



МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ В ENGEE

Даниил Тимофеев

Лаборатория ЦМвЭ ЦИТМ «Экспонента»

Моделирование в электроэнергетике

Отложенное время

- 01** Среда для разработки сложных технических систем не привязанная к сторонним аппаратным комплексам
- 02** Проведение исследований, разработки и моделирования
- 03** Проведение технических расчетов и анализа



Реальное время

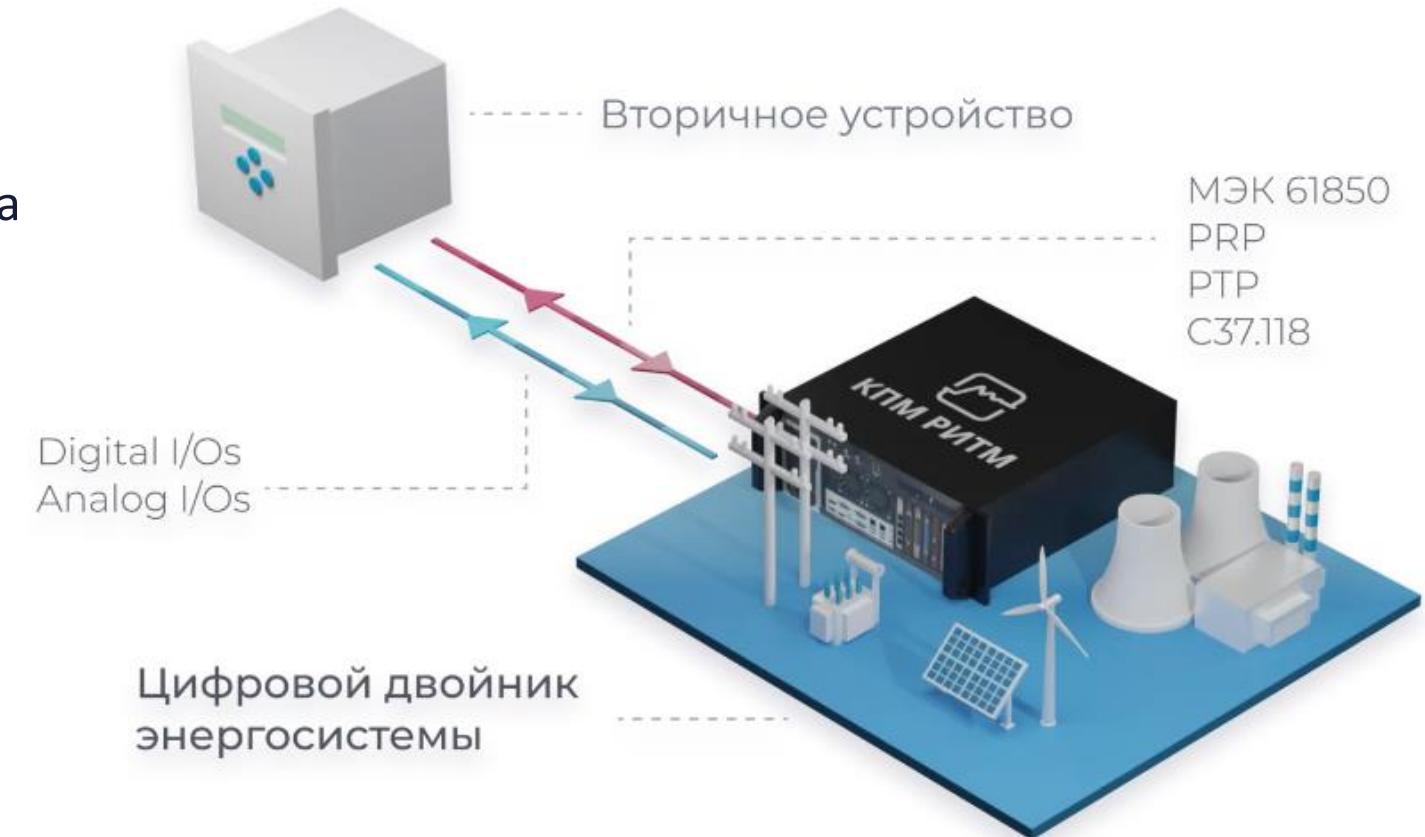
- 01** Использование программно-аппаратных комплексов моделирования в реальном времени
- 02** Различные виды тестирования вторичных или первичных устройств, систем и оборудования
- 03** Быстрое прототипирование, отладка при разработке



Сценарии использования продуктов

Тестирование вторичных устройств

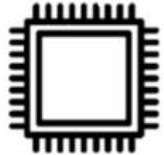
Предварительное испытание и отладка прототипа разрабатываемого устройства, подготовка устройства к сертификации



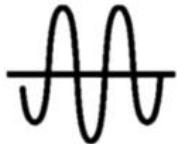
Моделирование в электроэнергетике



Многоядерный ЦПУ
для моделей ЭЭС и
алгоритмов (от 50 мкс)



ПЛИС
для модели силовой
электроники (от 20 нс)



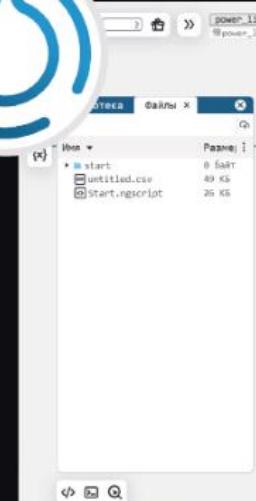
Интерфейсы связи
"Медь", МЭК61850, С37.118,
Aurora и т.д.



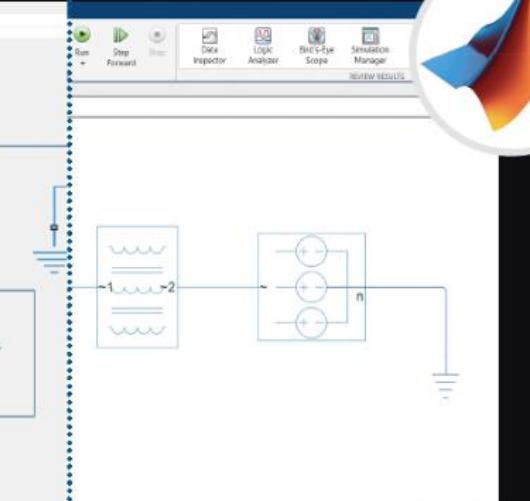
ОС реального времени
для обеспечения
жесткого РВ



