ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Engee

Вычислительное ядро Engee



Денис Жегалин

План



01 Язык моделирования

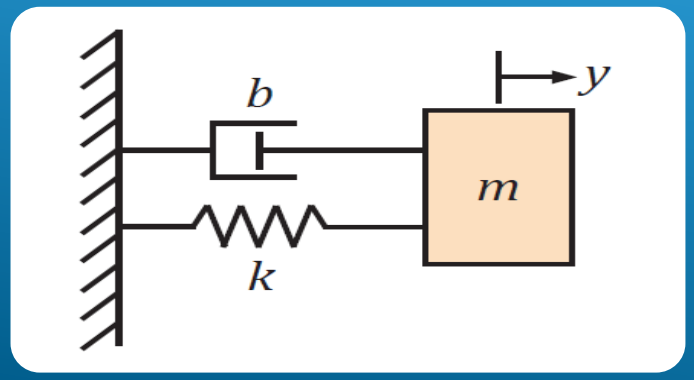
02 Решатели

03 Ускорения моделей

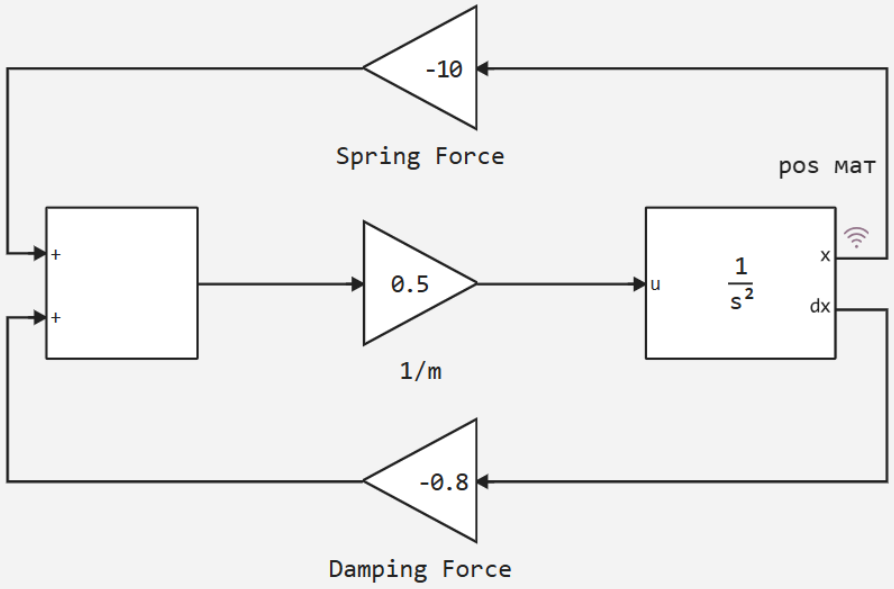
04 Симуляция в реальном времени

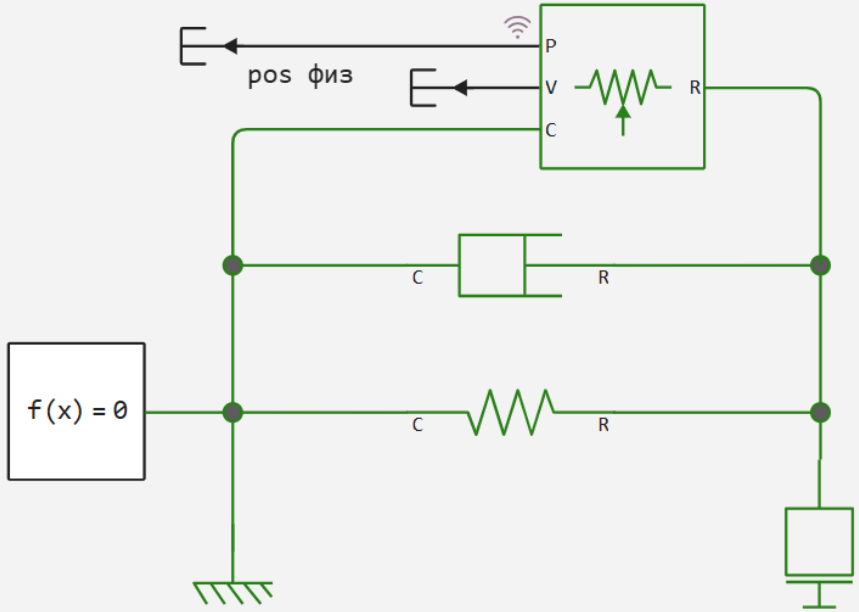
01 Язык моделирования

Направленные и ненаправленные

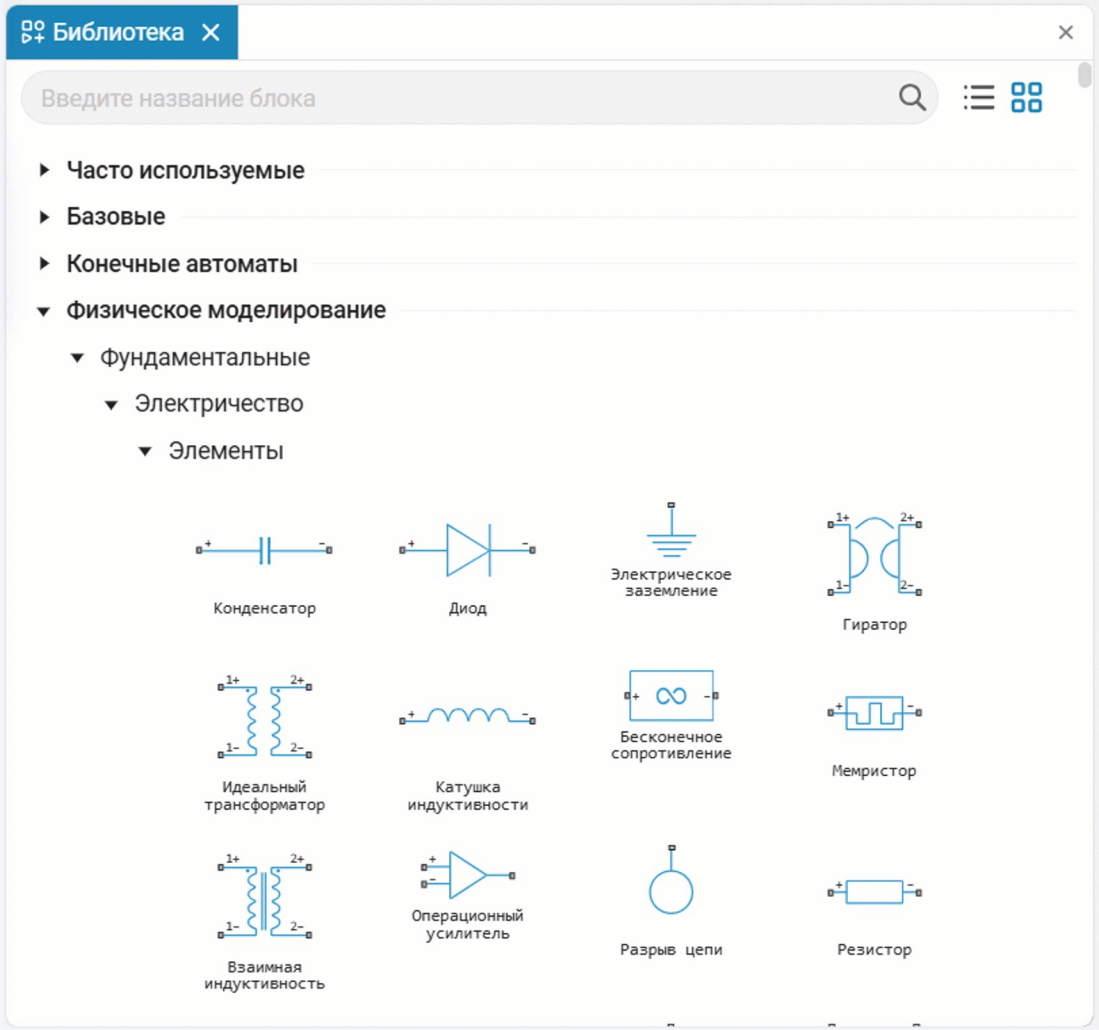


