



ЭКСПОНЕНТА

ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ



Возможности Engee для моделирования Систем управления



Порсева Светлана





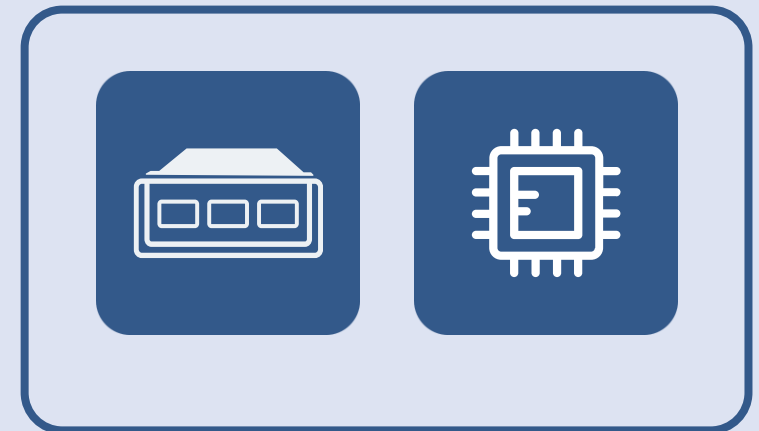
Что такое Engage?



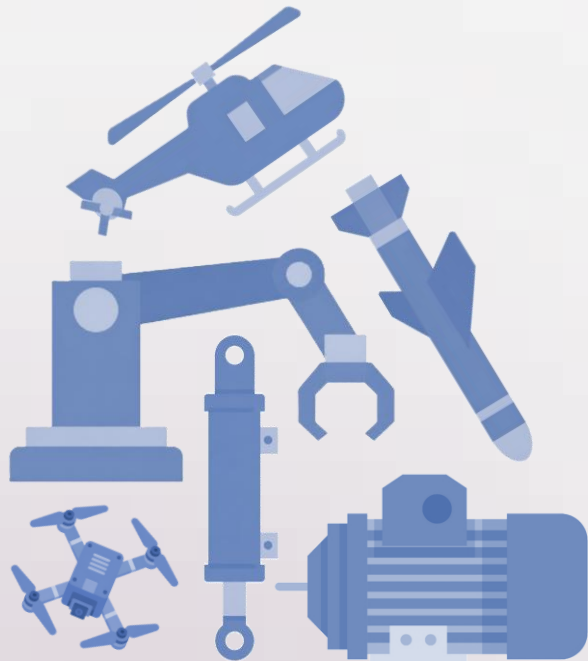
Engage – российская платформа для математических расчетов, модельно-ориентированного проектирования и программирования сложных технических систем.



ГЕНЕРАЦИЯ КОДА,
ПОЛУНАТУРНОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ



Способы описать объект управления



Непрерывная система

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t); \\ y(t) = g(x(t), u(t), t). \end{cases}$$



Дискретная система

$$\begin{cases} x(k) = f(x(k-1), x(k-2), u(k), k) \\ y(k) = g(x(k), x(k-1), u(k), k) \end{cases}$$

Преобразование

Лапласа

$$f(t) \rightarrow F(s)$$

Z - преобразование

$$f(k) \rightarrow F(z)$$

Способы описать объект управления



ЛИНЕЙНЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Передаточная функция

```
engge> tf(tfnum, tfden)
```



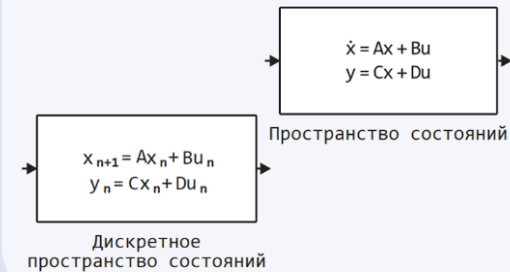
Передаточная функция в форме нулей и полюсов

```
engge> zpk(zeros, poles, gain)
```



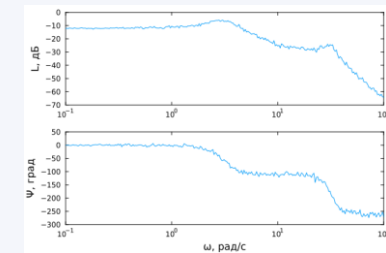
Пространство состояний

```
engge> ss(A, B, C, D)
```