Российская среда
моделирования **Engee**

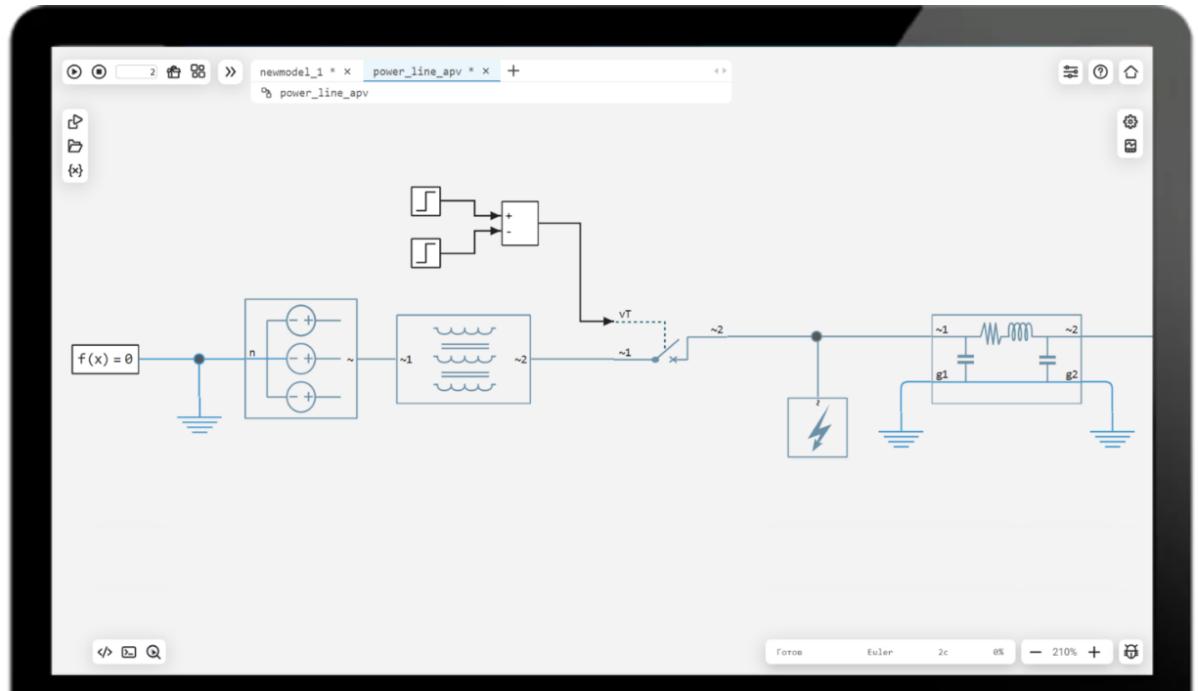


Среда моделирования
MATLAB/Simulink



Engee

Российская среда для технических
исследований и модельно-ориентированного
проектирования



Engee – среда для разработки сложных систем



Графики

Визуализируйте и исследуйте результаты



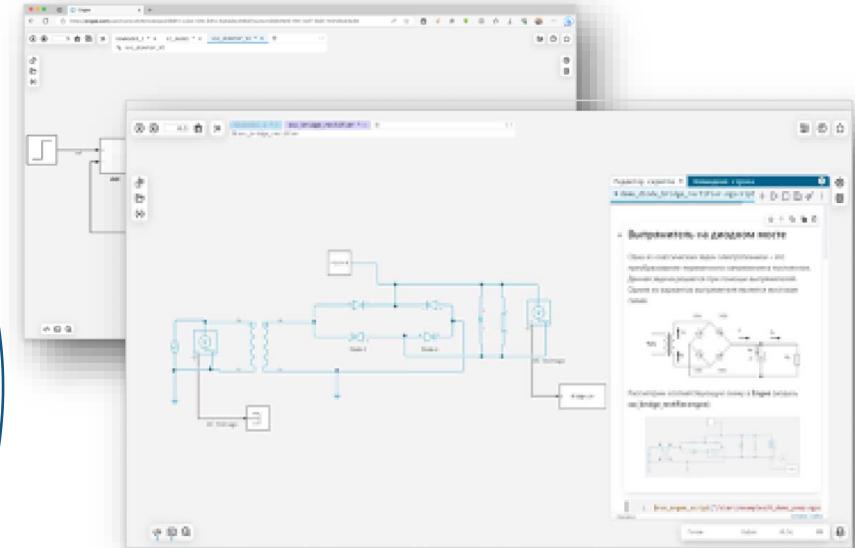
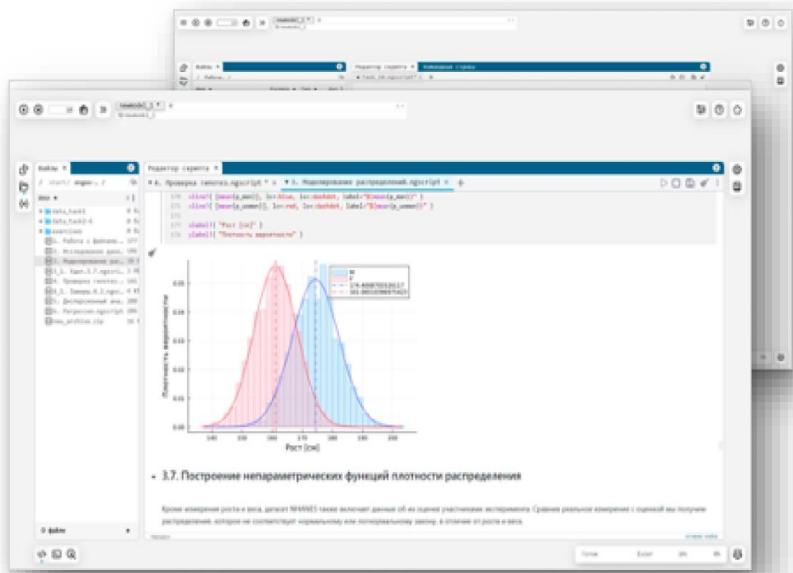
Анализ данных