$$m\frac{d^2y}{dt^2} + b\frac{dy}{dt} + ky = 0$$

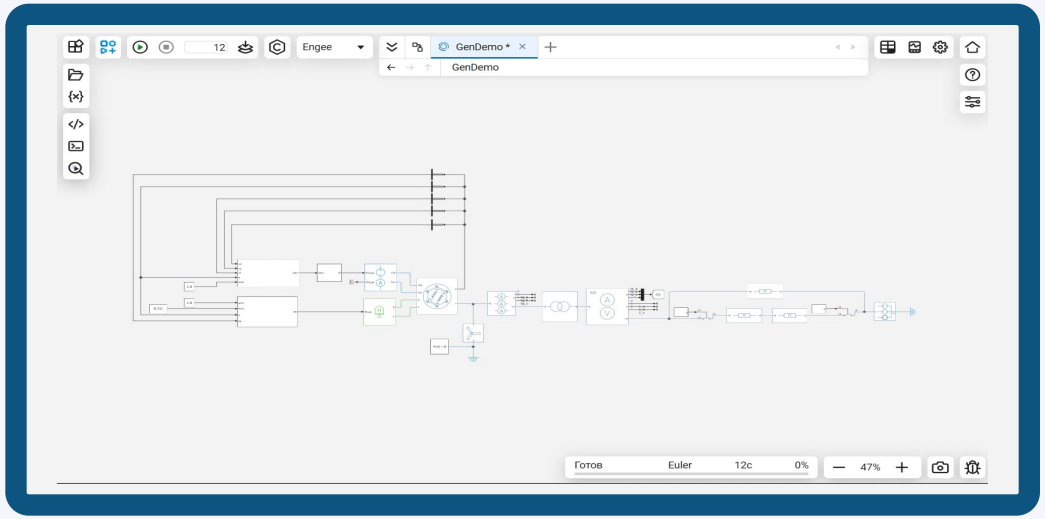




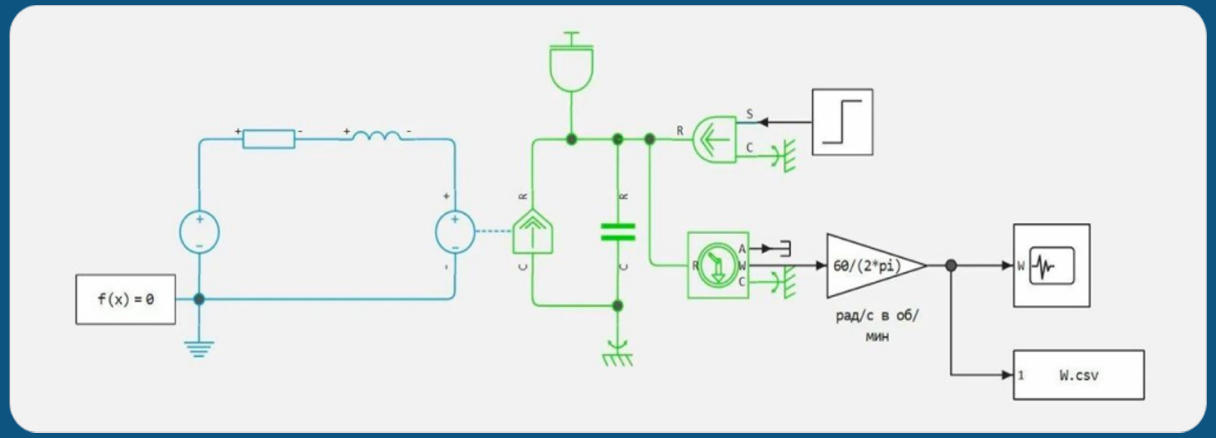
В чём преимущество?



- Готовые решения для разных областей
- Быстрое создание и проверка моделей
- Читаемость и интуитивность моделей
- Гибкость и адаптивность
- Концентрация на сути процессов и системе

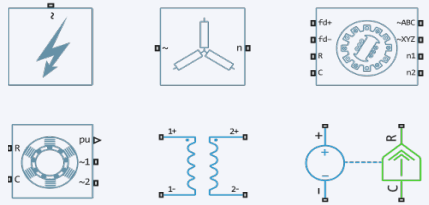


Но вам мало!