Частотная передаточная функция

```
engge> frd(resp, freq)
```



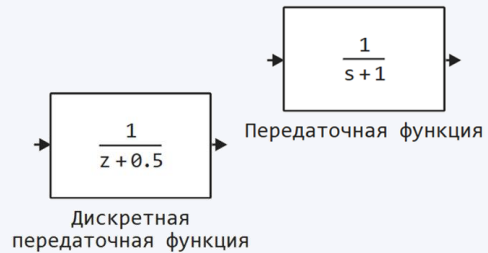
Способы описать объект управления



ЛИНЕЙНЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ

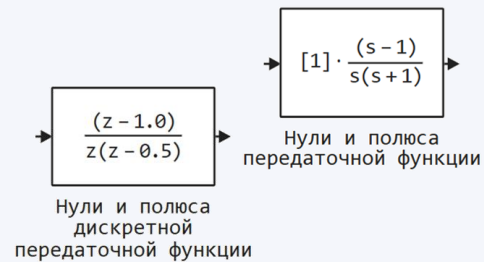
Передаточная функция

`engge> tf(tfnum, tfden)`



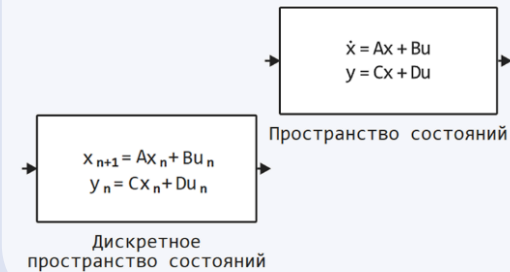
Передаточная функция в форме нулей и полюсов

`engge> zpk(zeros, poles, gain)`



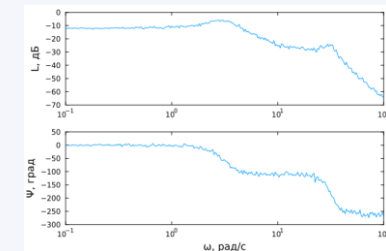
Пространство состояний

`engge> ss(A, B, C, D)`



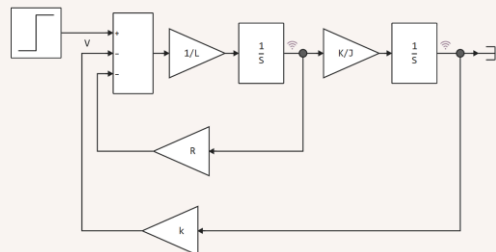
Частотная передаточная функция

`engge> frd(resp, freq)`



МОДЕЛИ

Из направленных блоков



Непрерывная система

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t); \\ y(t) = g(x(t), u(t), t). \end{cases}$$

Дискретная система

$$\begin{cases} x(k) = f(x(k-1), x(k-2), u(k), k) \\ y(k) = g(x(k), x(k-1), u(k), k) \end{cases}$$

Способы описать объект управления



ЛИНЕЙНЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Передаточная функция

```
engge> tf(tfnum, tfden)
```



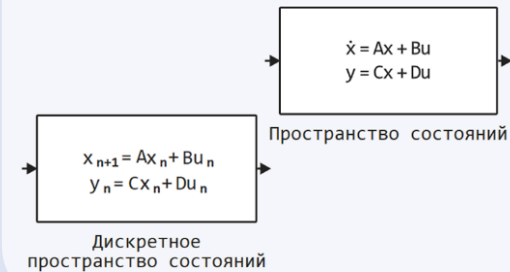
Передаточная функция в форме нулей и полюсов

```
engge> zpk(zeros, poles, gain)
```



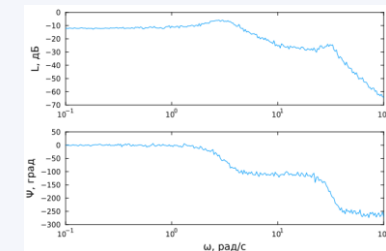
Пространство состояний

```
engge> ss(A, B, C, D)
```



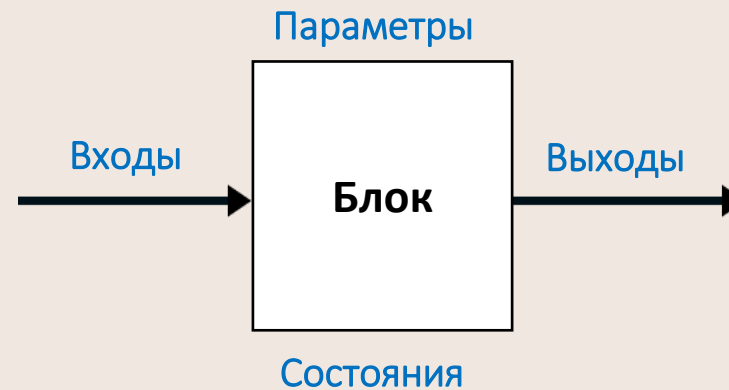
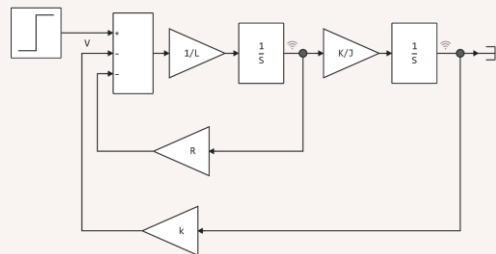
Частотная передаточная функция

```
engge> frd(resp, freq)
```



