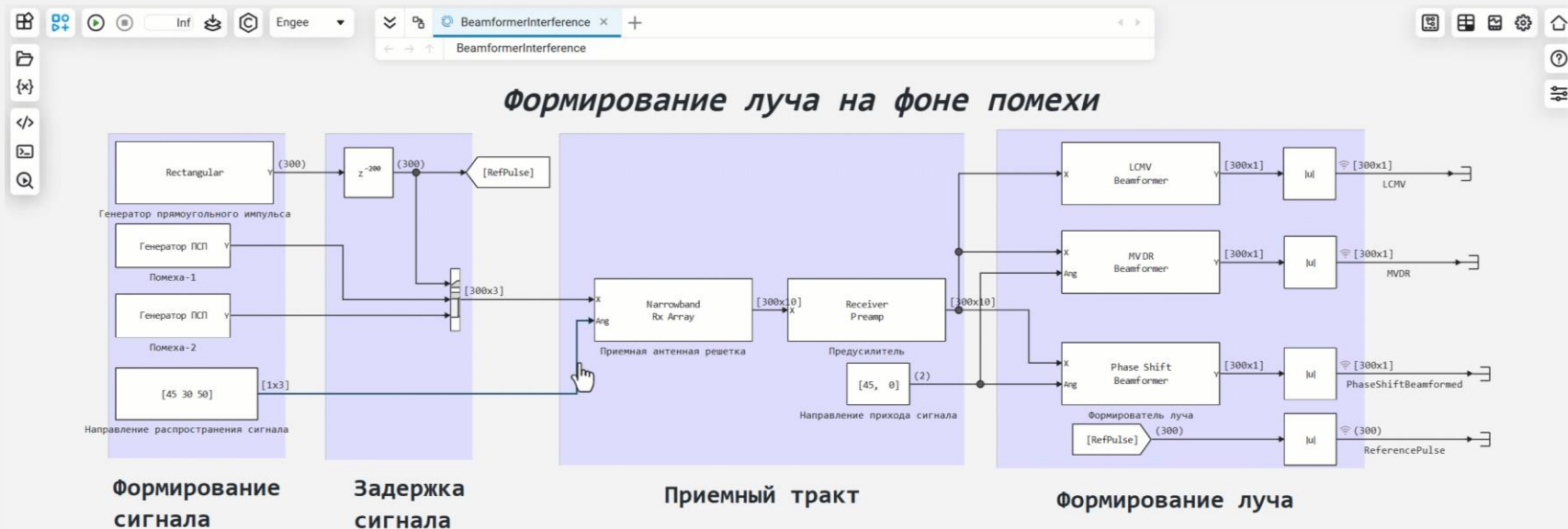
Код ☒ Выполнено

Последняя выполненная ячейка

Активная ячейка



# Динамические модели радиотехнических комплексов



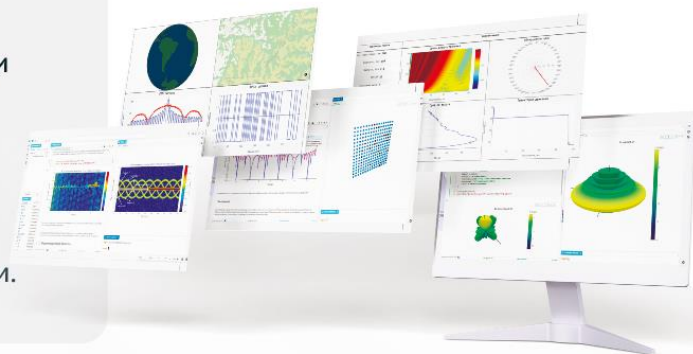
## Характеристики:

- Антенна представляет собой 10-элементную линейную эквидистантную антенную решетку с расстоянием в половину длины волны между элементами.
- Отношение сигнал/шум каждой антенны равно 50 дБ
- Рабочая частота системы составляет 100 МГц.
- Направление помех - 30 и 50 градусов

# САПР ENGEE PTC

Система автоматизированного проектирования для моделирования, алгоритмизации и отладки аналого-цифровых трактов микроэлектроники и радиотехнических систем (PTC).