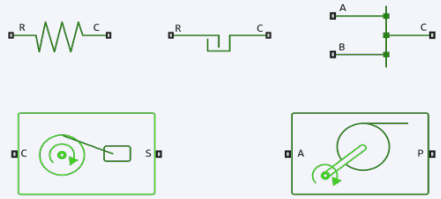


Engee

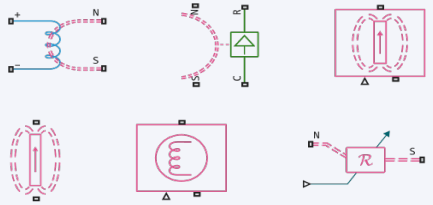
1 Электричество



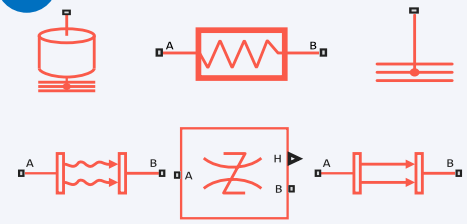
2 Механика



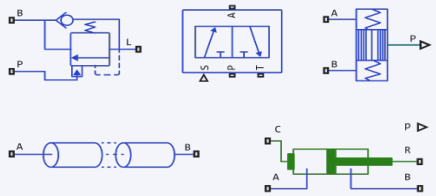
3 Магнетизм



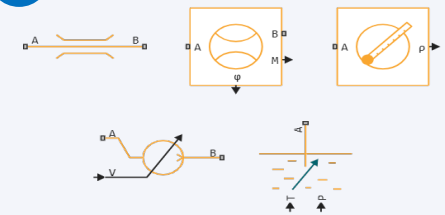
4 Теплотехника



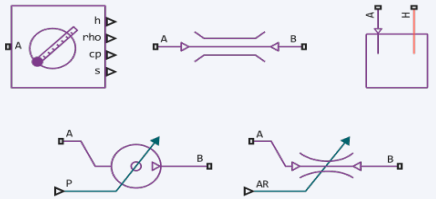
5 Гидравлика



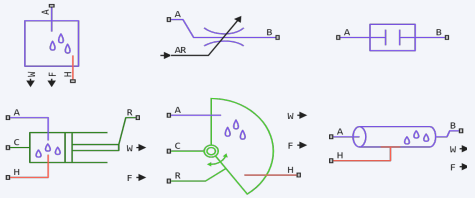
6 Теплогидравлика



7 Газ



8 Влажный воздух



Разработали декларативный язык моделирования

Мы записываем **уравнения**, а не алгоритмы

Мы определяем **связи** между физическими компонентами

Мы задаём **параметры**

Мы задаём **переменные**

Engee составляет единую систему уравнений

Engee упрощает систему уравнений в символьном виде

Engee решает систему уравнений численными методами

Редактор скриптов

myComponent.ngpc *

```
@engeemodel Capacitor begin
    @nodes begin
        p = EngeePhysicalFoundation.Electrical.Pin
        n = EngeePhysicalFoundation.Electrical.Pin
    end

    @parameters begin
        C = 1e-6, [unit::String = "F", description::String = "Capacitance"]
    end

    @variables begin
        v = 0.0, [unit::String = "V", description::String = "Voltage"]
        i = 0.0, [unit::String = "A", description::String = "Current"]
    end

    @branches begin
        i:(p.i, n.i)
    end

    @equations begin
        v ~ p.v - n.v
        i ~ C * der(v)
        domain_connect(n, p)
    end
end
```

.ngpc
Unspecified

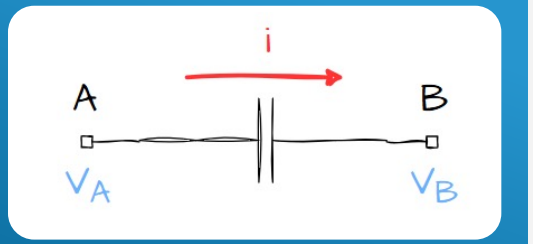
Собственный физический компонент

Пример: Конденсатор

Уравнение для компонента:

$$i = C\frac{dv}{dt}$$

$$u = u_A - u_B$$



- Выпустили год назад
- Получили обширную обратную связь
- Вся разработка Engee использует язык моделирования
- Можно использовать ИИ для написания компонентов

Редактор скриптов

myComponent.ngpc

```
@engeemodel Capacitor begin
    @nodes begin
        p = EngeePhysicalFoundation.Electrical.Pin, [label::String="+", side::String="left"]
        n = EngeePhysicalFoundation.Electrical.Pin, [label::String="-", side::String="right"]
    end

    @parameters begin
        C = 1e-6, [unit::String = "F", description::String = "Емкость"]
    end

    @variables begin
        v = 0.0, [unit::String = "V", description::String = "Напряжение"]
        i = 0.0, [unit::String = "A", description::String = "Ток"]
    end

    @branches begin
        i:(p.i, n.i)
    end

    @equations begin
        v ~ p.v - n.v
        i ~ C * der(v)
        domain_connect(n, p)
    end
end
```

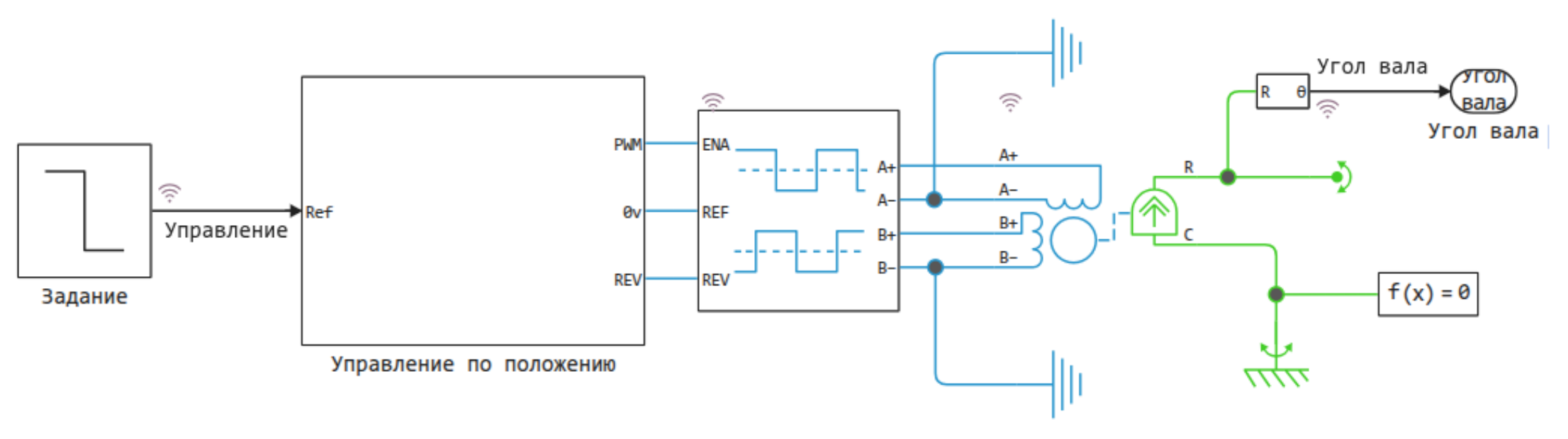
.ngpc
Unspecified

Сходите на семинар к Дмитрию Гладкову!