МОДЕЛИ

Из направленных блоков



Способы описать объект управления



ЛИНЕЙНЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ

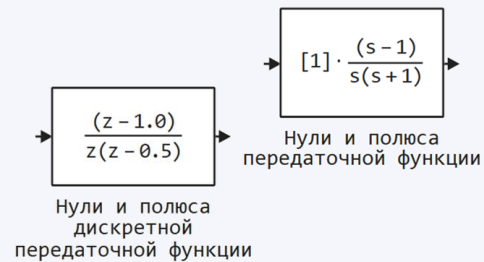
Передаточная функция

```
engge> tf(tfnum, tfden)
```



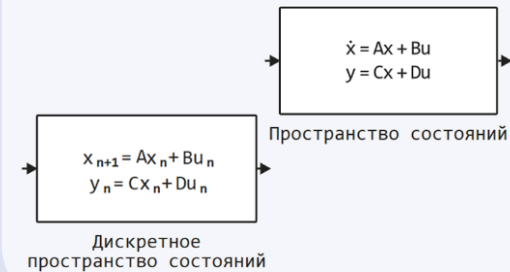
Передаточная функция в форме нулей и полюсов

```
engge> zpk(zeros, poles, gain)
```



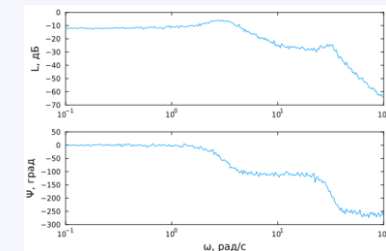
Пространство состояний

```
engge> ss(A, B, C, D)
```



Частотная передаточная функция

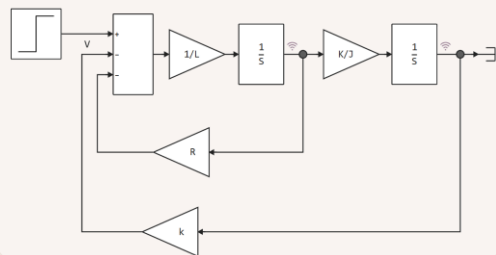
```
engge> frd(resp, freq)
```



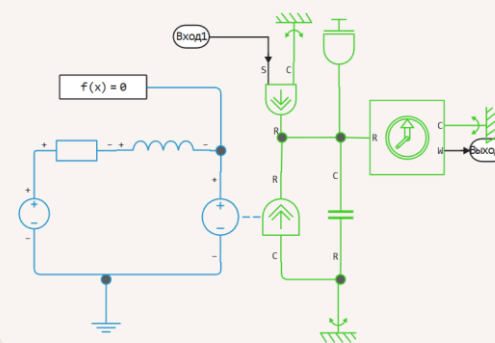
МОДЕЛИ

Из направленных блоков

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t); \\ y(t) = g(x(t), u(t), t). \end{cases}$$



Из физических блоков



Язык физического моделирования Engage

Способы описать объект управления



ЛИНЕЙНЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ

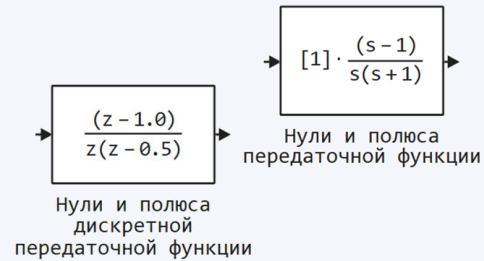
Передаточная функция

`engee> tf(tfnum, tfden)`



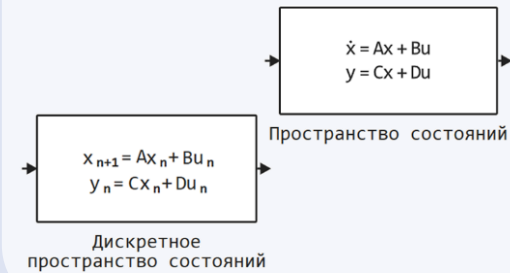
Передаточная функция в форме нулей и полюсов

