Лекция М4.1

# Принципы работы и построения моделей в SimInTech

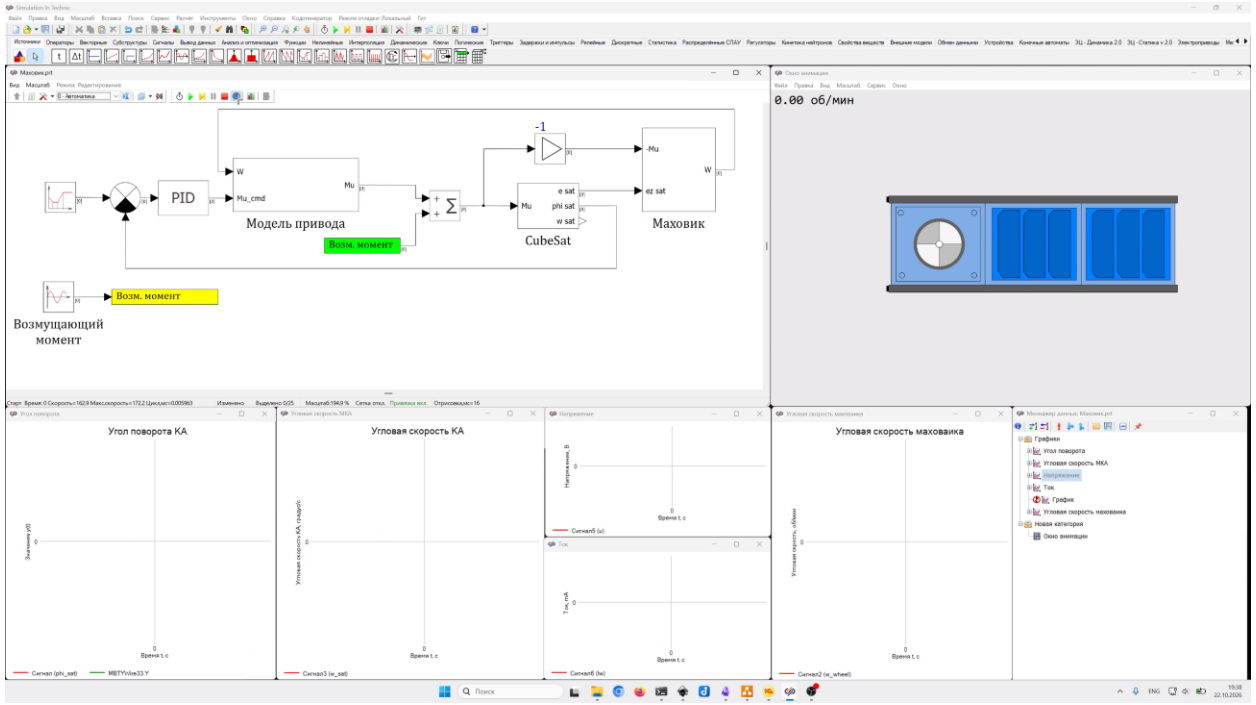
Разработка комплексных цифровых моделей космических систем

Юдинцев В. В.

yudintsev@classmech.ru

кадры для космоса

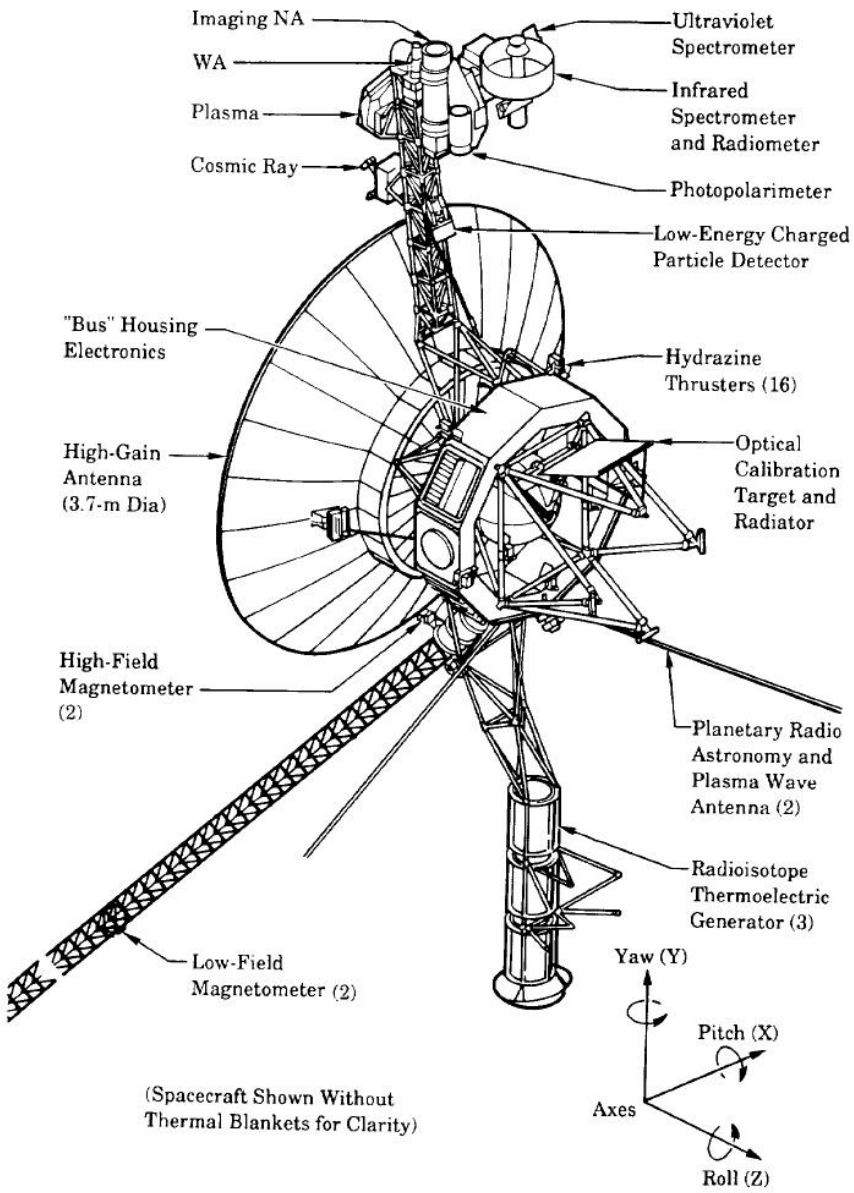
# Содержание



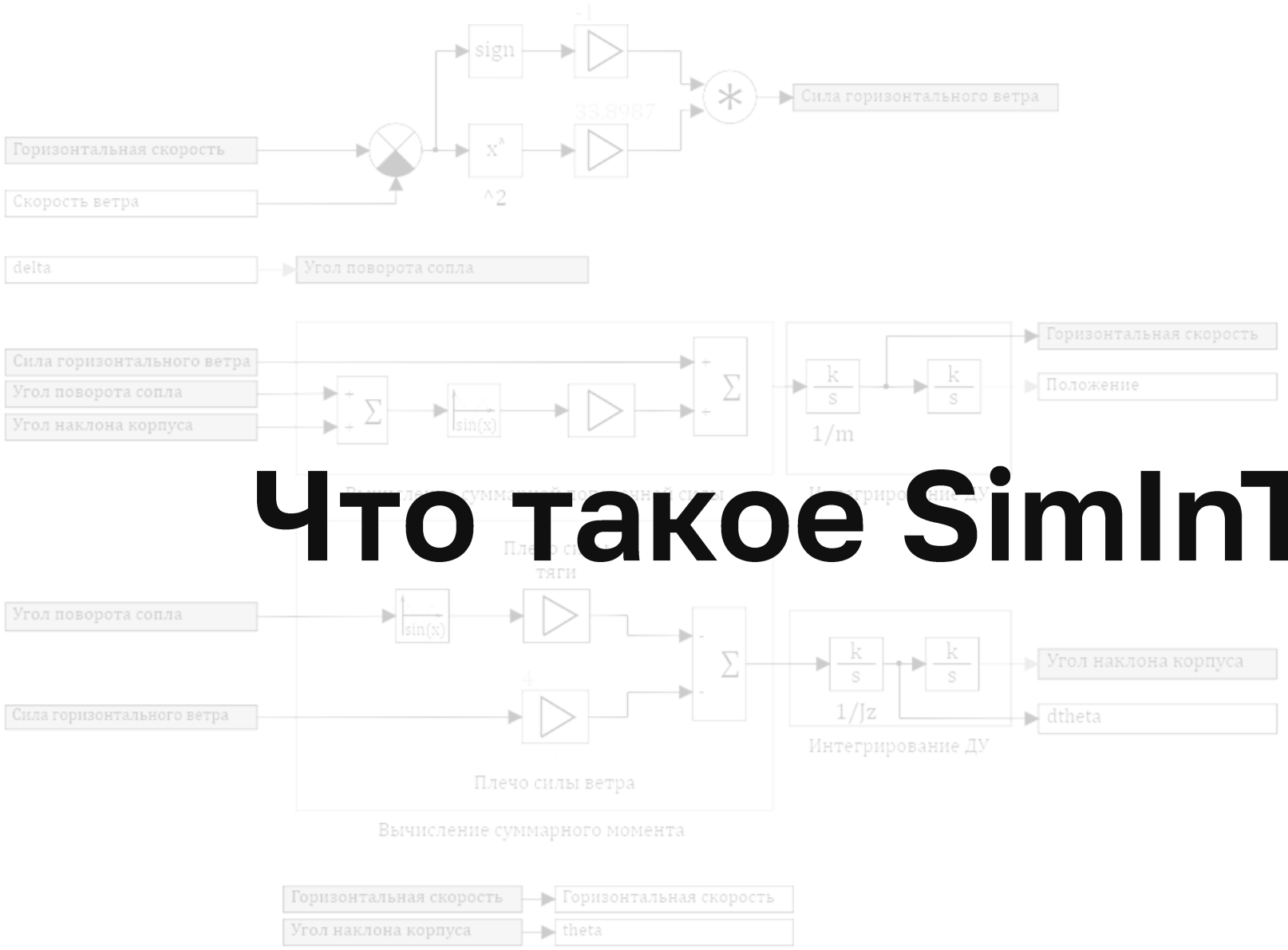

- Что такое SimInTech
- Установка
- Интерфейс
- Язык программирования
- Сигналы
- Анализ результатов