02 Решатели

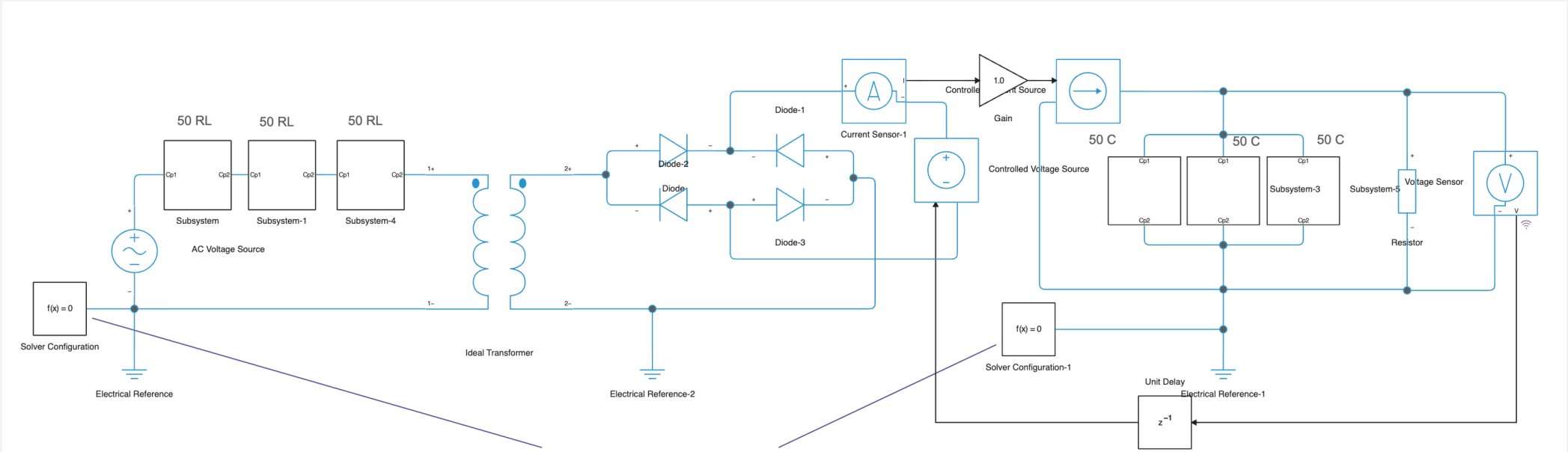
Локальные решатели в Engee

Для всех направленных — глобальный решатель, но не для физики



Локальные решатели в Engee

Для каждой физической сети — свой локальный решатель

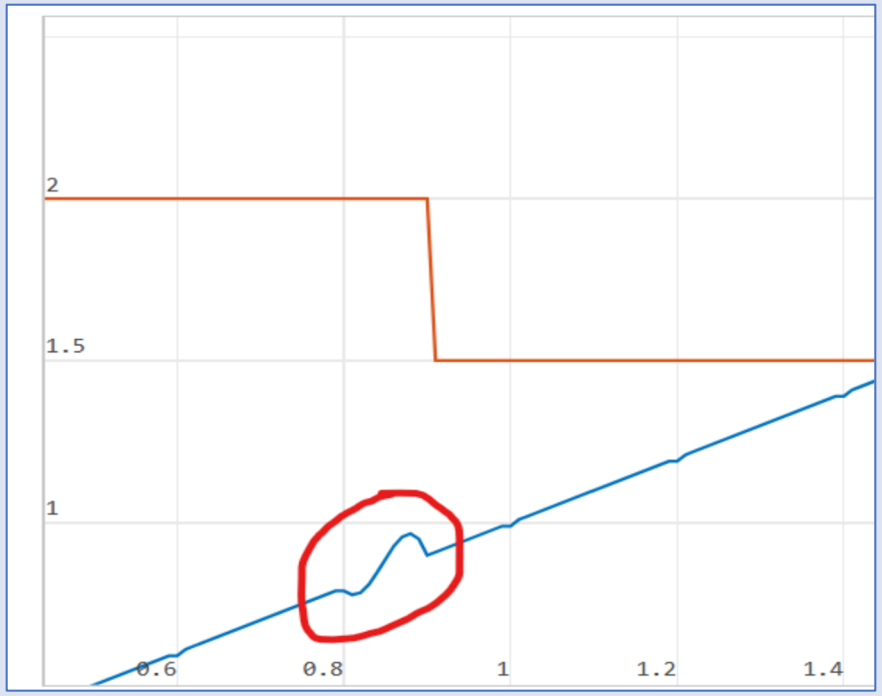


Локальные решатели

Локальные решатели в Engee

Стали надёжнее и точнее

- Оповещение о внешних событиях.
- Более надёжная синхронизация с глобальным решателем.
- Меньшая вносимая погрешность.
- Улучшения внутренних интерполянтов.
- Десятки исправлений решателей.



Что на практике?

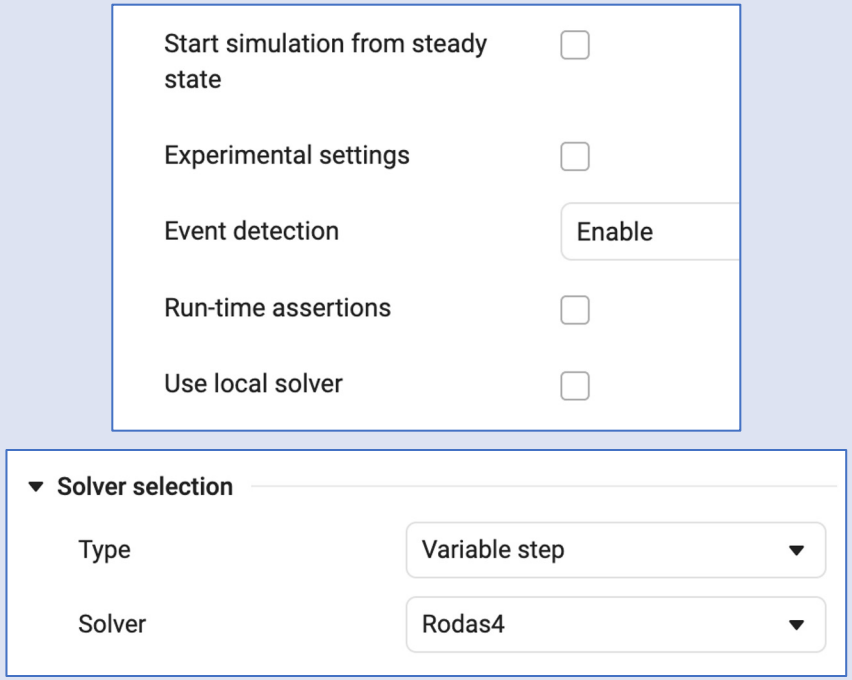
Точность выше, меньше отладки, быстрее получаем итоговое решение