Исследуйте, моделируйте и анализируйте данные



Программирование

Создавайте скрипты, функции и классы

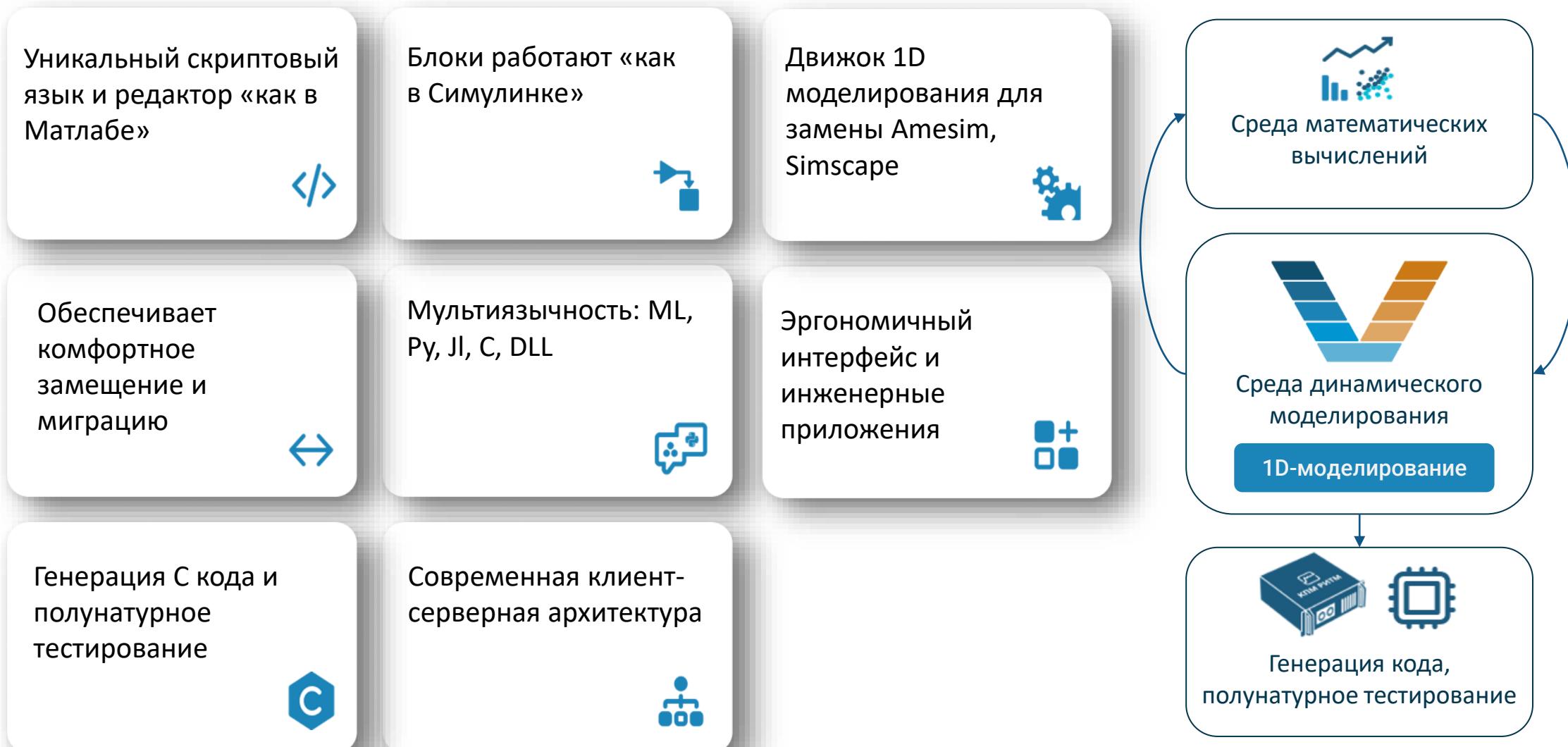


Мультидоменное моделирование алгоритмов и физических систем

Многоуровневое моделирование для построения сложных архитектур систем

Автоматическая генерация кода, непрерывное тестирование

Engee - наиболее полная альтернатива



Среда технических расчетов Engee

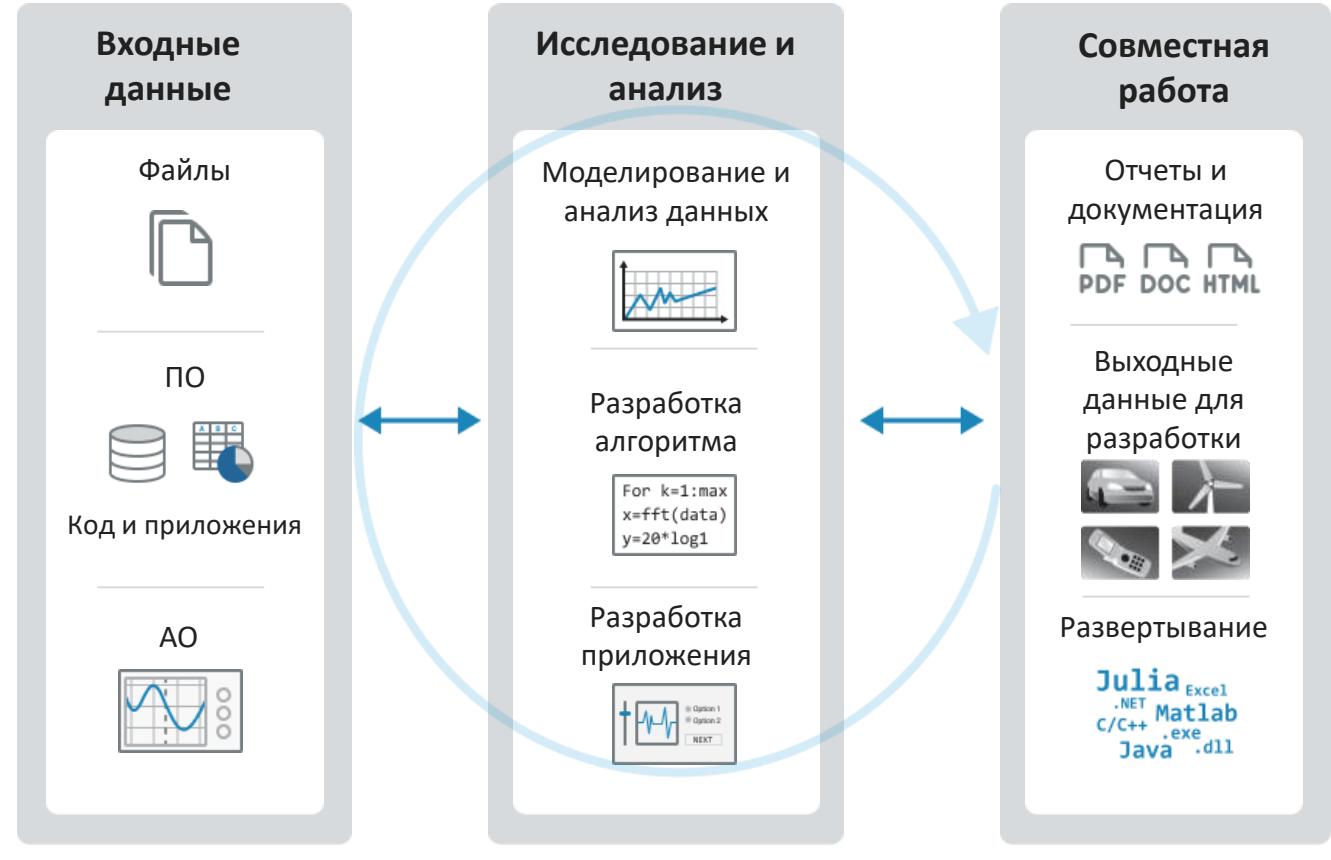
Среда, созданная для инженерных исследований

Эргономичные интерактивные ноутбуки

Мультиязычность (Engee (jl), Python, MATLAB, C/C++, dll/lib)

Высокая скорость работы среды

Инженерная графика



Мультиязычность

Engee не изолирует пользователя проприетарным языком и открыт международному научно-техническому сообществу