кадры для космоса

# КА как сложная система




- Космический аппарат представляет собой сложную многофункциональную систему
- Изменение состояния одной подсистемы может влиять на работу других
- Необходимо понимать, как взаимодействуют подсистемы, какие ограничения накладывают друг на друга и как их совместная работа определяет поведение всего КА
- Хорошая инженерная модель должна соответствовать задаче: учитывать существенные процессы, иметь обоснованные параметры и обеспечивать необходимую точность при приемлемом времени расчёта




# Что такое SimInTech

# SimInTech




- Отечественная программная платформа динамического моделирования технических систем
- Разработчик: ООО «ЗВ Сервис»
- Реализует принцип структурно-блочного (визуального) программирования
- Поддерживается и развивается, активно используется в вузах и на предприятиях ОПК и энергетики

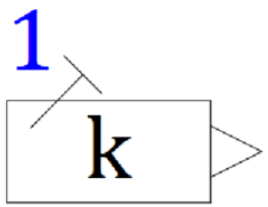
# Визуальное программирование

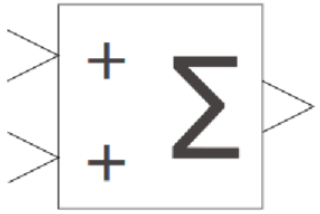


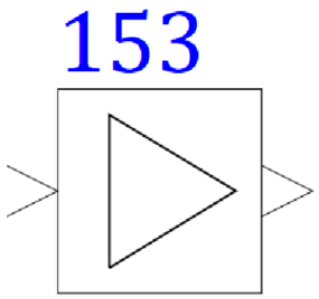

https://efir.sfu-kras.ru/wp-content/uploads/2023/04/SimInTech-rus.pdf

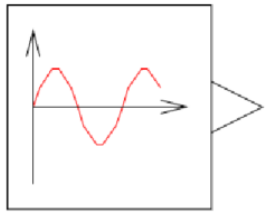
- Визуальное программирование на основе блоковых диаграмм
- Модель — система блоков, связанных потоками сигналов
- Блок: входы, выходы, параметры и внутренняя логика
- Простые блоки: математические и логические операции
- Сложные блоки: датчики, приводы, регуляторы, физические подсистемы