Модель	Симуляция до, с	Симуляция после, с
converter_three_phase_1	891,69	29,75 **(-97%)**
tl_trans_double_acting_actuator_hard_stop_restitution_bouncing	405,99	71,72 **(-82%)**
ma_prop_fraction_only_pipes	329,54	80,92 **(-75%)**
boost_converter_4	182,58	18,72 **(-90%)**
threelevel3phase_ps_ideal_dynamic_time_nosnub	156,61	46,59 **(-70%)**

Глобальные решатели

Теперь и для физических моделей

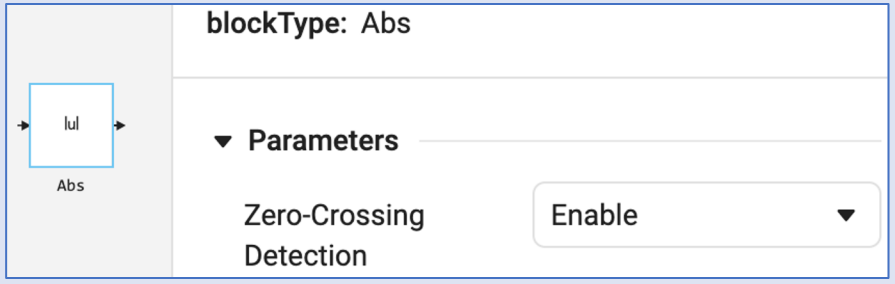
- Решается единая система уравнений для направленной части модели и физической сети.
- Нет дополнительной погрешности и накладных расходов на синхронизацию решателей.
- Дружелюбнее к пользователю.
- Всё так же можно использовать локальный решатель для любой физической сети.

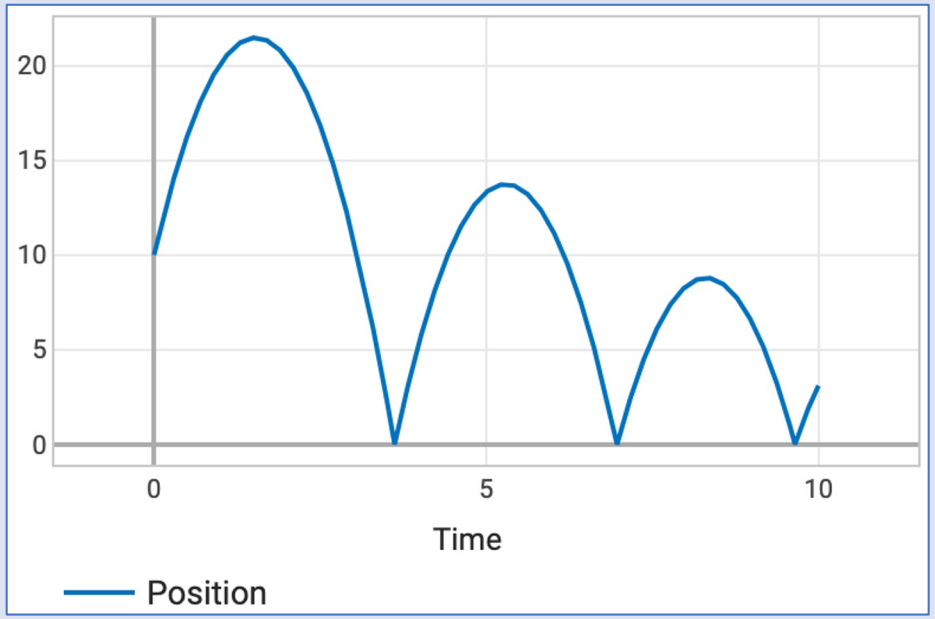


Локализация событий

В направленных компонентах

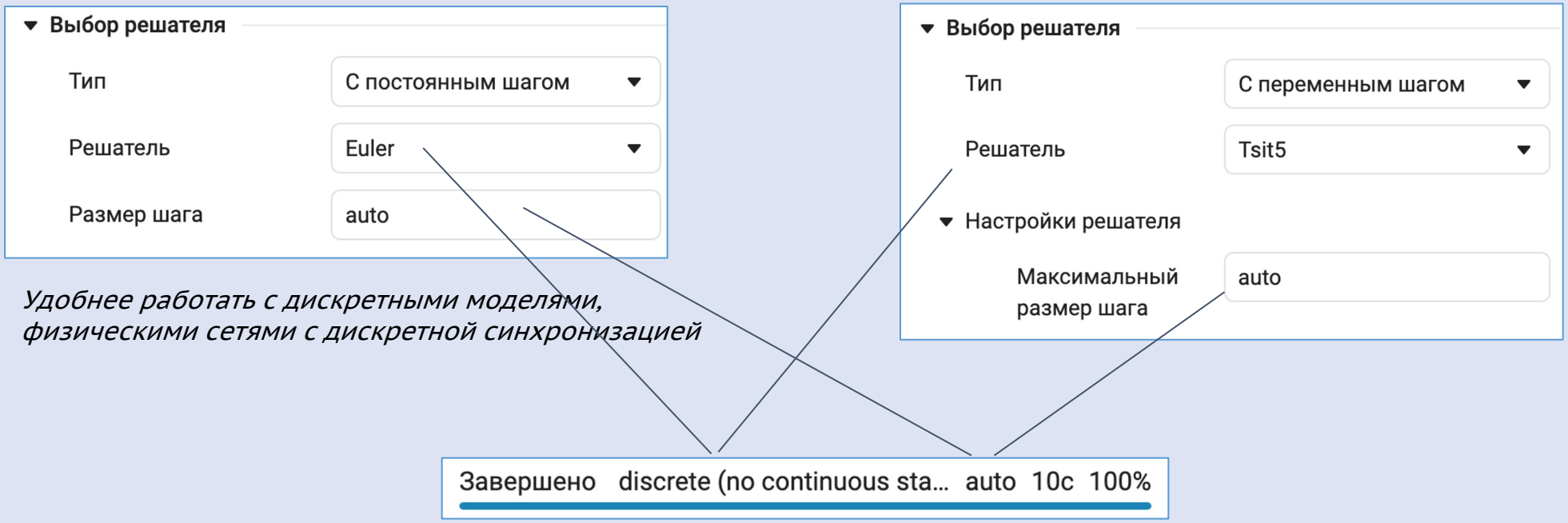
- Повышение точности (и часто скорости) работы моделей с событиями.
- Уже есть в Abs, Compare to Zero, Integrator, Saturation. Остальные – в работе.
- Алгоритм давно применяется для физических сетей.