Сейчас мы работаем в Engee (jl)

```
1 using Flux  
2 A = [1, 2, 3];
```

Переключимся на MATLAB

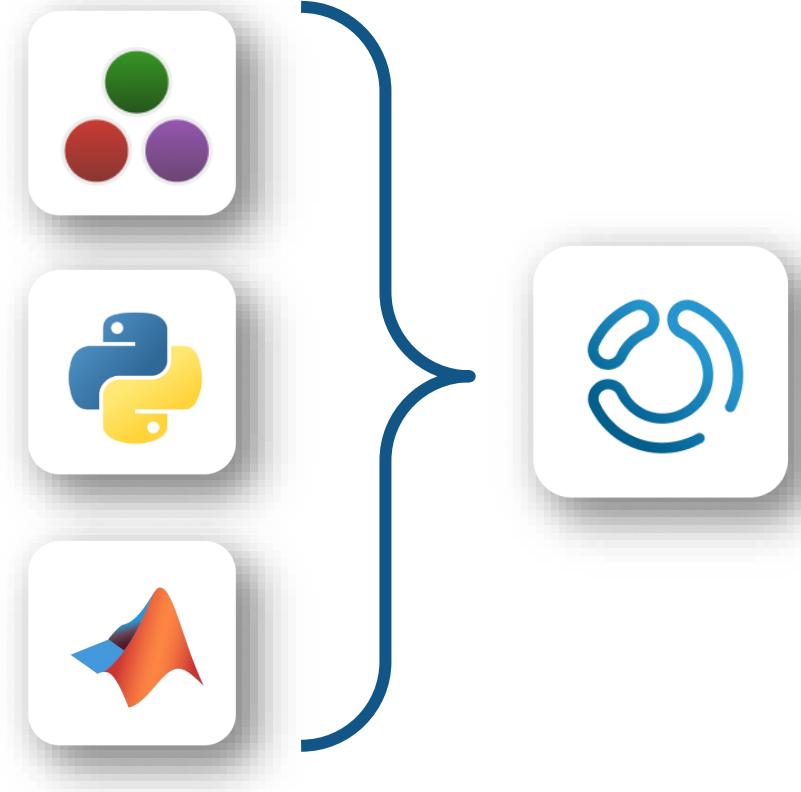
```
3 using MATLAB  
4 mat"A = [1, 2, 3]"
```

А теперь перейдем в Python

```
5 $py  
6 import numpy as np  
7 A = np.array([1, 2, 3])
```

И вернемся обратно в Engee (jl)

```
8 $jl
```



Среда динамического моделирования



Engee

Основа для МОП и графического моделирования с помощью привычных блок-схем из базовых и специализированных прикладных библиотек.

Многоуровневое моделирование для построения архитектур систем

Мультидоменное моделирование алгоритмов и физических систем



НЕПРЕРЫВНЫЕ
МОДЕЛИ

Системная динамика
Модели окружения



ДИСКРЕТНЫЕ
МОДЕЛИ

Цифровое управление
ЦОС
РЛС
Компьютерное зрение



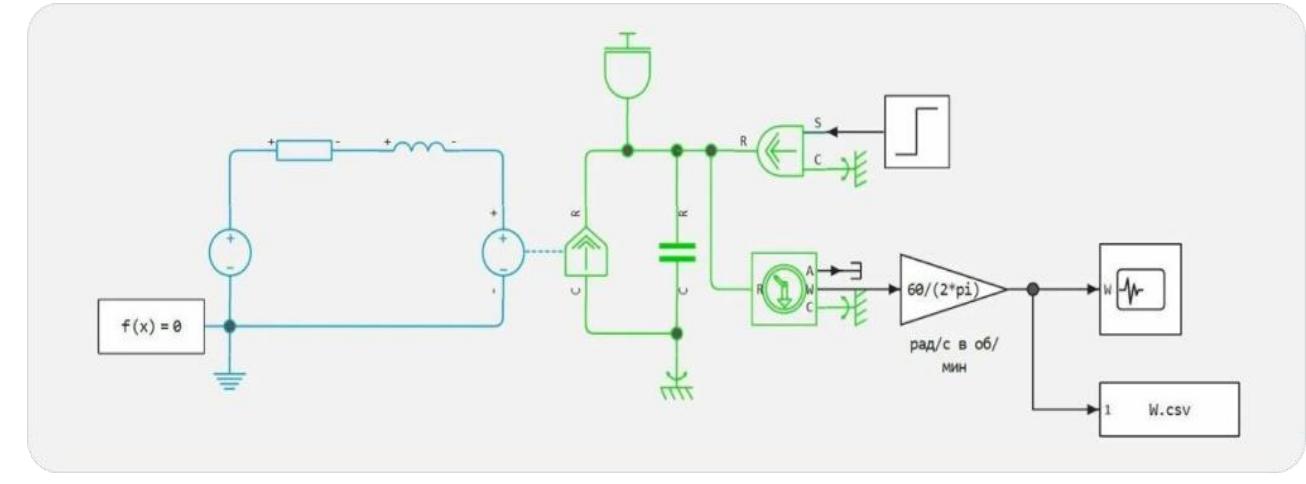
ФИЗИЧЕСКИЕ
МОДЕЛИ

Электроника
Механика
Гидравлика
Электрические машины



КОНЕЧНЫЕ
АВТОМАТЫ

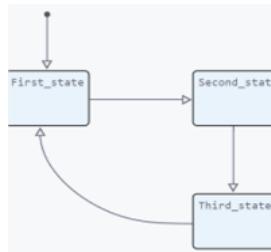
Управляющая логика
Обработка отказов
Режимы работы систем



Engee: моделирование алгоритмов управления и логики

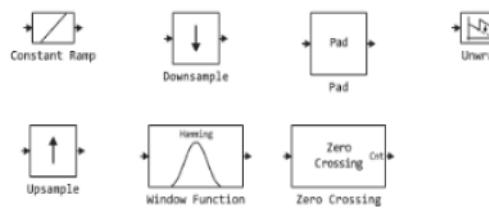
Конечные автоматы

Отработка отказов,
управляющая логика



Многоскоростные системы

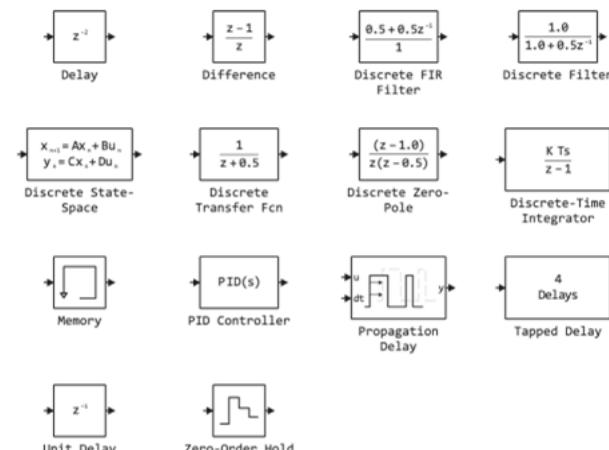
Подсистемы с разным временем
дискретизации