Создается в кооперации компаний ООО «РИТМ» – разработчика инженерной среды Engee, а также ЦИТМ «Экспонента» – ведущего интегратора инженерных программно-аппаратных средств для модельно-ориентированного проектирования с многолетним опытом.



**250+**

Разработчиков и инженеров  
предметных областей



Привлечение ведущих  
научных школ РФ



Верификация передовыми  
предприятиями отрасли

# Цель создания САПР Engее РТС



## Цель создания САПР Engее РТС

Импортозамещение программного и аппаратного обеспечения зарубежных вендоров (MathWorks, Keysight (Agilent), Siemens, Rohde&Schwarz, National Instruments и подобных им) в части проектирования и отладки микроэлектронных и радиотехнических систем.

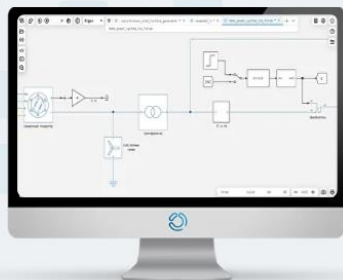


Работы ведутся в рамках субсидии Минпромторга России на финансовое обеспечение в области средств производства электроники от 14 октября 2024 года № 23-67 771-835-Р согласно Постановлению Правительства Российской Федерации от 25 октября 2023 года № 1780.

## Наши партнеры



# Состав САПР Engее PTC



**Engее**

Моделирование радиотехнических систем

## Интеграция с аппаратными стендами



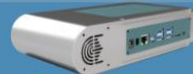
**КПМ РИТМ**

Имитационные, управляющие и испытательные стенды для отладки технических систем на базе КПМ РИТМ



**РИТМ SDR USRP**

Многофункциональная SDR-платформа, созданная с учётом потребностей инженеров, разработчиков и исследователей



## Пользовательские устройства



## СФ-блоки



# Генерация исполняемого кода



 **Модель Engage**



Отвязанный,  
портируемый,  
читаемый Си-код



Verilog



Микроконтроллеры  
и встраиваемые процессоры

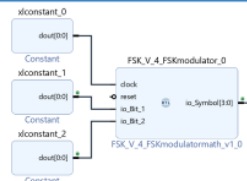
Оптимизация под конкретные  
аппаратные платформы

`engage.generate_code()`



- `TlDimmerCode`
- `main.c`
- `dimmer_model_firing_angle_controller.c`
- `dimmer_model_firing_angle_controller.h`
- `dimmer_model_firing_angle_controller_verification`

```
/* Main code generation */
void generate_code(void)
{
    /* Generate the main code */
    generate_code_main();
    /* Generate the controller code */
    generate_code_controller();
    /* Generate the verification code */
    generate_code_verification();
}
```



ПЛИС

Поддержка целочисленной  
арифметики

**fx**



# СФ-блоки для ПЛИС и СНК

## Каталог верифицированных СФ-блоков

Это основа DFE-решений (digital-front-end) для таких систем, как LTE, 4G, 5G NR, MIMO, Wi-Fi, DVB-S2/S2x и других.



Входит в реестр отечественного ПО

DPDex-IP



FFTex-IP



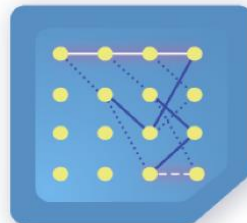
PC-CFRex-IP



OFDMex-IP



Viterbiex-IP



DVB-S2/T2 FEC  
ENCODERex





# PITM SDR USRP



Многофункциональная SDR-платформа, созданная нами с учётом потребностей как инженеров и разработчиков, так и научно-исследовательских групп.