Автоматическая настройка решателя

Среда для инженеров



Удобнее работать с дискретными моделями, физическими сетями с дискретной синхронизацией

03 Ускорение моделей

Время запуска модели

Фазы работы ядра

- Подготовка симуляции завершена за 0.3092 с.
- Компиляция модели завершена за 0.0844 с.
- Инициализация модели завершена за 0.0268 с.
- Симуляция модели завершена за 0.659 с.

- Подготовка симуляции завершена за 0.3043 с.
- Анализ модели завершён за 0.0106 с.
- Генерация кода завершена за 0.0006 с.
- Компиляция модели завершена за 0.0773 с.
- Инициализация модели завершена за 0.0274 с.
- Симуляция модели завершена за 0.619 с.

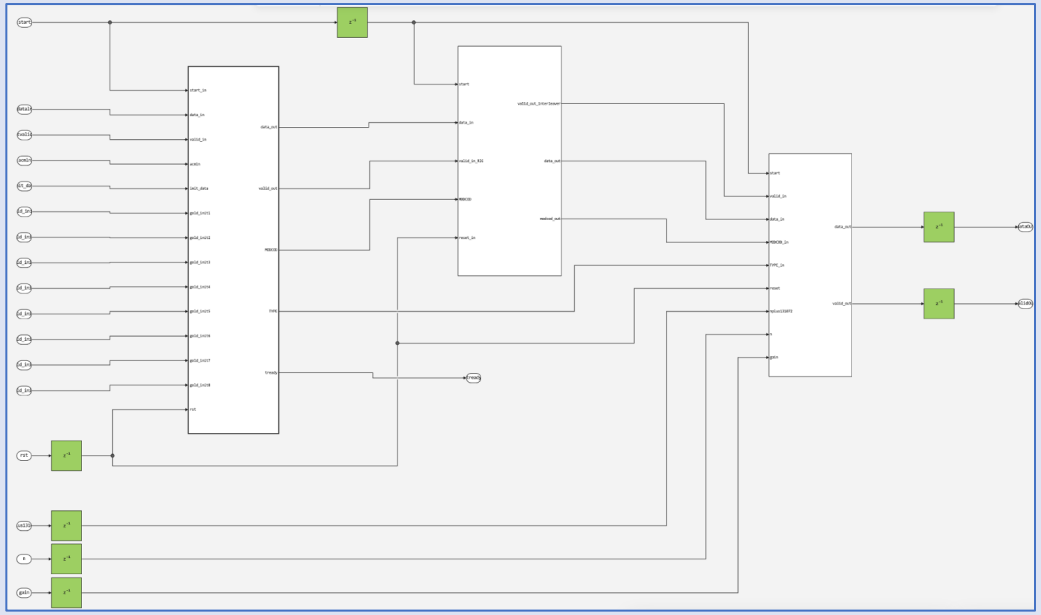
Ускорение (пред)обработки моделей

Цифровая обработка сигналов, множественные модели-ссылки, шины, типы данных, подсистемы разных видов.