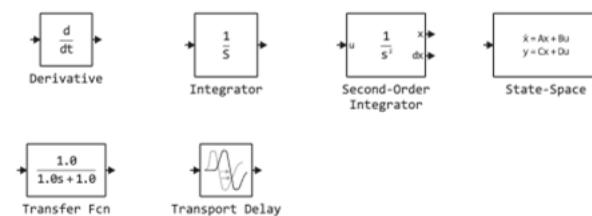
Гибридные системы

Дискретные и непрерывные

▼ Дискретные



▼ Непрерывные



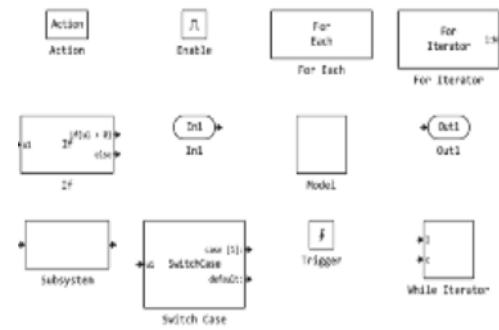
Пользовательские блоки

Интеграция кода С и
пользовательского кода



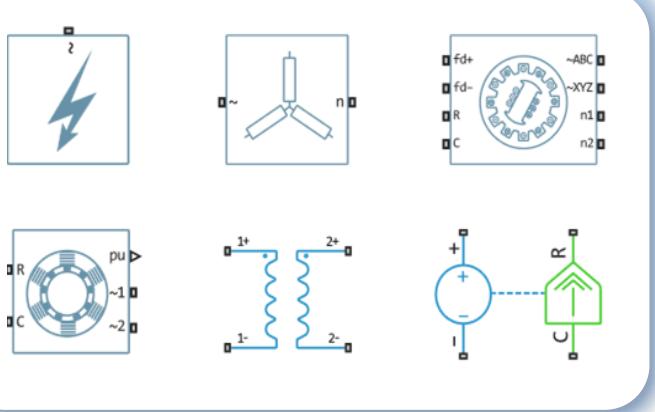
Архитектура моделей

Подсистемы, циклы, условные
конструкции

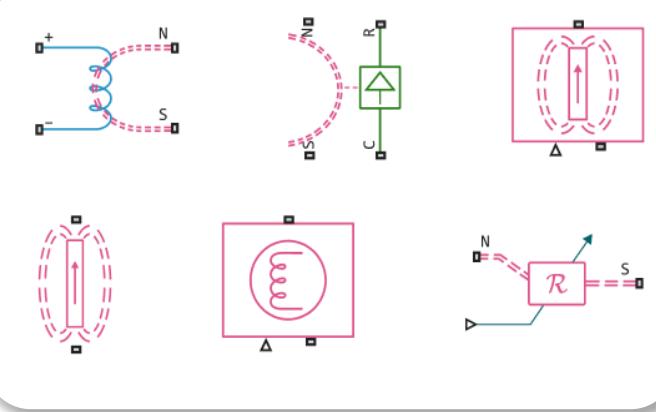


Engee: моделирование «физики»