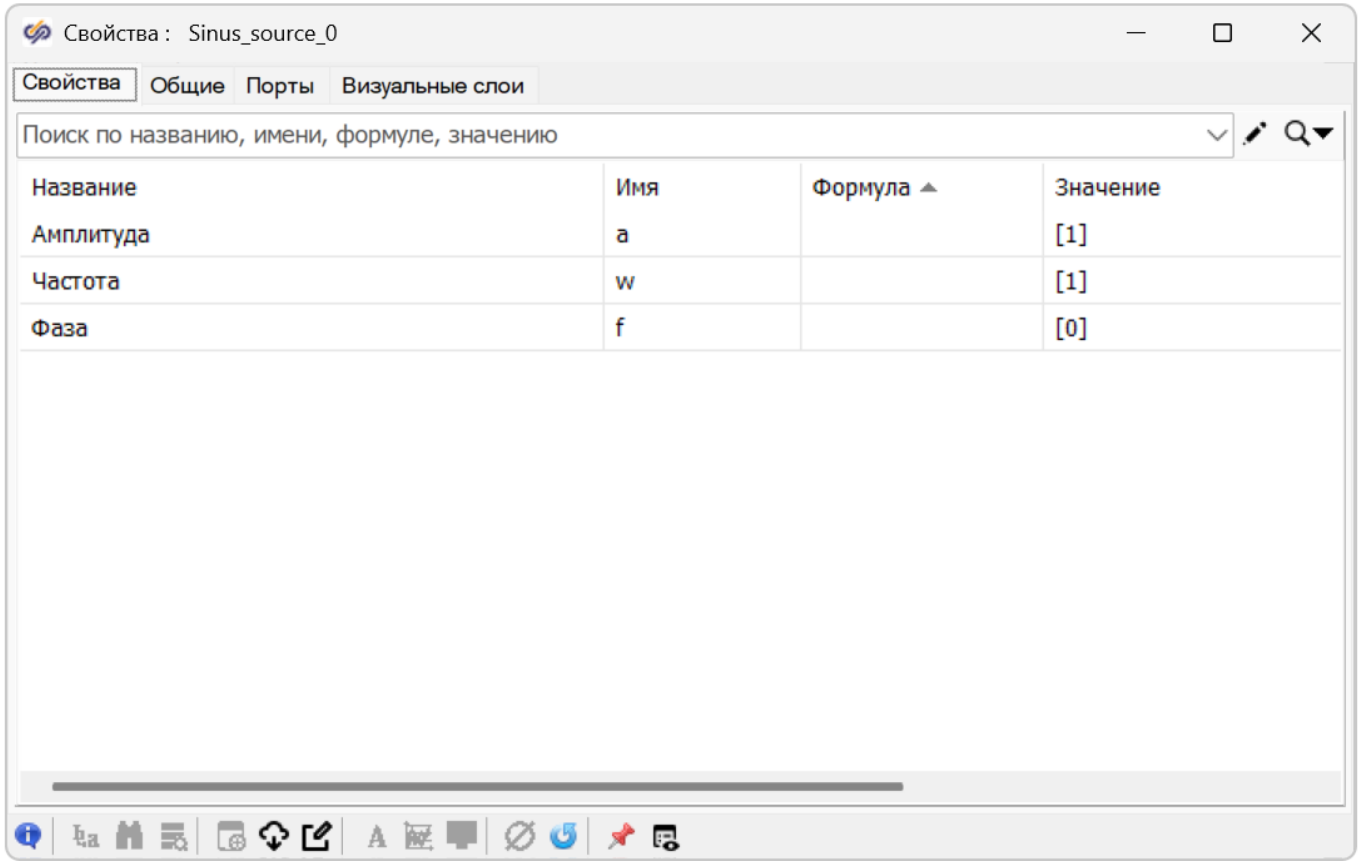
# Простейшие блоки



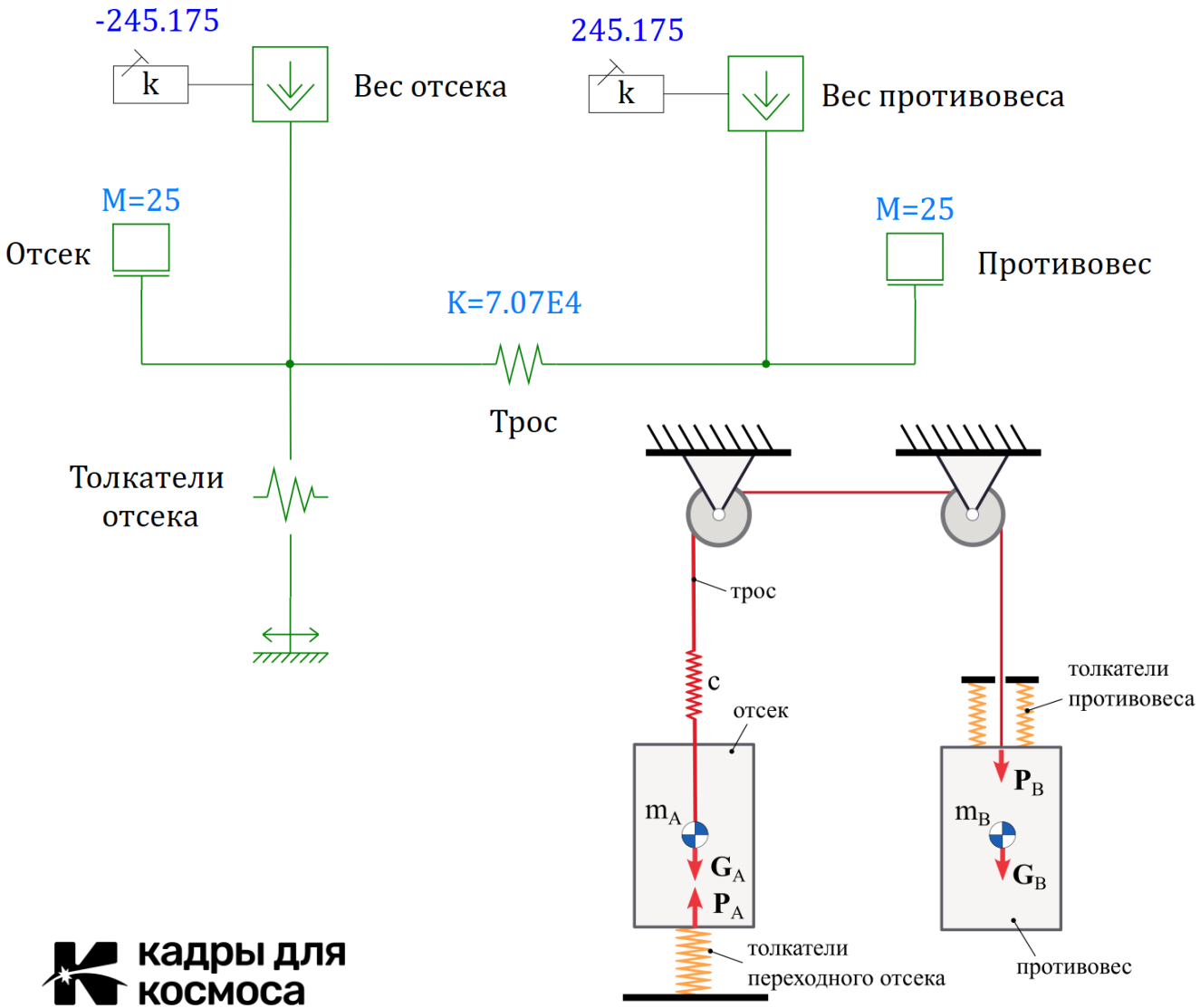



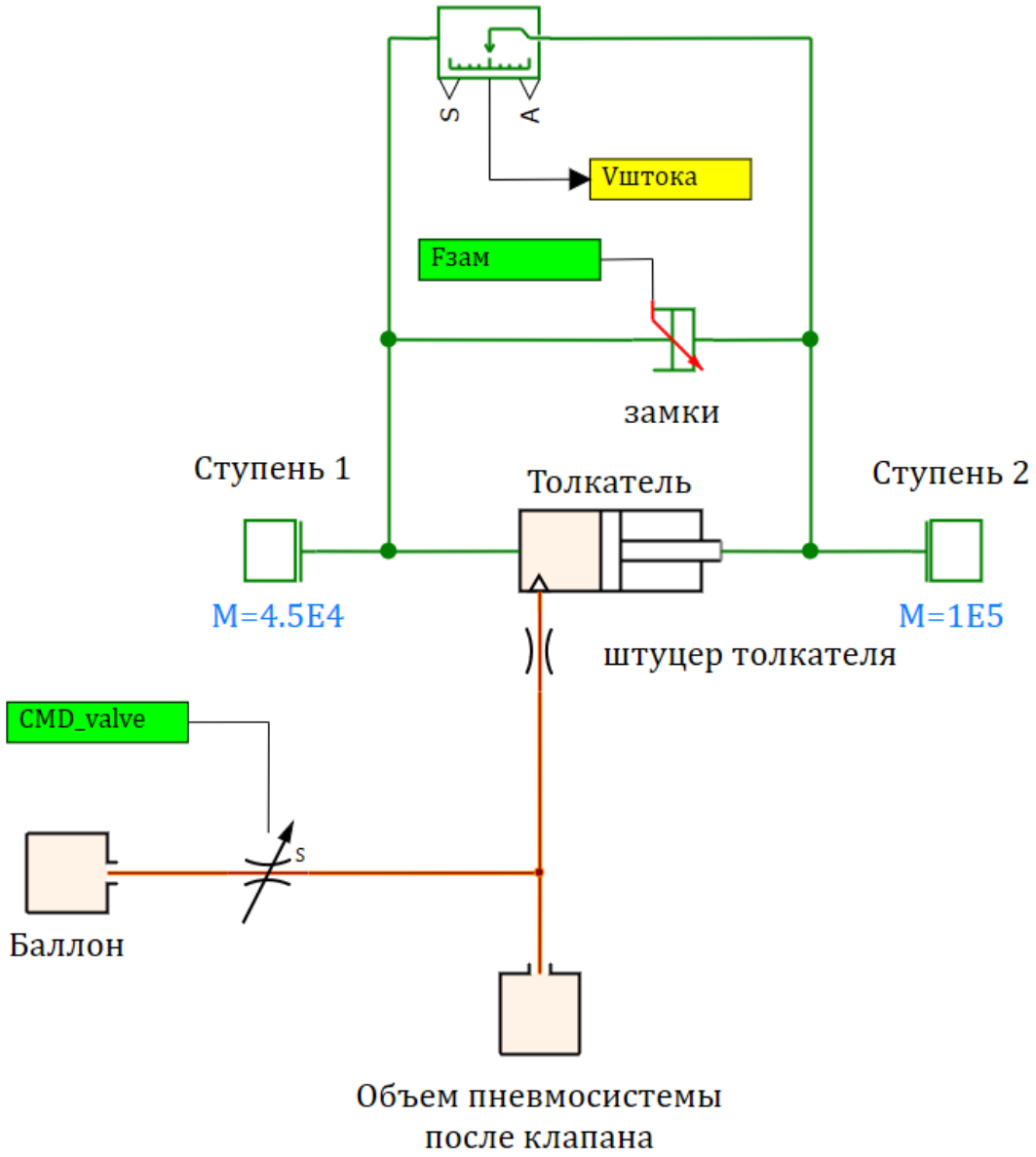


# 0D, 1D модели



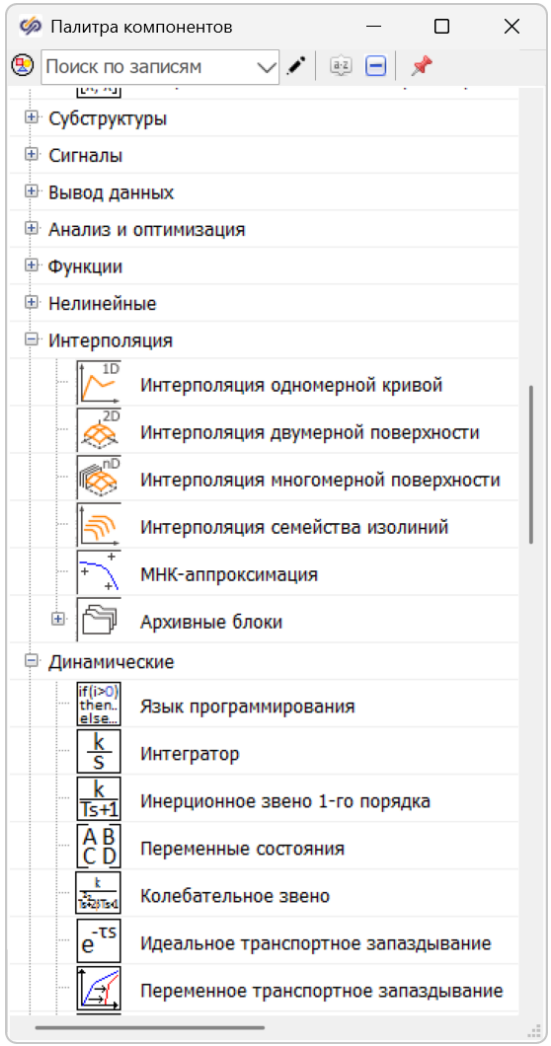

- 0D-модель: параметры усреднены по объёму объекта
- 1D-модель: учитывается распределение параметров вдоль одной координаты
- Детализация выбирается по принципу: достаточная точность при приемлемой вычислительной сложности

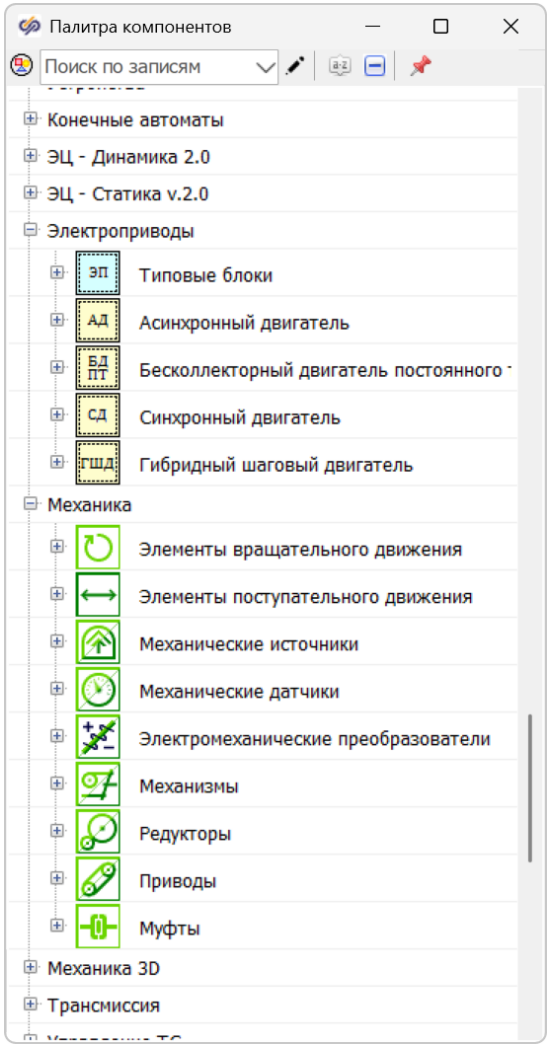
# 0D, 1D модели




- Альтернатива детальному 3D CFD/FEA-расчёту: Меньше вычислительных затрат и исходных данных.
- Удобны для анализа переходных процессов и систем управления.
- Пример пневмосистемы: баллон → трубопровод → клапан → пневмоцилиндр
- Выбор детализации определяется задачей моделирования
- Для системного анализа, разработки алгоритмов управления и проведения большого числа сценарных расчётов 0D- и 1D-модели часто оказываются более практичными, чем сложные 3D-модели

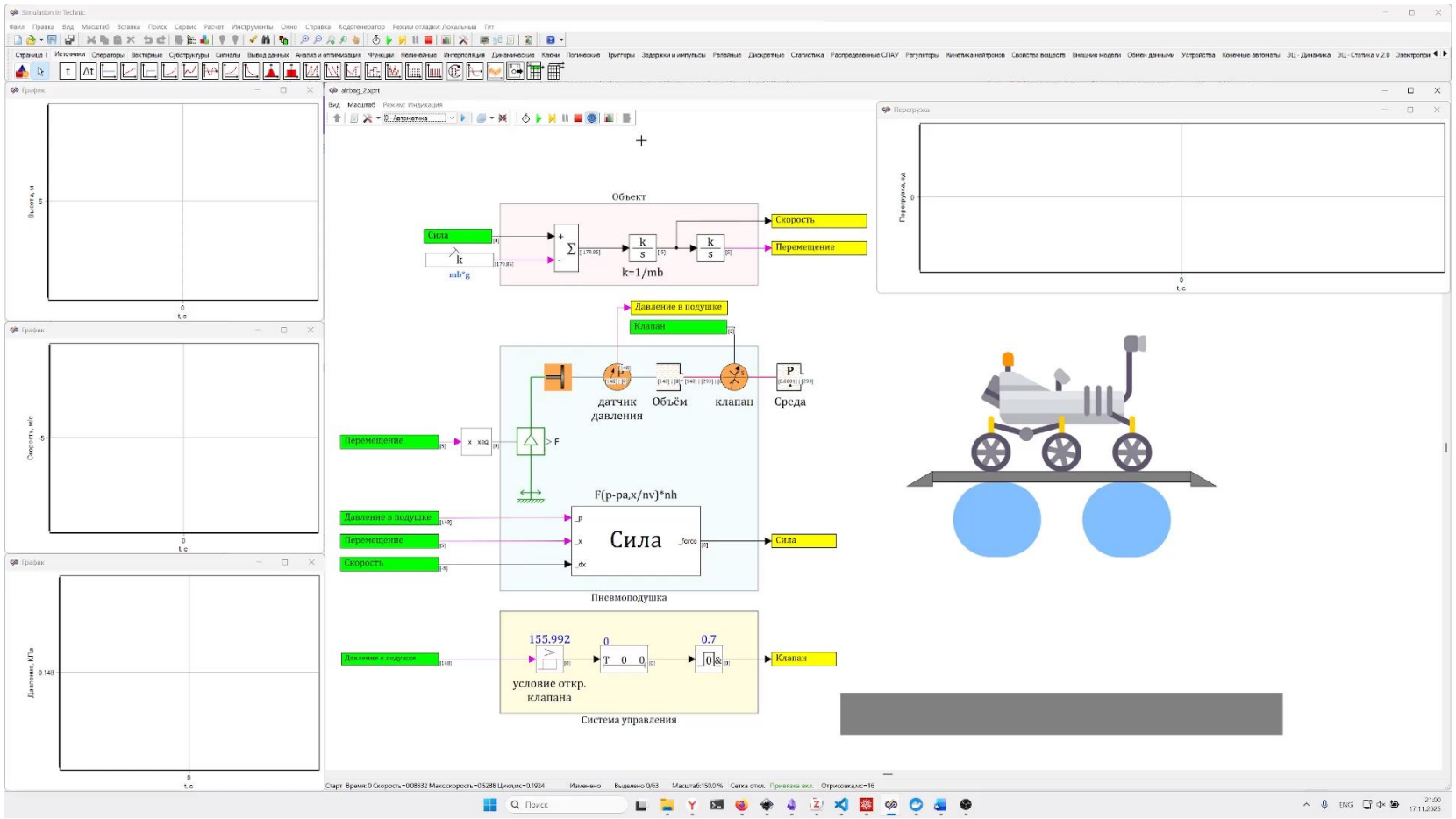
# Преимущества




- Готовые блоки математических и физических компонентов
- Наглядное представление структуры системы: соответствие визуальной структуры модели реальной структуре системы
- Построение модели без разработки большого объёма кода
- Автоматическая организация вычислений и численного интегрирования
- Встроенная визуализация, отладка и анализ результатов