Подготовка симуляции, с: 293 -> 13 **(-96%)**

Анализ, с: 3 626 -> 181 **(-95%)**

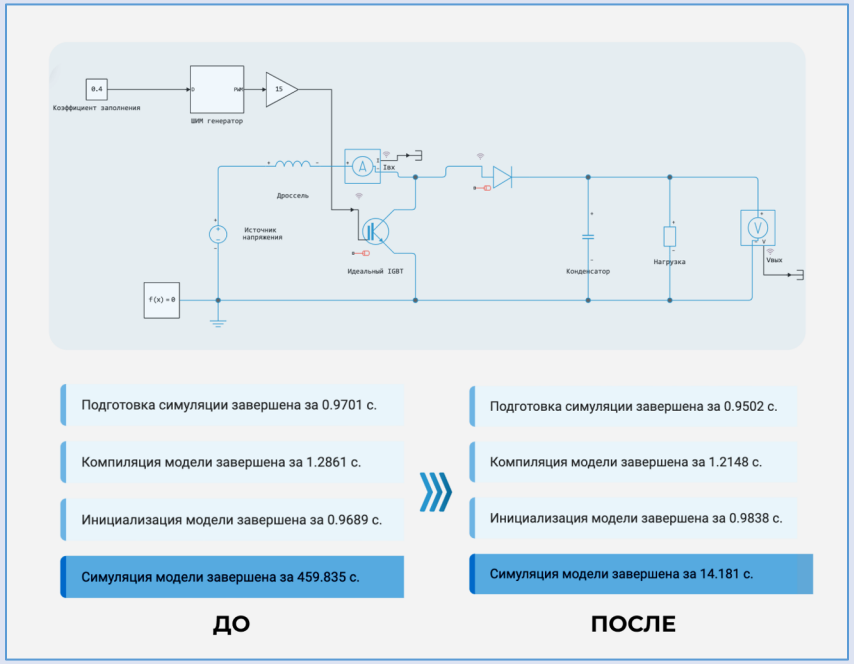
Генерация кода, с: 31 -> 22 **(-29%)**



И ещё больше ускорений

На всех стадиях

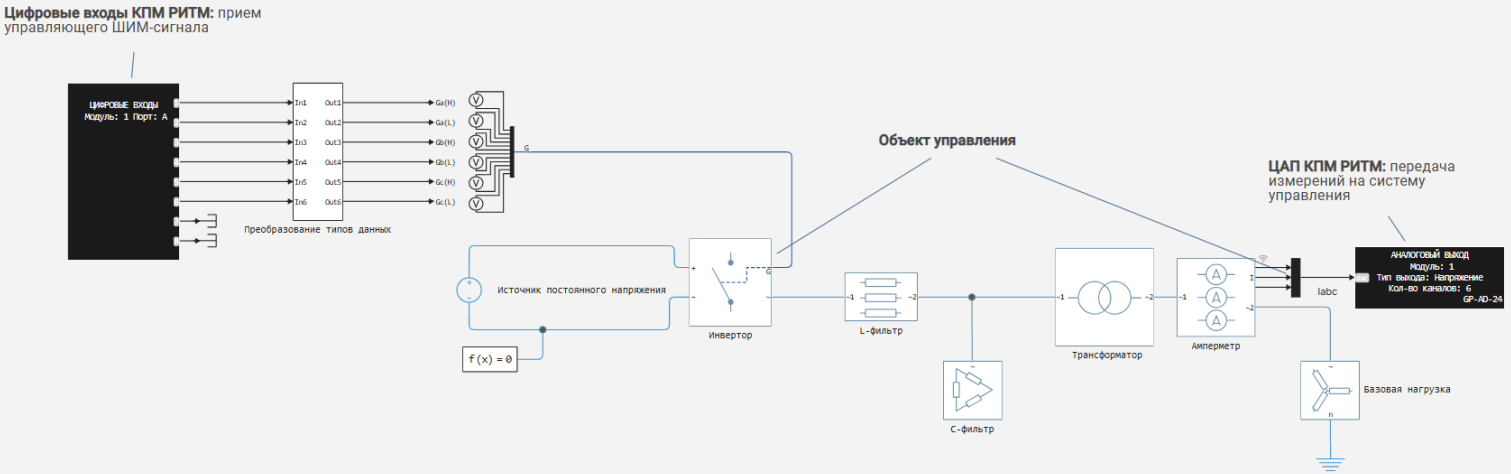
- **Быстрый перезапуск** – без перекомпиляции.
- **Переменный период дискретизации** для смешанных сигналов.
- Ускорение инициализации физических моделей с **низкими приоритетами** до 4 раз.
- Ускорение **компиляции** физических моделей до 2 раз.
- Ускорение **симуляции** моделей с гладкой интерполяцией до 15 раз.
- Ускорение симуляции физических моделей до 2 раз и многое другое.



04 Симуляция в реальном времени

Критическая технология: полунатурные стенды

Системы симуляции реального времени: КПМ РИТМ

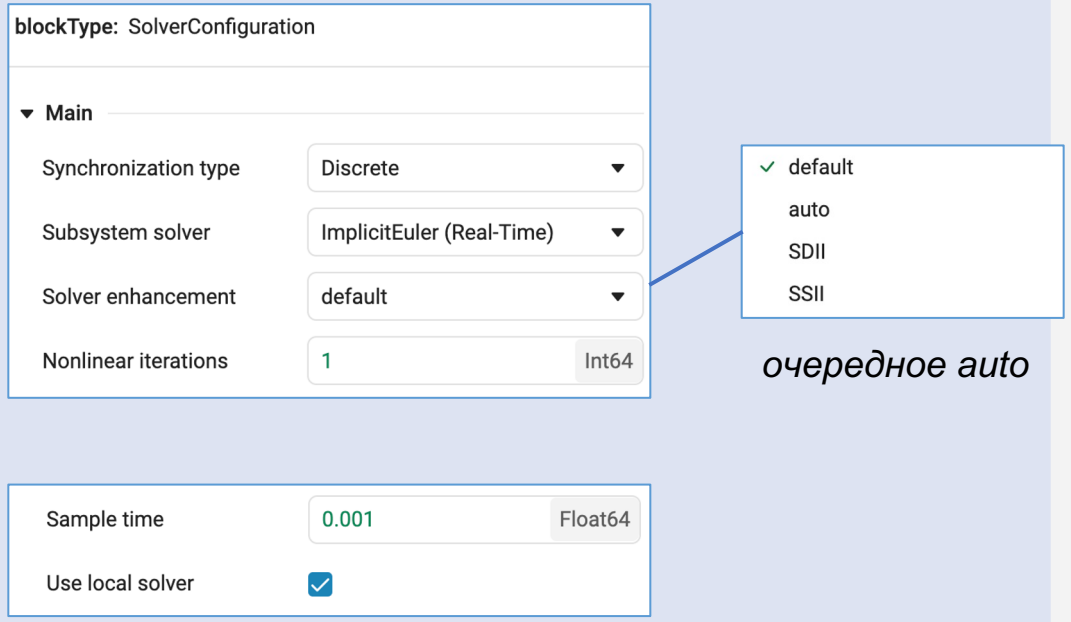




Физика в жёстком реальном времени

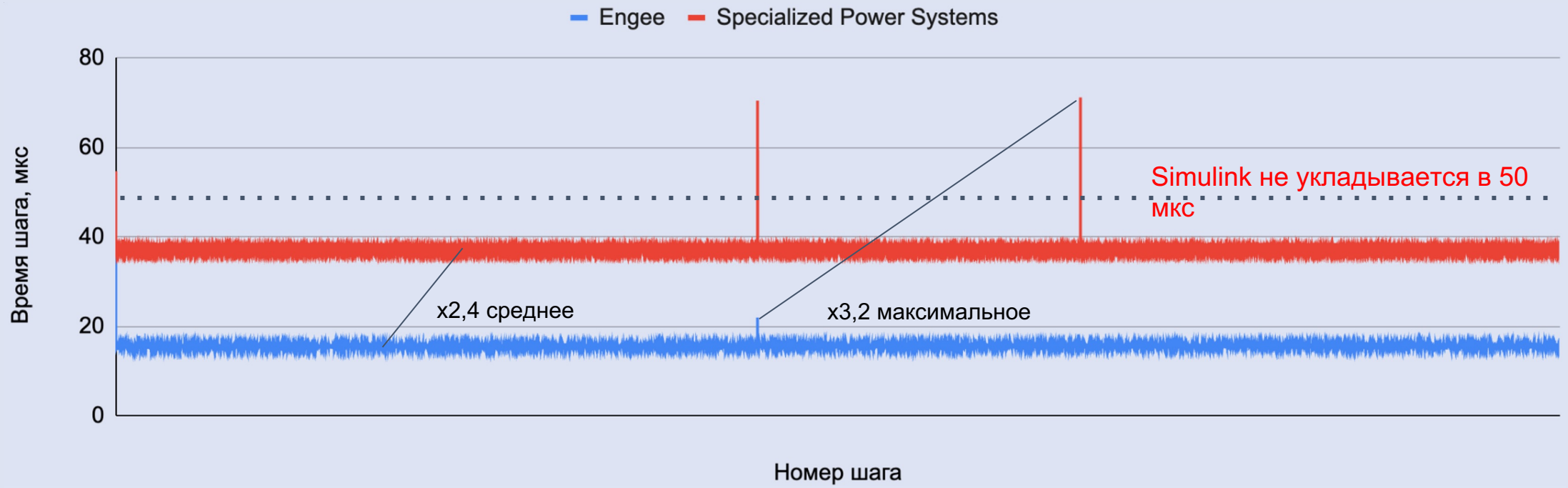
Высокая производительность за минимум усилий

- Генерируем **хороший код** – не уступаем Си.
- Продвинутый **алгоритм символьного анализа** системы уравнений – меньше размер.
- Уникальные варианты реализации **неявного метода Эйлера** под задачу пользователя.
- **Собственный решатель СЛАУ** для реального времени.
- Работает для всех физических компонентов, включая созданные пользователем (Physical Component).