`engee> zpk(zeros, poles, gain)`



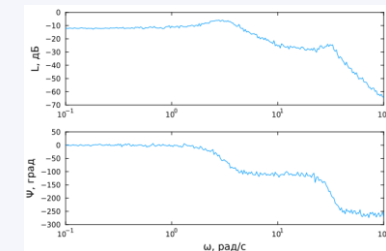
Пространство состояний

`engee> ss(A, B, C, D)`



Частотная передаточная функция

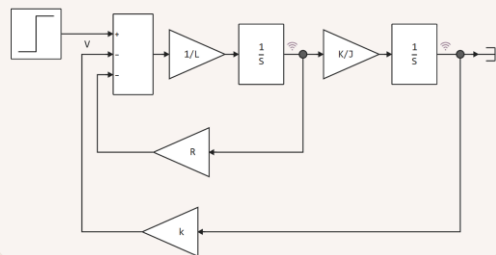
`engee> frd(resp, freq)`



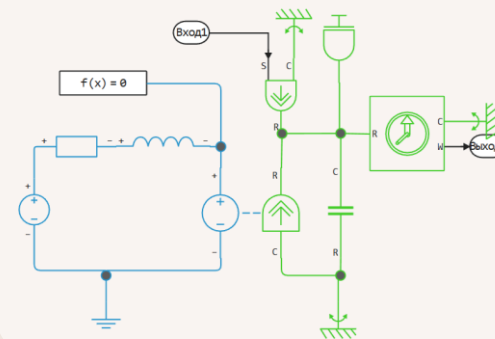
МОДЕЛИ

Из направленных блоков

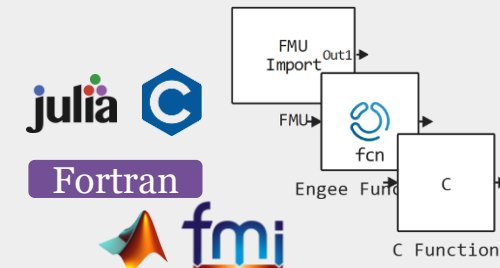
$$\begin{cases} \dot{x}(t) = f(x(t), u(t), t); \\ y(t) = g(x(t), u(t), t). \end{cases}$$