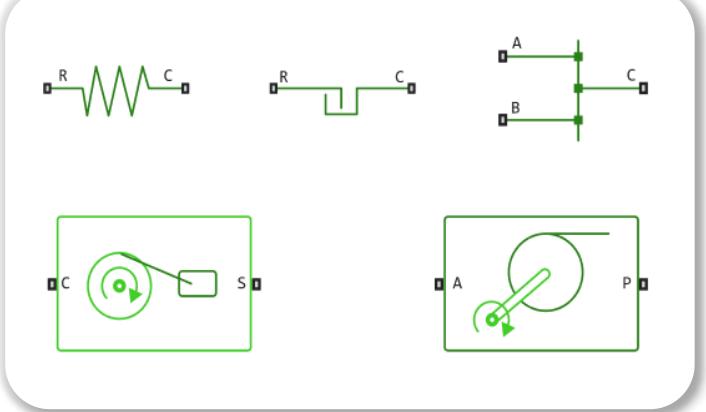
Электричество



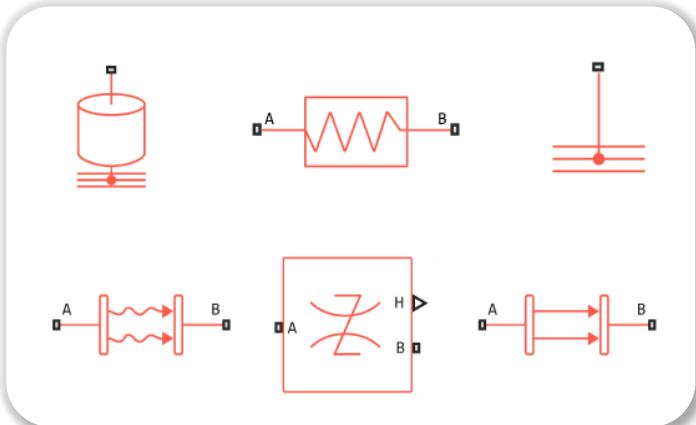
Магнетизм



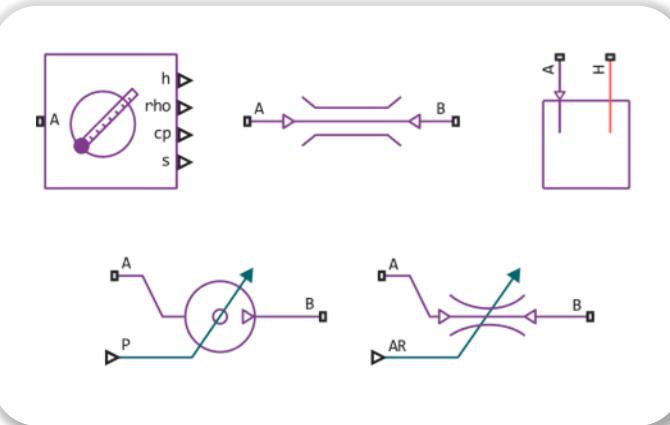
Механика



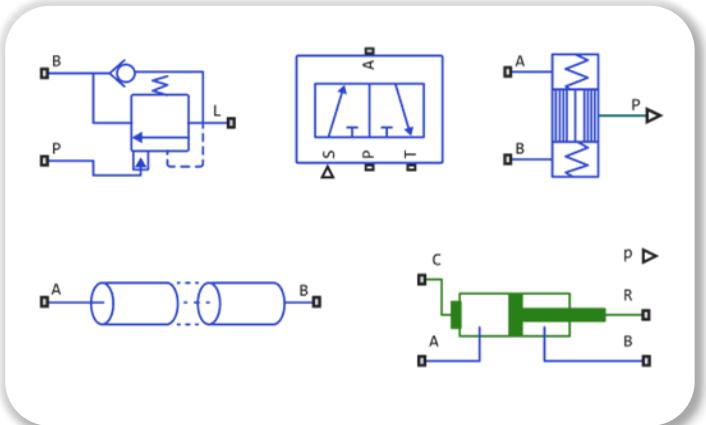
Теплотехника



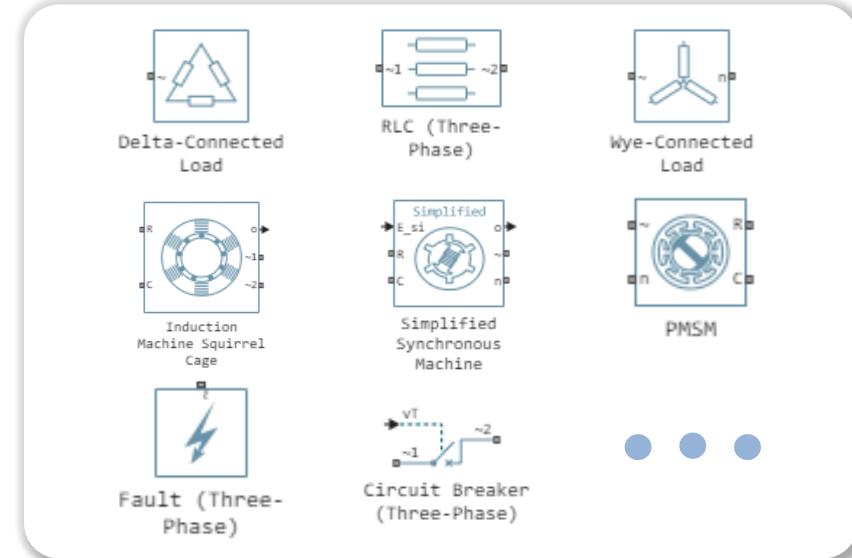
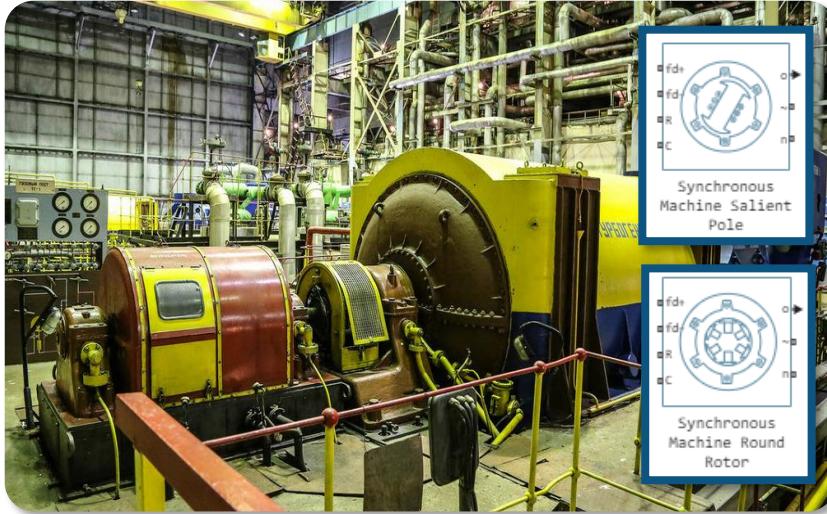
Газ



Гидравлика



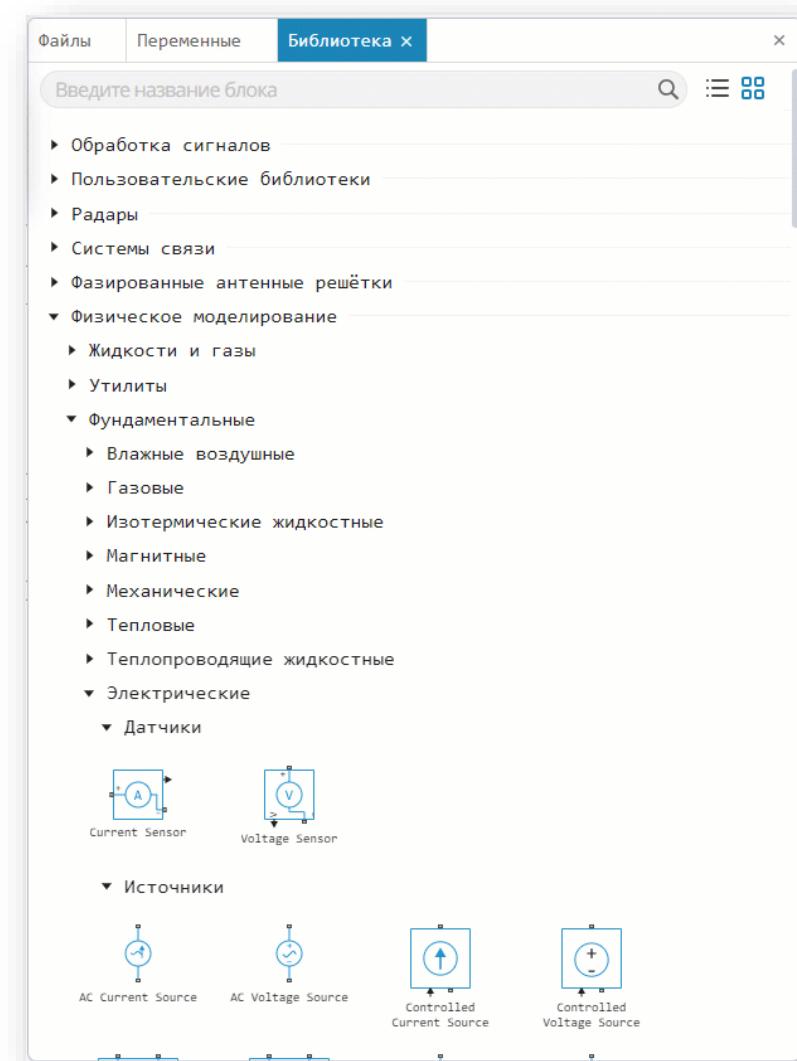
Блоки электроэнергетических элементов



Блоки электроэнергетических элементов

Что можно моделировать:

- ✓ Электроэнергетические сети и электромагнитные п/п
- ✓ Различные электрические машины и электромеханические п/п
- ✓ Трансформаторы с учетом нелинейности
- ✓ Модели передачи (различные виды ЛЭП) и потребления электроэнергии
- ✓ Элементы электроники
- ✓ Опыты КЗ и коммутации
- ✓ Системы управления и логики