# Преимущества

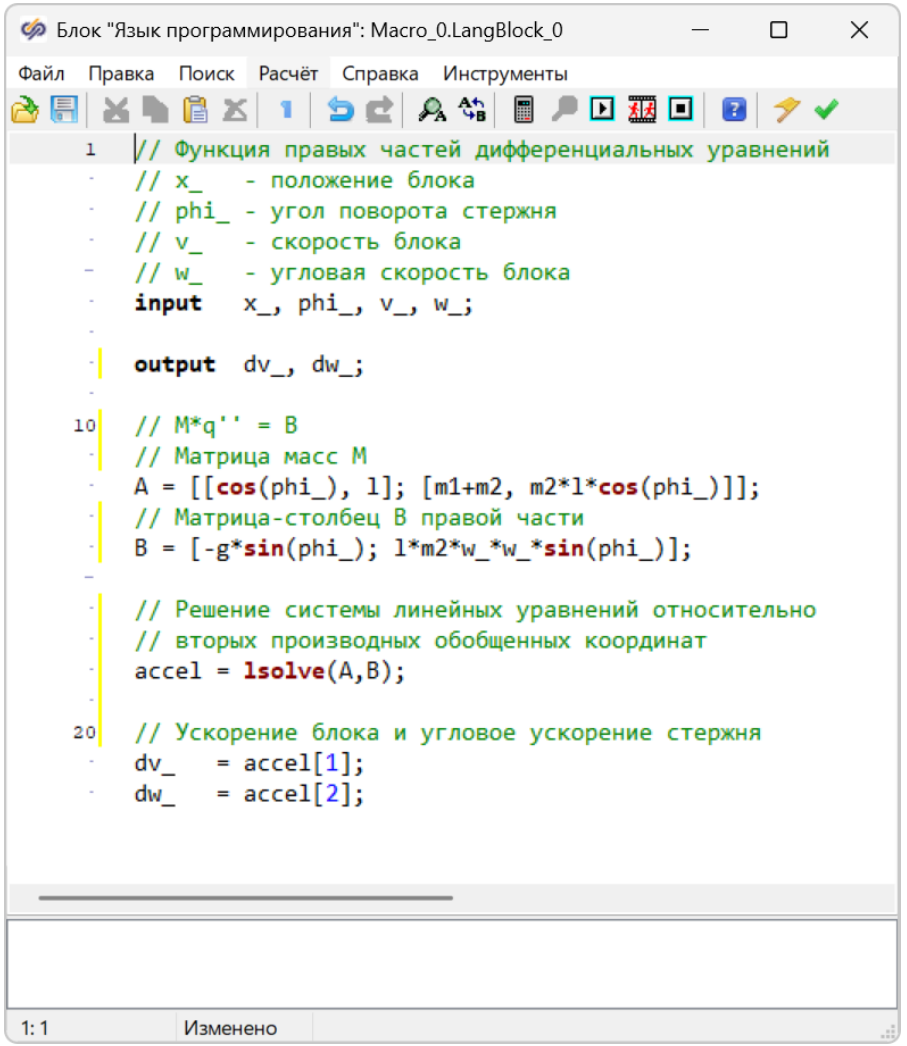



Модель пневмоамортизатора

- Иерархическая структура и повторное использование подсистем
- Быстрое изменение и сравнение вариантов модели
- Удобная совместная работа специалистов разных профилей
- Удобство отладки

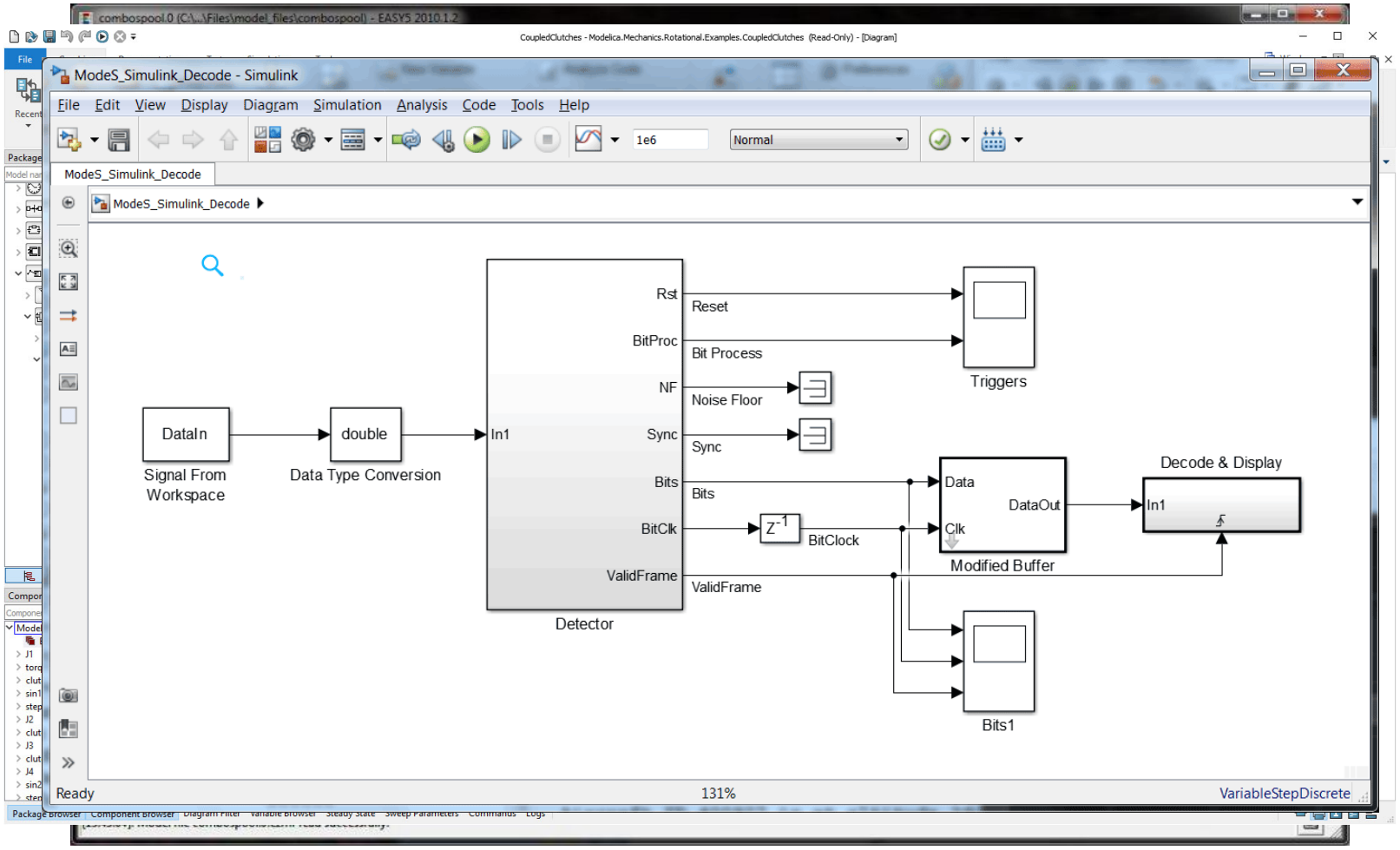
кадры для космоса

# Язык программирования




- Язык программирования на основе языка Pascal
- Встроенные типы данных: вектор, матрица. Матричные операции
- Набор функций для преобразования координат (матрицы, углы Эйлера, кватернионы)