Из физических блоков



Интеграция готовых решений

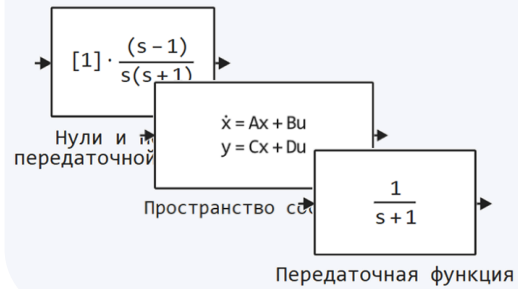


Подходы к созданию модели объекта управления

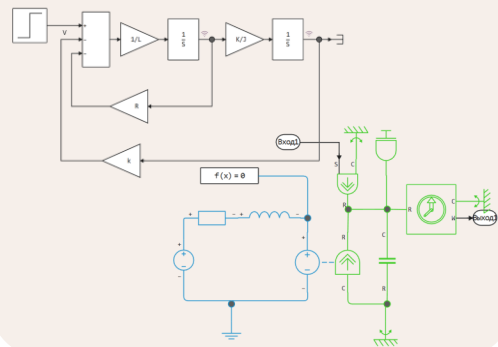


БЕЛЫЙ ЯЩИК

Линейные стационарные объекты

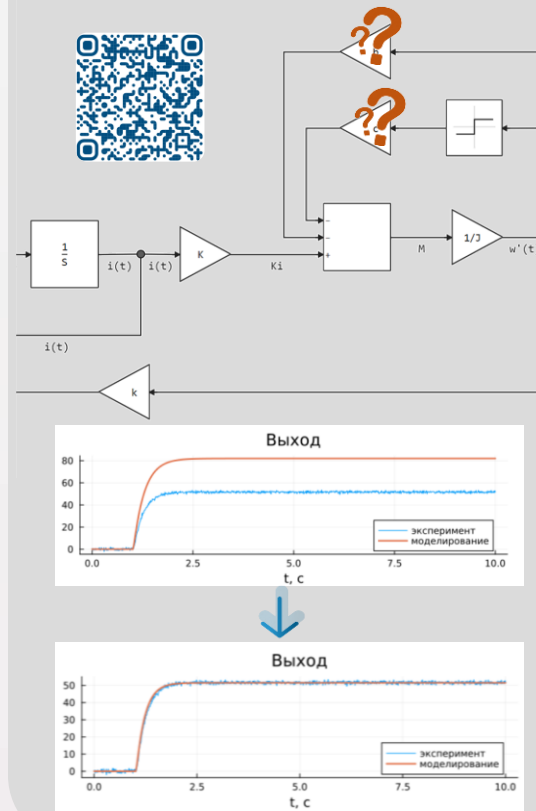


Модели



СЕРЫЙ ЯЩИК

Подбор параметров по экспериментальным данным



ЧЕРНЫЙ ЯЩИК

Идентификация

```
engge> sys = subspaceid(data, n)
```

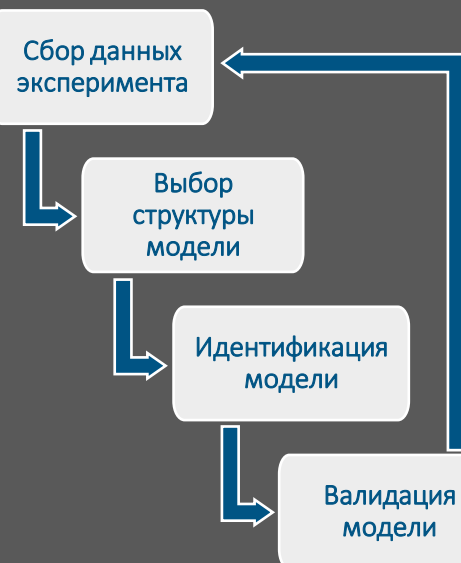


Сбор данных эксперимента

Выбор структуры модели

Идентификация модели

Валидация модели

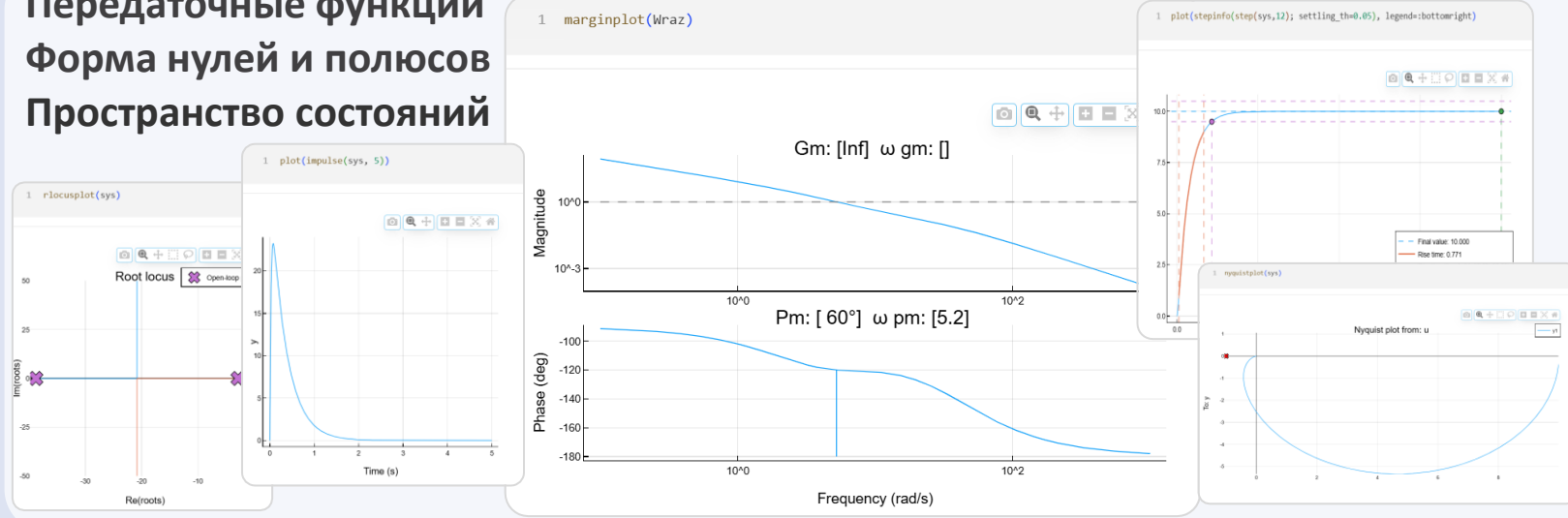


Анализ объекта управления



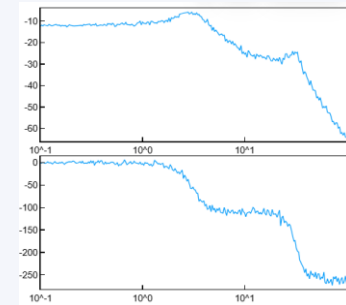
ЛИНЕЙНЫЕ СТАЦИОНАРНЫЕ ОБЪЕКТЫ

Передаточные функции
Форма нулей и полюсов
Пространство состояний

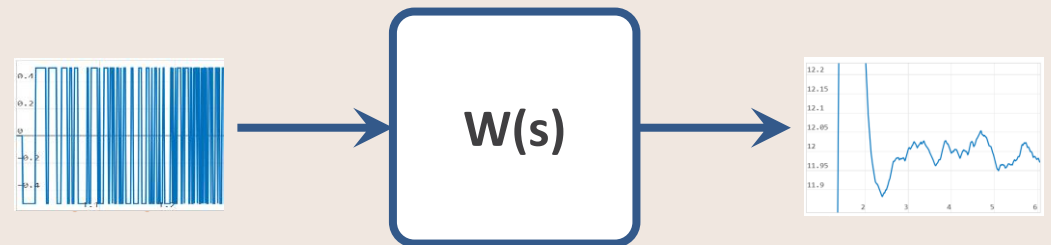
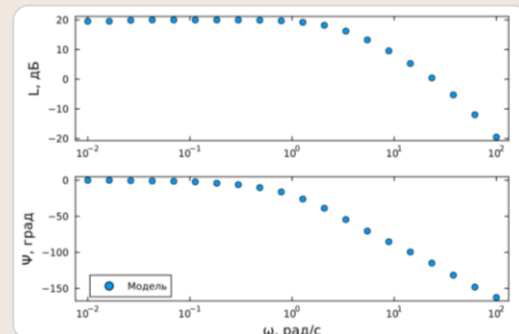