Работает так же, как и Simulink

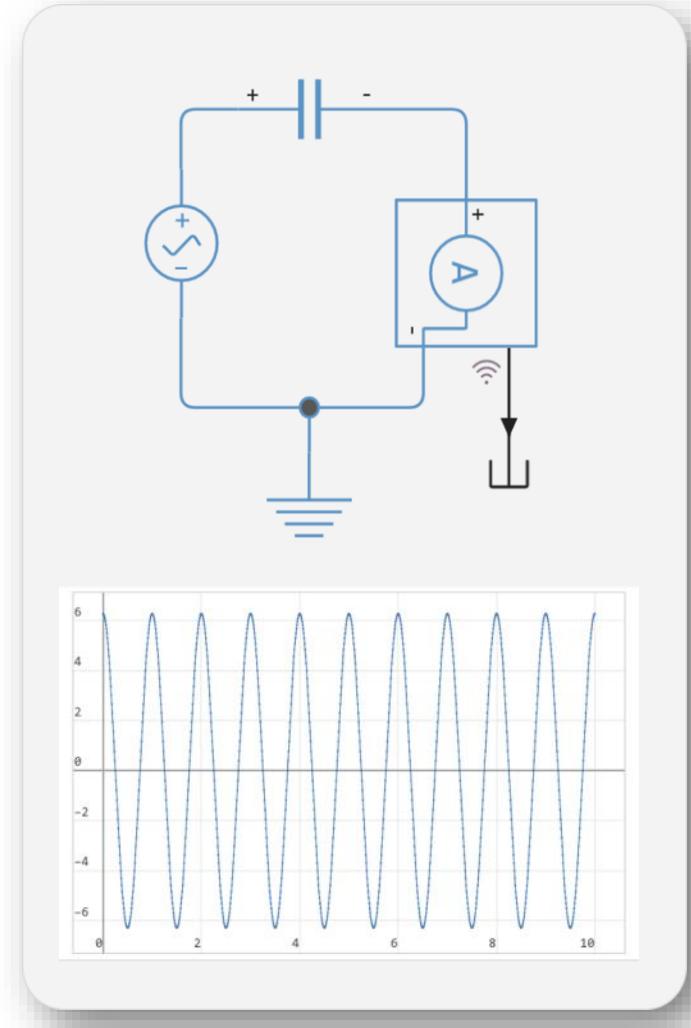
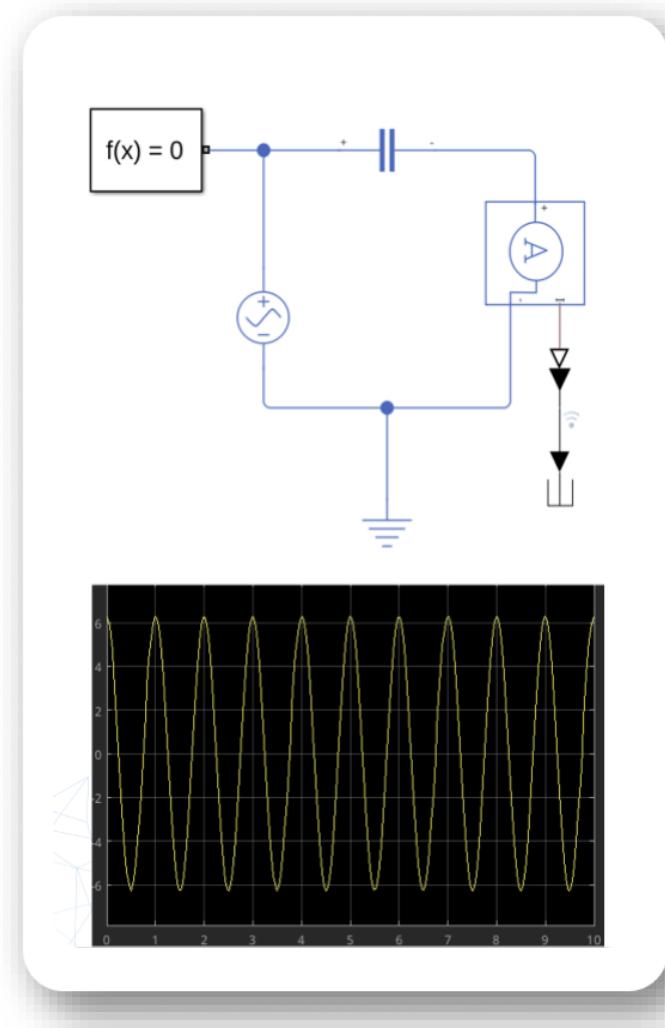
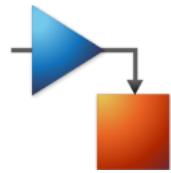
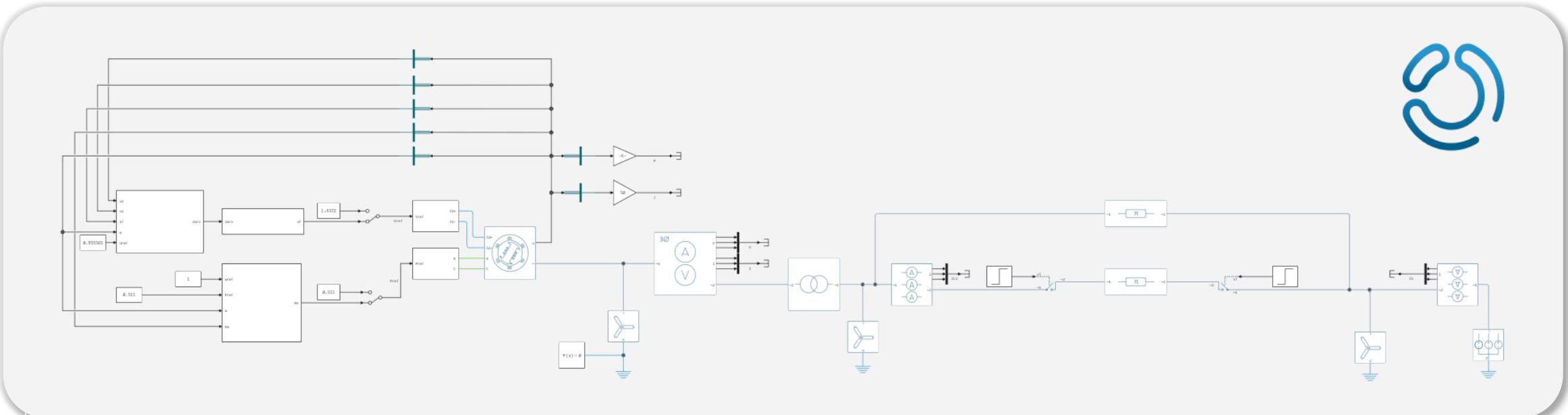
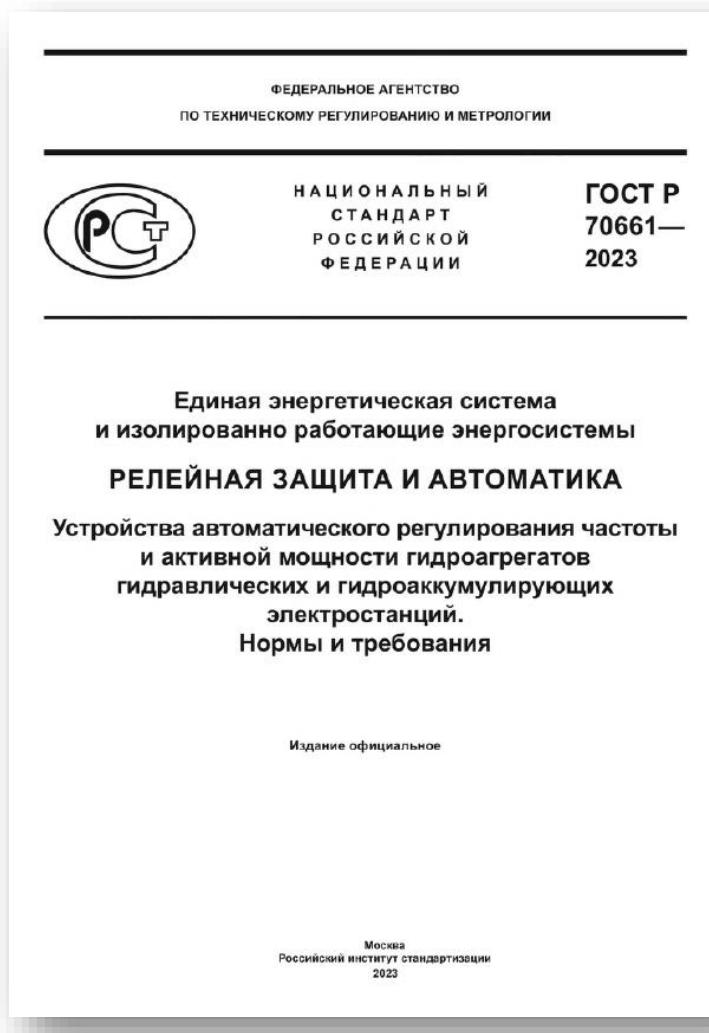