# Аналоги




- MATLAB Simulink
- OpenModelica
- EASY5
- Engee

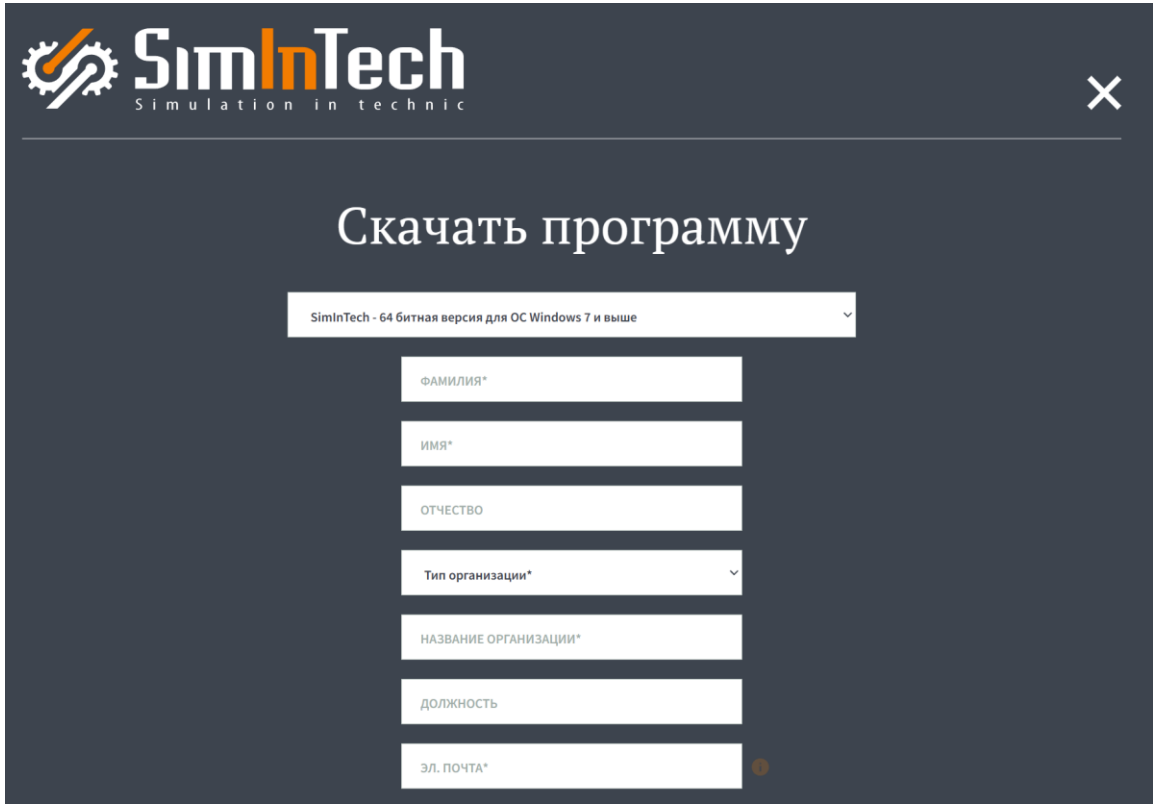
кадры для космоса

# Установка

## Ограничения бесплатной версии

## Бесплатная версия для студентов и аспирантов

# Установка SimInTech

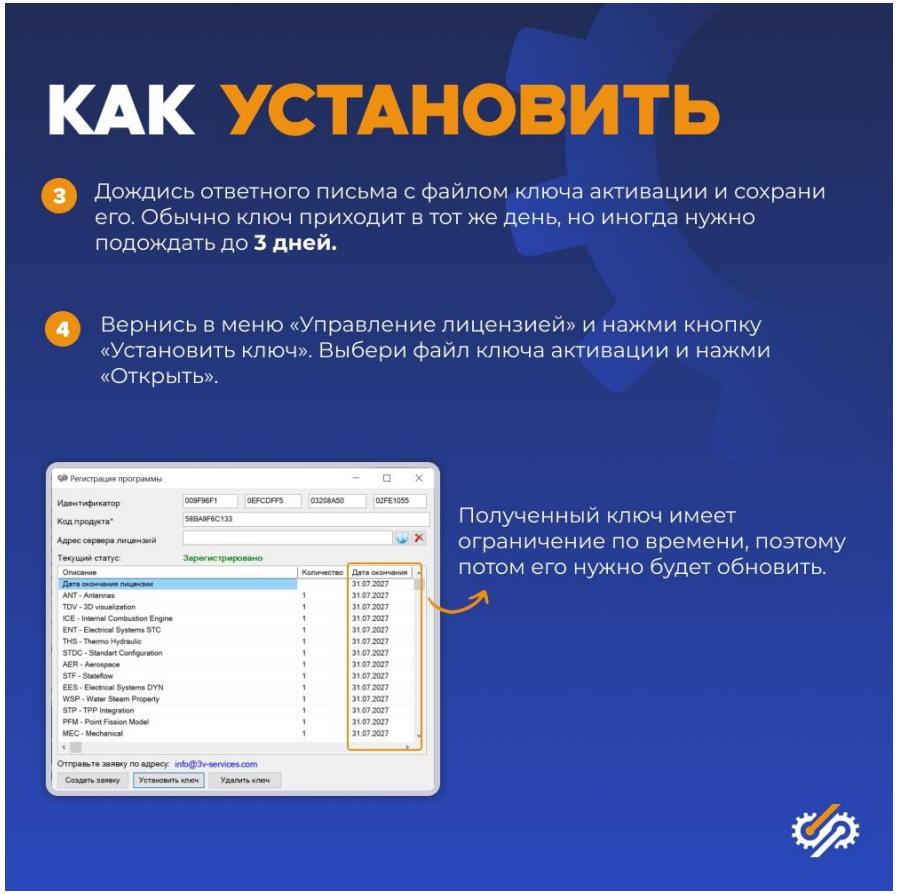



https://simintech.ru/

- Перейти на страницу simintech.ru
- Перейти в раздел «Скачать дистрибутив» или нажать кнопку «Скачать»
- Выбрать тип дистрибутива
- Заполнить форму, обязательно указав адрес электронной почты
- Ссылка на дистрибутив придет в ответном письме
- По умолчанию программа работает в демонстрационном режиме: ограничена сложность создаваемой модели

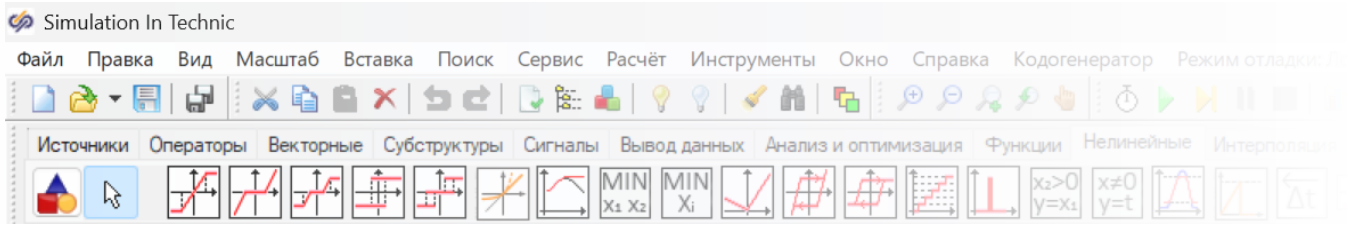
# Для студентов и аспирантов

[Бесплатная лицензия SimInTech для студентов и аспирантов.]




- Можно запросить временную лицензию
- Бесплатная учебная лицензия на SimInTech на весь период обучения в колледже или ВУЗе
- Запросить ключ: Справка → Управление лицензией → [Создать заявку]
- Отправить файл заявки по электронной почте на адрес info@3v-services.com вместе с подтверждающими факт обучения документами
- Установить ключи лицензии: Справка → Управление лицензией → [Установить ключ] → в диалоговом окне выбрать присланный файл лицензии

кадры для космоса




# Интерфейс

Главное окно

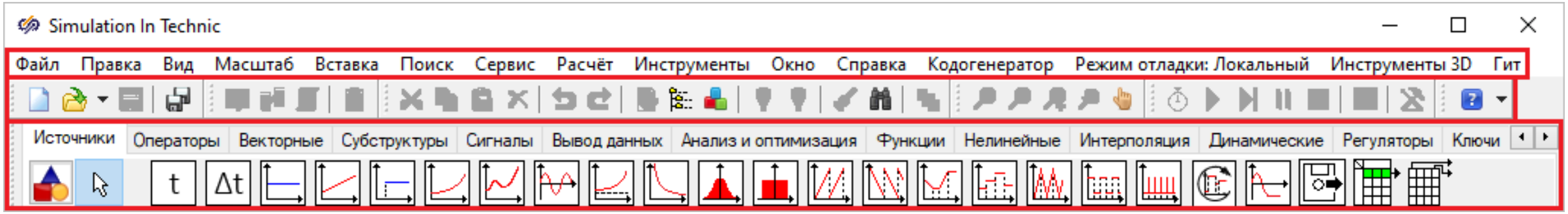
Окно проекта

Библиотека блоков

Скрипт проекта

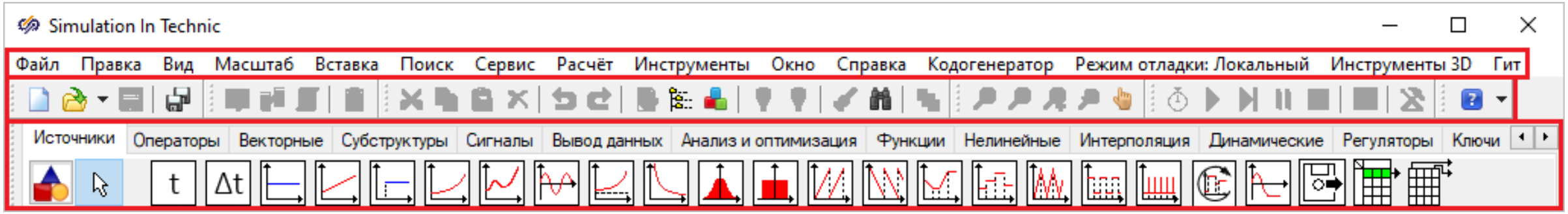
кадры для космоса

# Главное окно



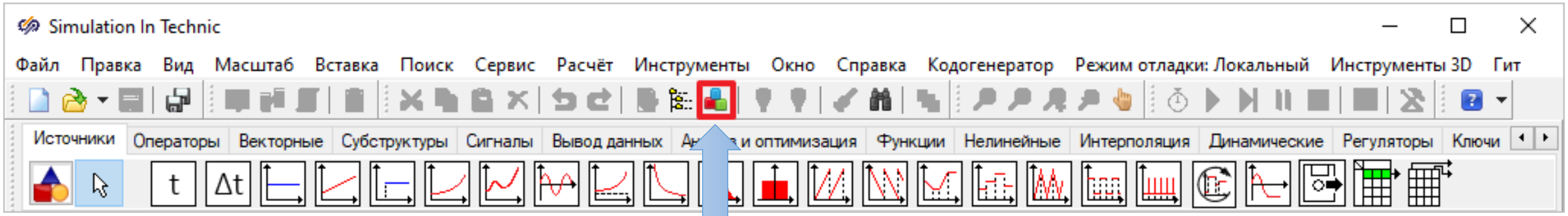

- **Меню главного окна** – позволяет производить настройку программы, управлять созданием, редактированием и расчетом разработанных моделей, содержит инструменты работы с базой данных, настройки параметров отображения главного окна и пр.
- **Панель кнопок** – настраиваемая область с набором сгруппированых кнопок, отвечающих за ряд часто используемых команд.