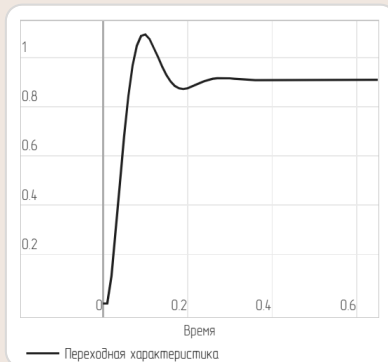


Частотная передаточная функция

```
engee> frd(resp, freq)
```



МОДЕЛИ



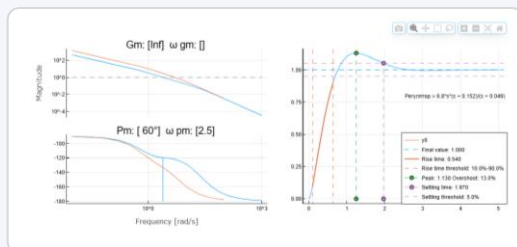
PRBS – псевдослучайная двоичная последовательность

Синтез регулятора



СКРИПТЫ

Классические методы



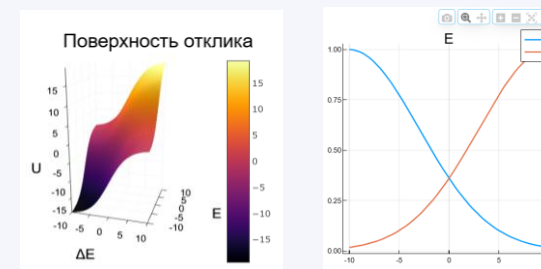
Автонастройка ПИД-регулятора

```
1 pi_c, info = pidtune(sys, :pi, :parallel)
```

```
(Pid(0.3258464350718974, 3.352296639805523, 0.0, 0.0, nothing, nothing, nothing), (true, 3.2914794672549705, 59.999999999999986))
```

Современные методы

- Нечеткая логика
- Методы, основанные на данных.



МОДЕЛИ

Базовые блоки

▼ Непрерывные

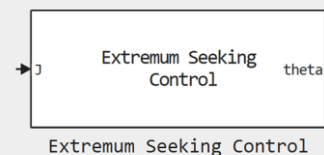


▼ Дискретные

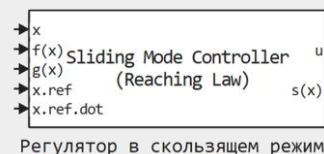


Современные методы

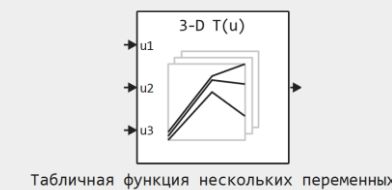
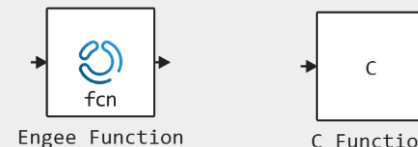
▼ Адаптивное управление