Схема сети

Модель блока генератор – трансформатор работающего через двухцепную ЛЭП на систему бесконечной мощности 220 кВ



Используемые материалы



В качестве исходных параметров для синхронного генератора будут использованы параметры для гидрогенераторов по ГОСТ Р 70661-2023

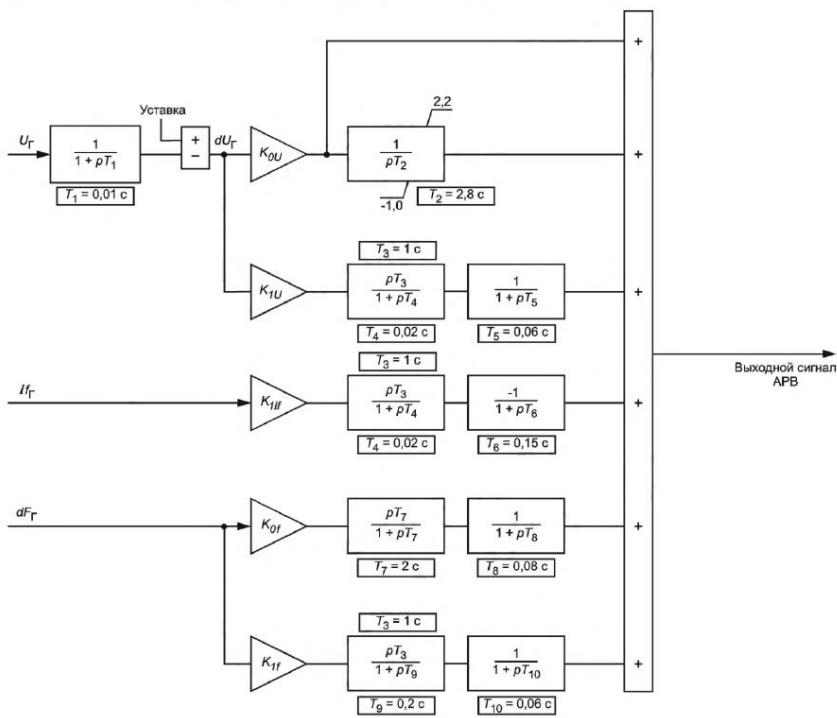
Название генератора	$P_{ном}$	$\cos \varphi_n$	$U_{ном}$	T_j	D	X_a	X_d	X_d'	X_d''	X_q	X_q'	X_q''	R_0	T_{d0}'	T_{d0}''	T_{q0}'	T_{q0}''			
	MВт	—	кВ	MВт*с/ MВА	—	0,0.										с				
1ГА	250	0,85	15,75	6,23	0	0,13	1,5	0,3	0,2	0,9	—	0,2	0,003	8	0,15	—	0,3			

Используемые материалы



НАЦИОНАЛЬНЫЙ
СТАНДАРТ
РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р
70661—
2023



НЕПРЕРЫВНЫЕ
МОДЕЛИ

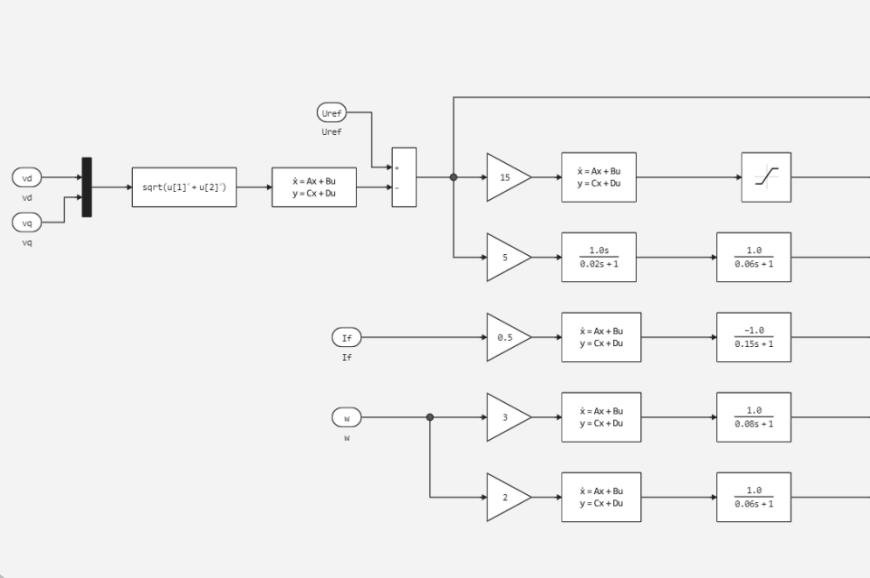
Системная динамика
Модели окружения



ДИСКРЕТНЫЕ
МОДЕЛИ

Цифровое управление
ЦОС
РЛС
Компьютерное зрение

Моделирование
пользовательской
логики для систем
управления



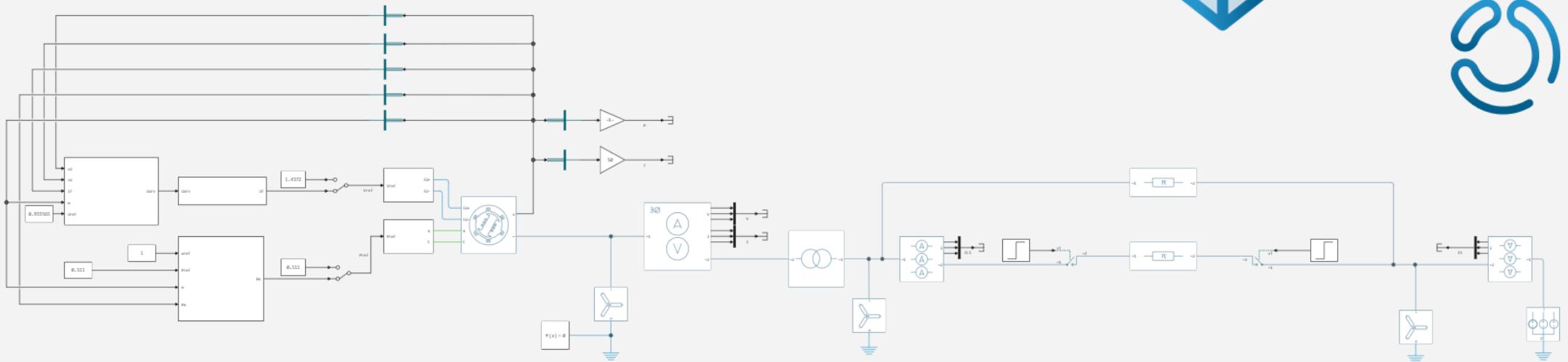
Автоматизация

Программирование

Создавайте скрипты и функции для программного управления моделью и автоматизации опытов



```
22 model = "GenModel";
23 result = Array{Any}(undef,3,1)
24 L_kz1 = Float64(1);
25 L_kz2 = Float64(39);
26 for i = 1:3
27     result[i] = engee.run(model; verbose=false)
28     L_kz1 = L_kz1 + 10;
29     L_kz2 = 40 - L_kz1;
30 end
```



tech@exponenta.ru
exponenta.ru



ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



Спасибо за внимание!

Задавайте Ваши вопросы