# Главное окно

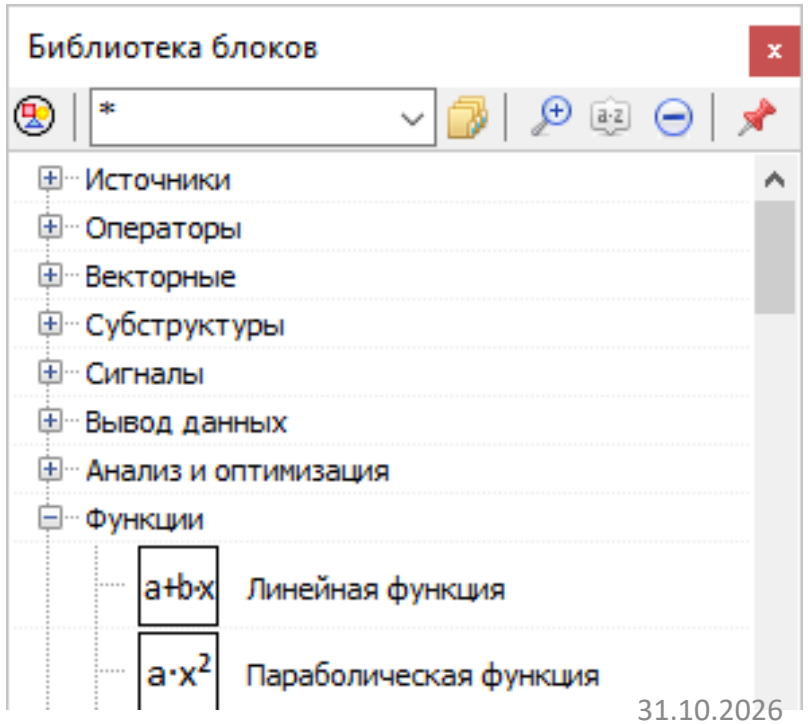



- **Палитра блоков** – набор блоков  для создания математических моделей в активном проекте.
- Блоки в палитре блоков сгруппированы по библиотекам с учетом общих признаков.
- Набор блоков в палитре блоков изменяется в зависимости от выбранного типа проекта, например, открыт или создан проект **Автоматика**, то отображается палитра блоков для реализации общих схем, а когда выбран решатель **“Теплогидравлика”**, то отображается набор блоков для реализации теплогидравлических моделей

# Главное окно

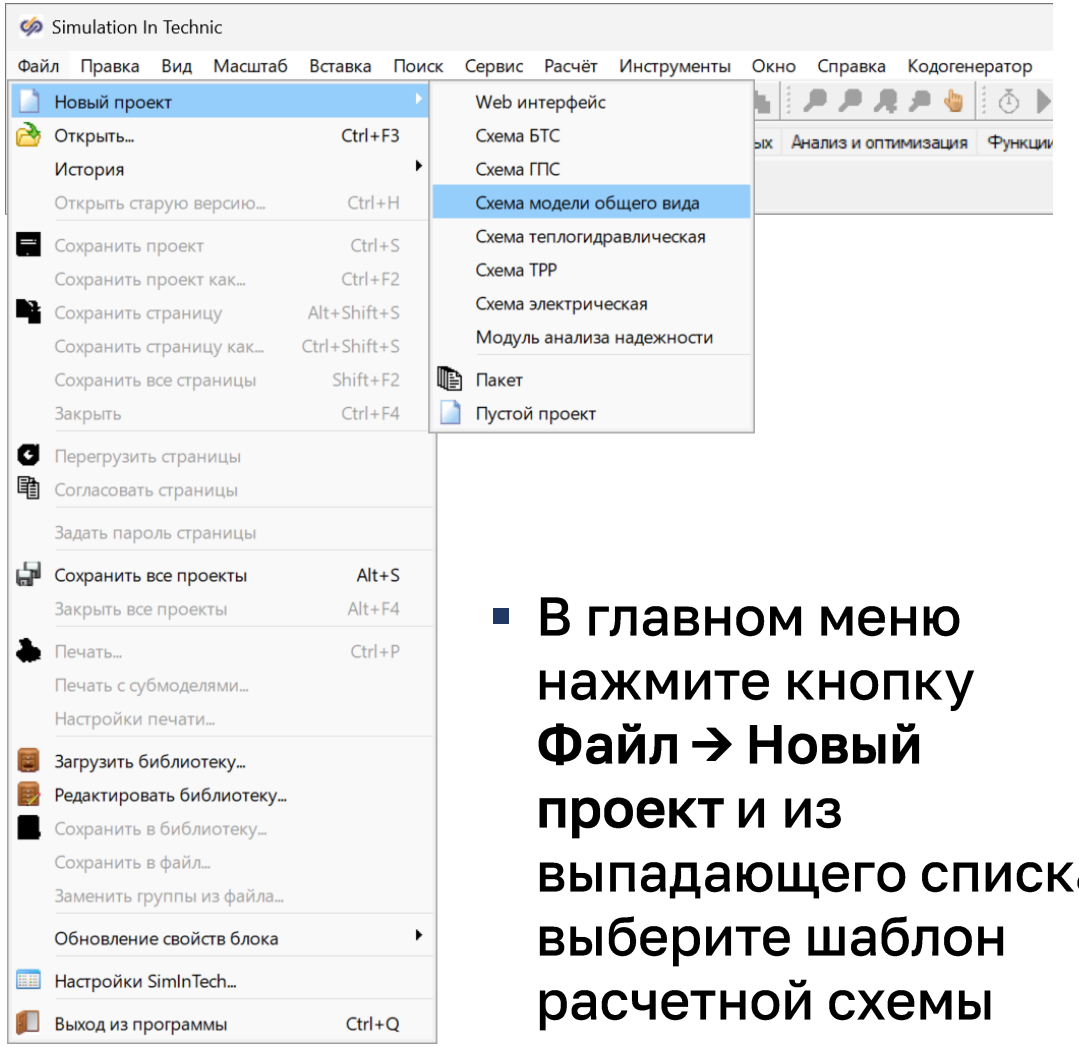



- Для отображения палитры блоков в виде дерева необходимо нажать на кнопку "Библиотека блоков"