Физика в жёстком реальном времени

Specialized Power Systems: Электроэнергетика

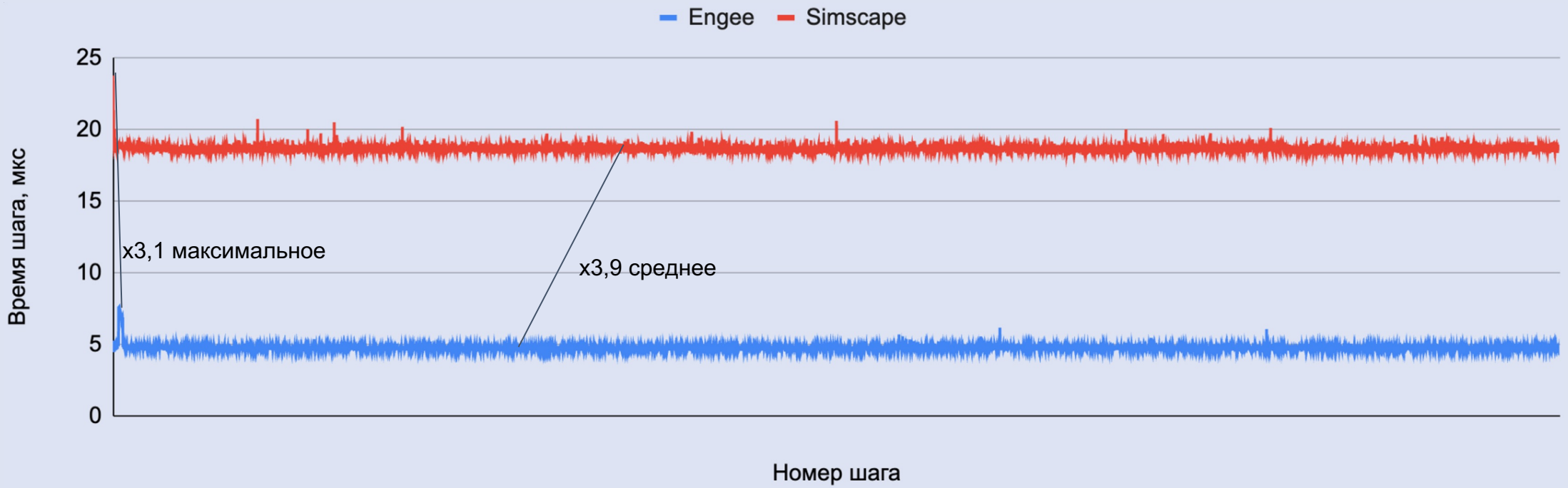


Engee 26.11.1
Simulink R2025b Update 5
КПМ РИТМ Intel i7-12700k

IEEE 9-Bus x3

Физика в жёстком реальном времени

Simscape: Электричество + механика + гидравлика

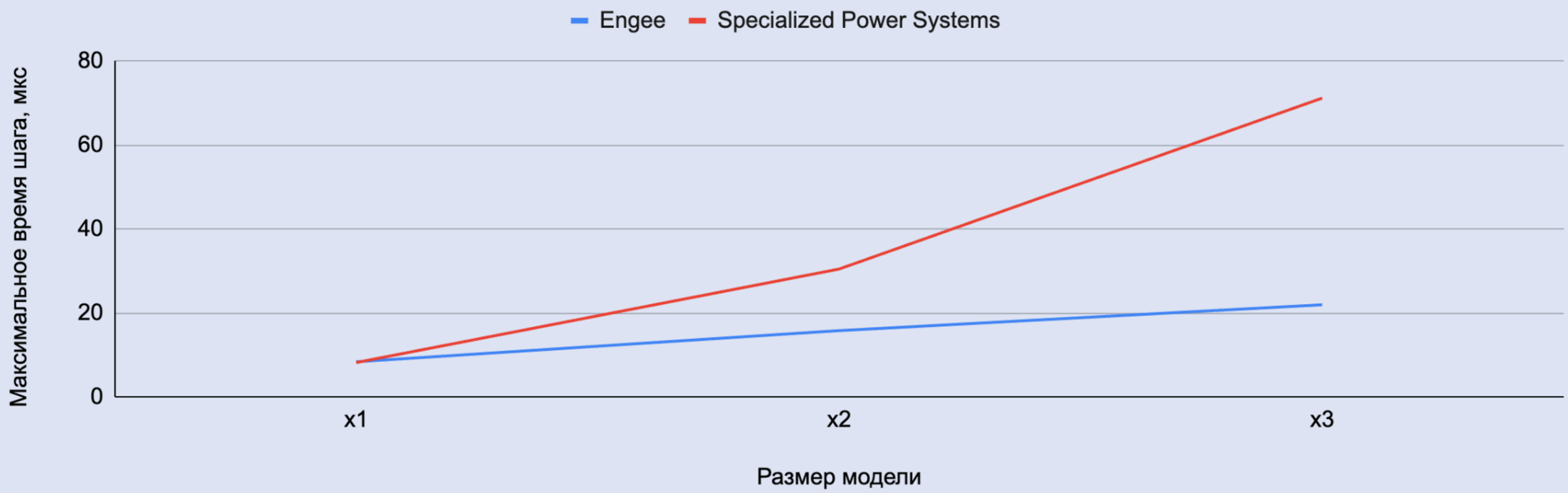


Engee 26.11.1
Simulink R2026a Update 4
КПМ РИТМ Intel i7-12700k

Three-Phase Asynchronous Direct Online
Motor Connected to Hydraulic Pump

Физика в жёстком реальном времени

Engee лучше масштабируется



Engee 26.11.1
Simulink R2025b Update 5
КПМ РИТМ Intel i7-12700k

IEEE 9-Bus x1, x2, x3

ЭКСПОНЕНТА
ЦЕНТР ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И МОДЕЛИРОВАНИЯ

Engee

Спасибо!