▼ Скользящий режим



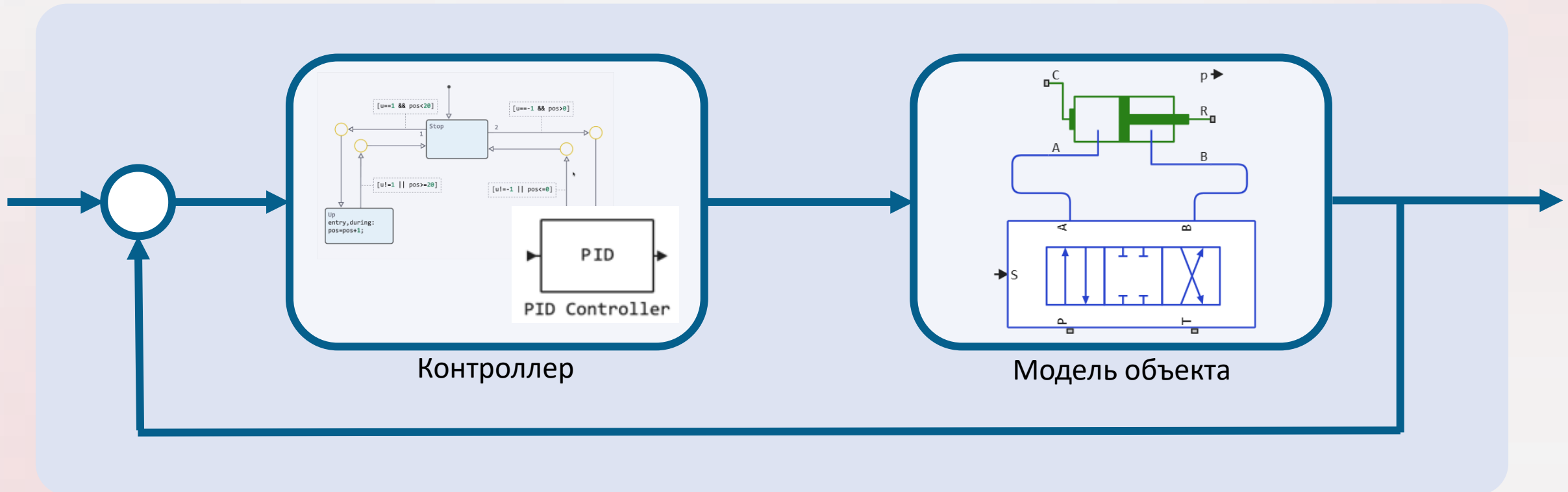
Пользовательские функции



Что дальше?



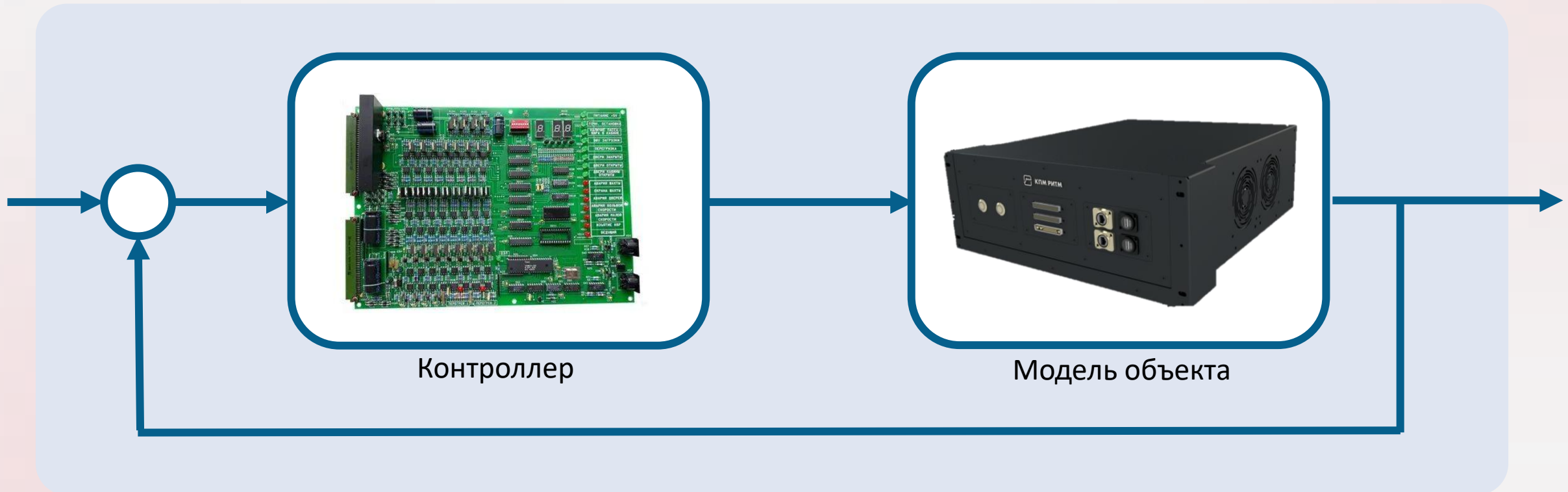
- ✓ Построение модели объекта управления
- ✓ Разработка, тестирование и верификация алгоритма управления