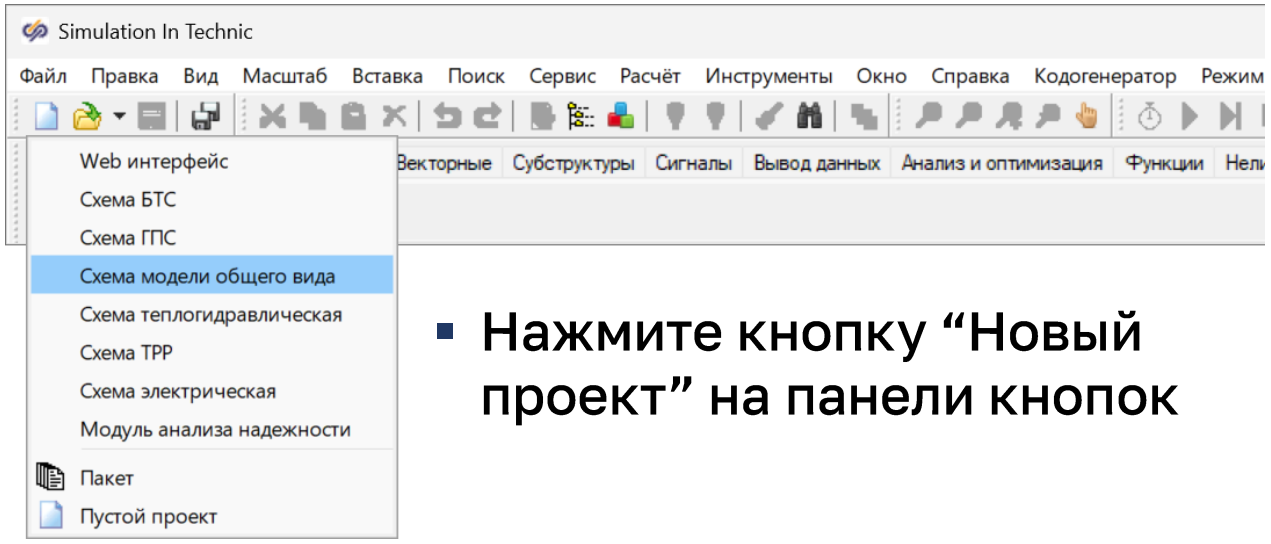



кадры для космоса

# Создание проекта (схемы)



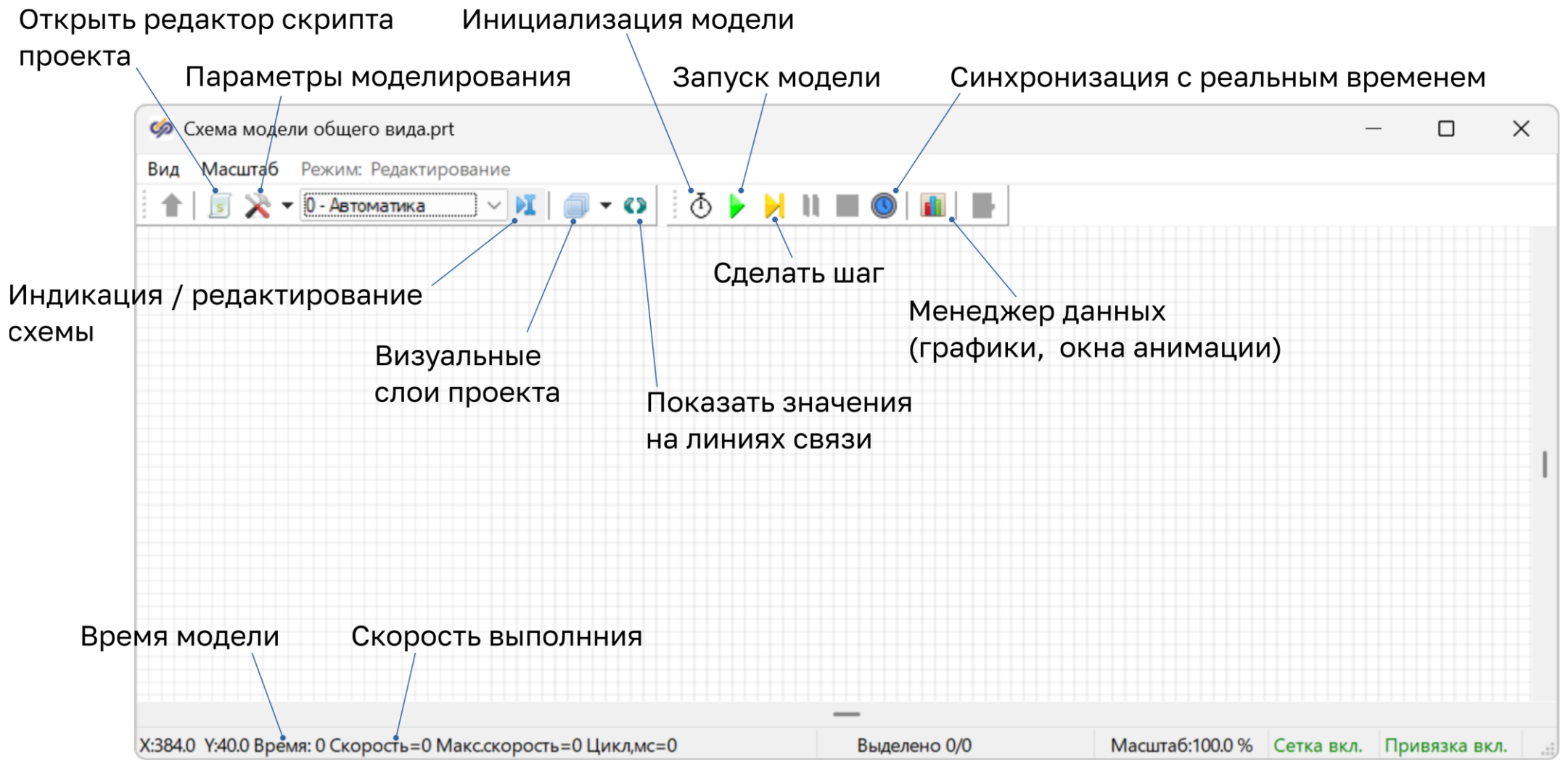

- В главном меню нажмите кнопку **Файл → Новый проект** и из выпадающего списка выберите шаблон расчетной схемы



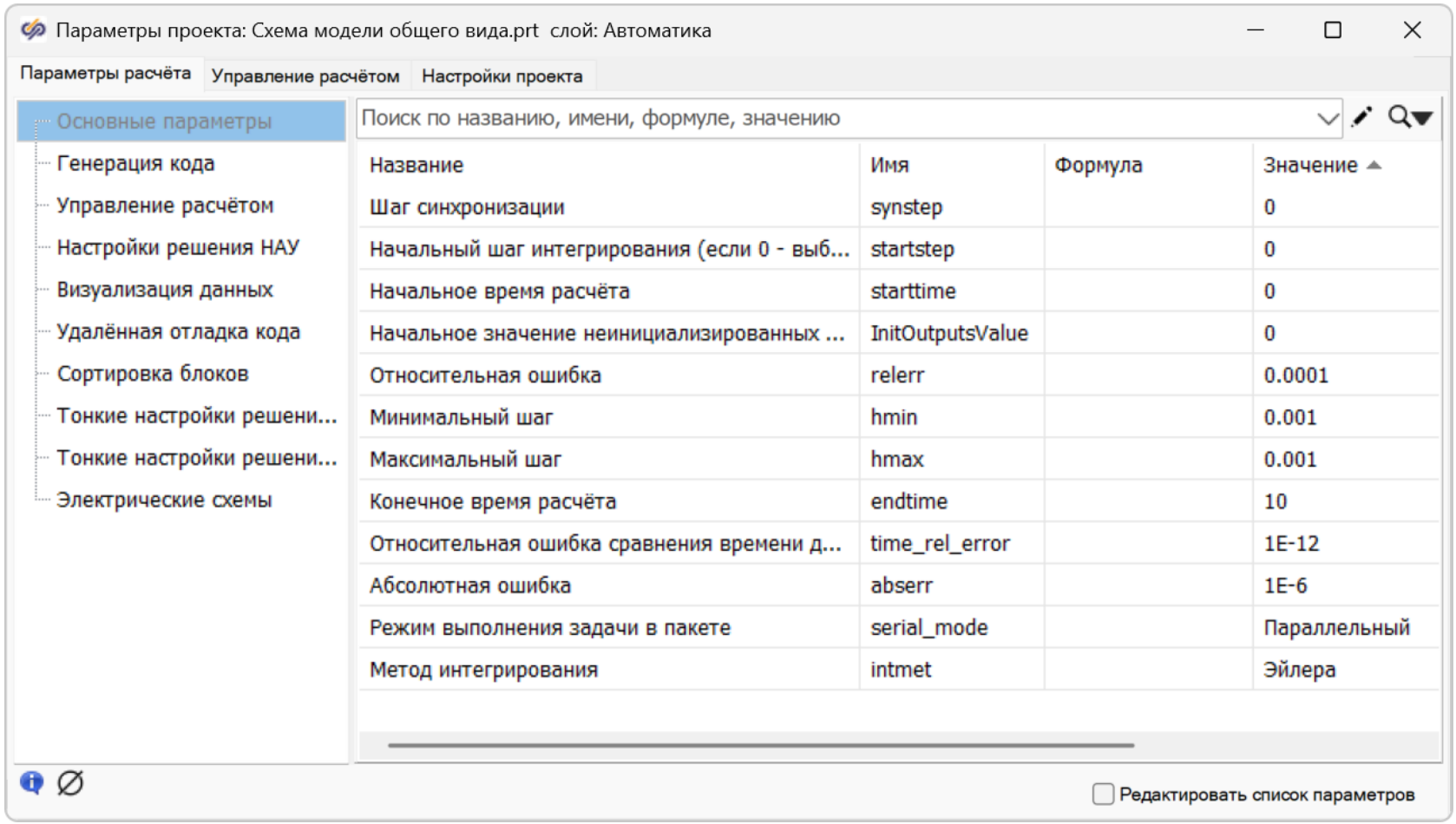

- Нажмите кнопку “Новый проект” на панели кнопок

кадры для космоса

# Окно проекта



# Настройки проекта




- Метод интегрирования
- Конечное время расчёта
- Точность (абсолютная и относительная погрешность)
- Шаг минимальный и максимальный

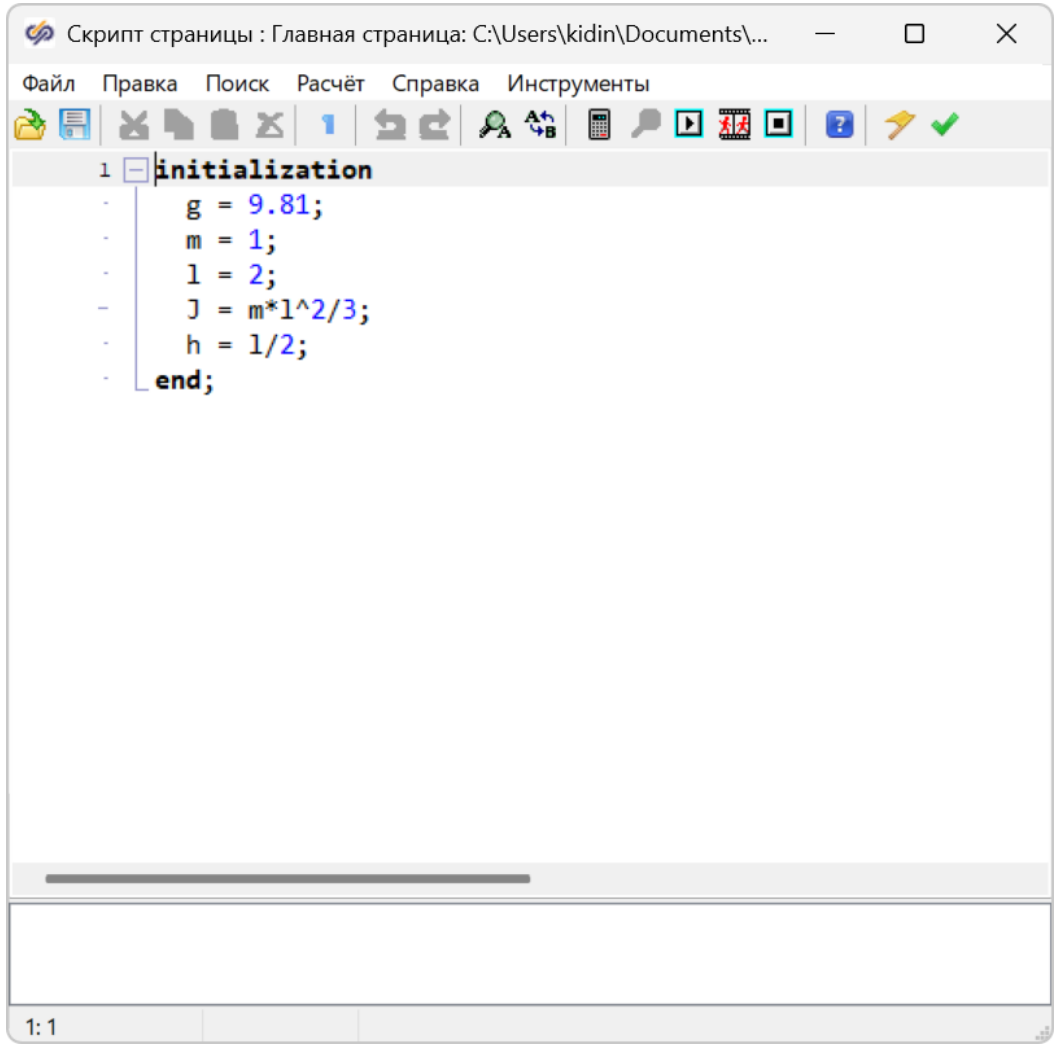
# Методы интегрирования

| | | |
|---|---|---|
| Классические явные методы Рунге-Кутты | RK3, RK4, RK5 | Решения нежестких задач |
| Адаптивные явные методы | ARK21, ARK32, ARK43, ARK2os, AM61 | Решения жестких задач с вещественным жестким спектром матрицы Якоби |
| Стабилизированные явные методы Рунге–Кутты | SRK2, SRK2m2 | Решения жестких задач с вещественным жестким спектром матрицы Якоби |
| Неявные методы | ESDIRK2, ESDIRK3, ESDIRK4, Gear51 | Неявные методы предназначены для решения жестких ОДУ и дифференциально-алгебраических уравнений индексов 2 и 3 |