Набор встроенных уникальных IP-ядер, позволяющих быстро и эффективно решать задачи в области связи, радиолокации и анализа спектра

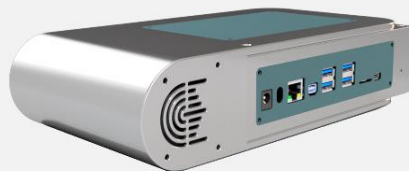


Ядро платформы – мощная связка ПЛИС Zynq UltraScale+ и радиочастотного модуля ADRV9009.

Позволяет обрабатывать сигналы в диапазоне от 75 МГц до 6 ГГц с ультраширокой полосой пропускания до 450 МГц на передачу и до 200 МГц на приём



Гибкая архитектура, упрощающая интеграцию пользовательских алгоритмов и масштабирование до систем MIMO 8×8



# Интеграция с аппаратными стендами

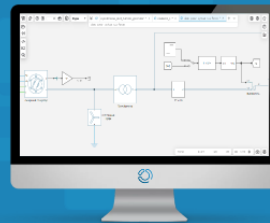
## КПМ РИТМ

Российский программно-аппаратный комплекс для моделирования систем в реальном времени.

В составе САПР Engae PTC:

- Имитатор радиочастотного канала
- Запуск цифровых алгоритмов и моделей на встраиваемых вычислителях в режиме жёсткого реального времени
- Подключение внешних устройств по цифровым и аналоговым интерфейсам
- Многоканальный захват данных  
Генерация СВЧ-сигналов

 Engae

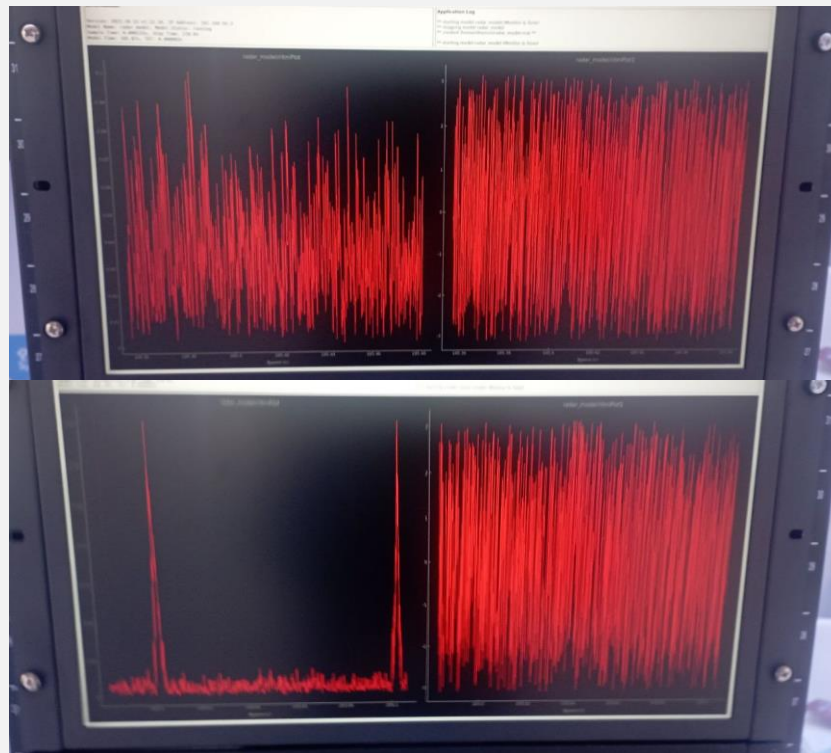


 **КПМ РИТМ**





# Имитатор ФЦО: на основе КПМ РИТМ



# Заключение

САПР Engae PTC - комплексное аппаратно-программное решение для моделирования, алгоритмизации и отладки аналого-цифровых трактов микроэлектронной и радиотехнической аппаратуры