HiL – стенд



- ✓ Построение модели объекта управления
- ✓ Разработка, тестирование и верификация алгоритма управления
- ✓ Генерация С-кода
- ✓ Тестирование алгоритмов без физического прототипа



HiL - стенд



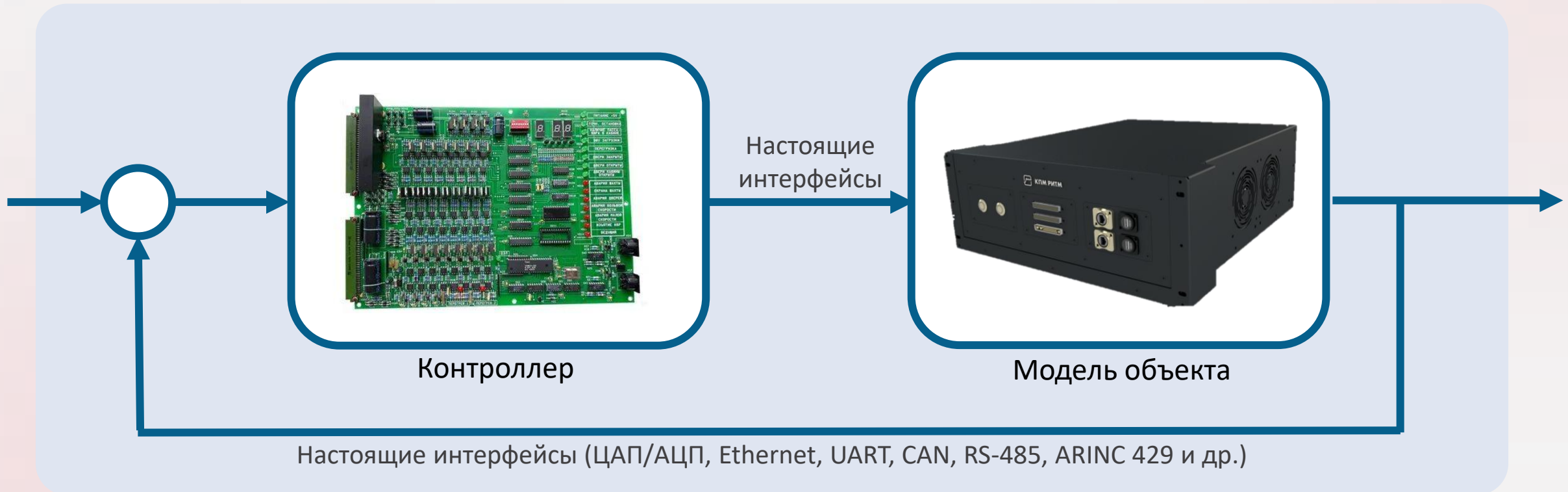
Алгоритм протестирован в реалистичных условиях с аппаратной интеграцией, в отказных режимах

Учтены:

- ✓ Цифровые эффекты (квантование, задержки АЦП/ЦАП)
- ✓ Шумы датчиков и помехи в цепях
- ✓ Производительности ЦПУ

Обнаружены ошибки:

- ✓ Временные
- ✓ Взаимодействие с драйверами
- ✓ Переполнение...

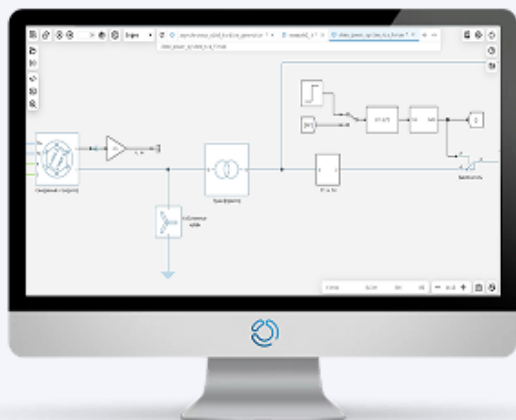


Программно-аппаратный комплекс полунатурного моделирования РИТМ



- 🛡️ Снижаем риски
- 🌸 Экономим время

Запуск моделей Engae на встраиваемых вычислителях в режиме жёсткого реального времени.



Engae

Предметные цифровые модели систем и алгоритмов

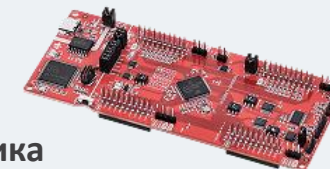


КПМ РИТМ

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



Бортовая электроника



Объект тестирования