**Для умеренно жестких задач: RK3, RK4, ARK43, AM61**

**При повышенных требованиях к точности: RK5, AM61, ESDIRK4, Gear51**

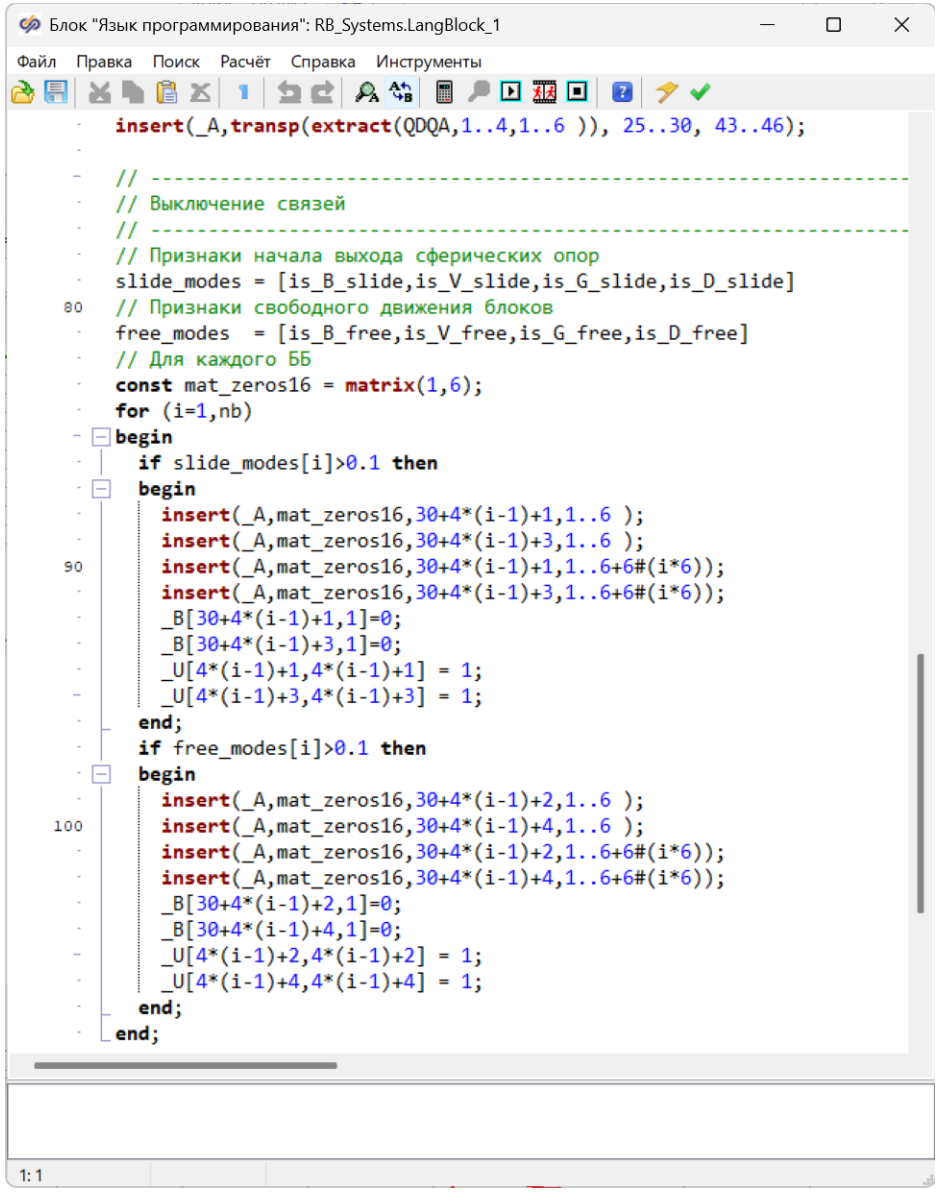
# Скрипт проекта




- В секции инициализации скрипта проекта могут задаваться или вычисляться параметры модели (вычисляемые перед запуском моделирования)
- Код вне секции инициализации исполняется на каждом шаге
- Код в секции финализации исполняется при достижении конечного времени

# Язык программирования

# Язык программирования




- **Язык программирования SimInTech** – высокоуровневый интерпретируемый язык программирования.
- Задание глобальных или локальных констант и переменных проекта
- Создание программ, которые могут использоваться как совместно, так и отдельно с моделями, созданными из блоков с применением визуального программирования, как для главной страницы проекта, так и для страниц субмоделей.
- Создание программ, которые функционируют в блоках **Язык программирования** и **Субмодель**
- Создания технической анимации в SimInTech.

# Подпрограммы, циклы, условия

### IF / ELSE

```
var k = 5;
if k>0 then
  k=0
else
begin
  k=-1;
  i=0;
end;
```

### SWITCH

```
switch(X)
begin
1: begin
     a = 2;
   end;
2: begin
     a = 2;
   end;
else
     a = 0;
   end;
end;
```

### FUNCTION

```
function PolyF(A,B)
  PolyF = A*A + B*B;
end;
```

### FUNCTION или PROCEDURE

```
function SumQ(A,out R:integer):tcomplex
  SumQ = sqr(A);
  R = round(real(SumQ))
end;
```

### FOR

```
var s=0;
for (i=1,10,2)
begin
   s = s+i^2;
end;
```

### WHILE

```
var i = 1;
while i<= 10 do
begin
  i = i + 1;
end;
```

### REPEAT

```
var i=1;
repeat
  i = i+1;
until i=10;
```

### GOTO

```
Label1: i=i+1;
if i<10 then
  goto Label1;
```

**exit** - выход из текущего программного блока (процедуры или страницы кода):

- если exit внутри функции, то происходит выход из функции.
- если exit внутри субмодели, то завершается выполнение скрипта на данном шаге субмодели.

# Массивы и матрицы

- Векторы и матрицы

```
a = [10,20,30];
m = [[10,20,30],[9,8,7]];
```

- Векторы и матрицы

  `a[1]` – первый элемент массива

  `m[1,2]`– **первая** строка **второй** столбец

- Умножение матриц по правилам матричного умножения (векторов – поэлементно)

```
a*b
```

- Поэлементное умножение и деление матриц

```
a.*b  a./b
```

- Возведение в степень матрицы и поэлементно

```
a^2    a.^2
```

- $AB^{-1}$

```
a/b
```

- $A^{-1}B$

```
a\b
```

- Генератор списков

```
a=1..5;   // a = [1,2,3,4,5]
a=1..9:2; // a = [1,3,5,7,9]
a=3#0.1;  // a = [0.1,0.1,0.1]
```

- Объединение векторов

```
a = [1, 2, 3]; b = [4, 5];
c = a & b // c = [1,2,3,4,5]
```

# Функции

- Транспонирование матрицы

```
b = transp(a)
```

- Извлечение элементов из матрицы или вектора по номерам

```
C = extract(M, rows, cols)
```

- Замена элементов матрицы M

```
insert(M,new_el,rows,cols)
```

- Интерполяция по таблице

```
y = interpol(x_array, y_array, x)
```

- Решение системы линейных уравнений, заданной матрицей коэффициентов и столбцом правой части $A\,x = B$:

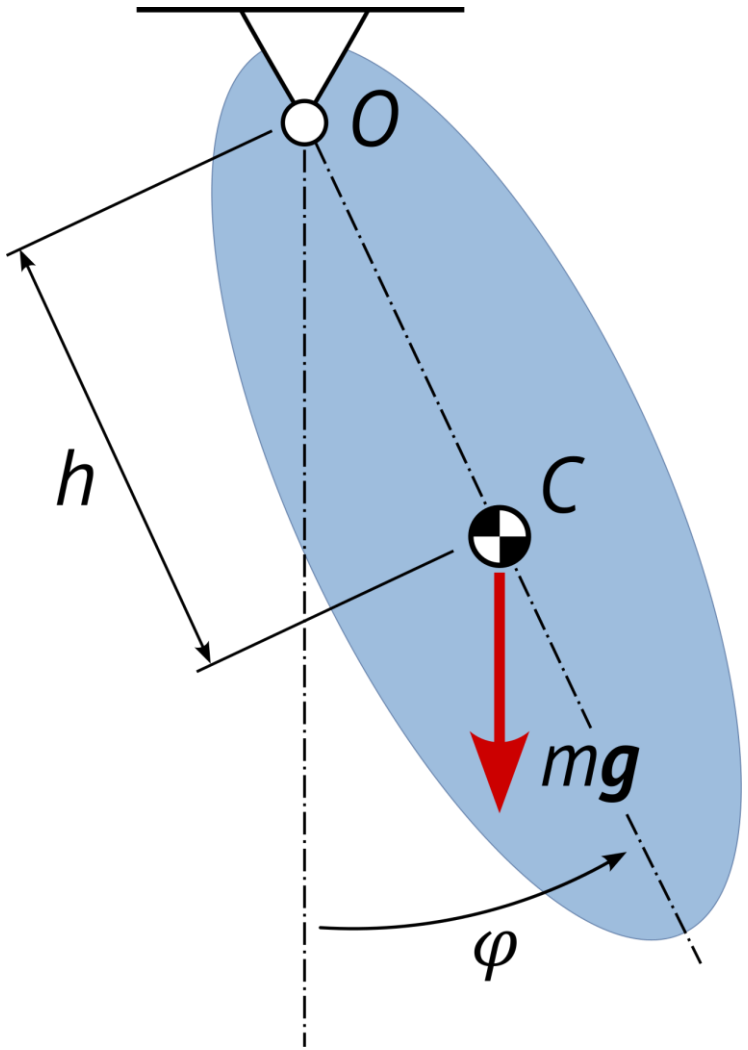
```
X = lsolve(A,B)
```

- Специальные функции
- Функции интерполяция и аппроксимации
- Файловые функции
- Функции работы с xml, json, excel
- Случайные числа
- Комплексные числа
- Статистические
- Графические

# Преобразования координат

| Типы угловых координат | | Источник | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | **Кватернион** | **Ось и угол** | **Матрица поворота** | **Матрица однородного преобразования** | **Углы Эйлера** | **Рысканье, тангаж, крен** |
| **Результат** | **Кватернион** | • | axang2quat | rmat2quat | tform2quat | eul2quat | ypr2quat |
| | **Ось и угол** | quat2axang | • | rmat2axang | tform2axang | eul2axang | ypr2axang |
| | **Матрица поворота** | quat2rmat | axang2rmat | • | tform2rmat | eul2rmat | ypr2rmat |
| | **Матрица однородного преобразования** | quat2tform | axang2tform | rmat2tform | • | eul2tform | ypr2tform |
| | **Углы Эйлера** | quat2eul | axang2eul | rmat2eul | tform2eul | • | ypr2eul |
| | **Рысканье, тангаж, крен** | quat2ypr | axang2ypr | rmat2ypr | tform2ypr | eul2ypr | • |

# Физический маятник

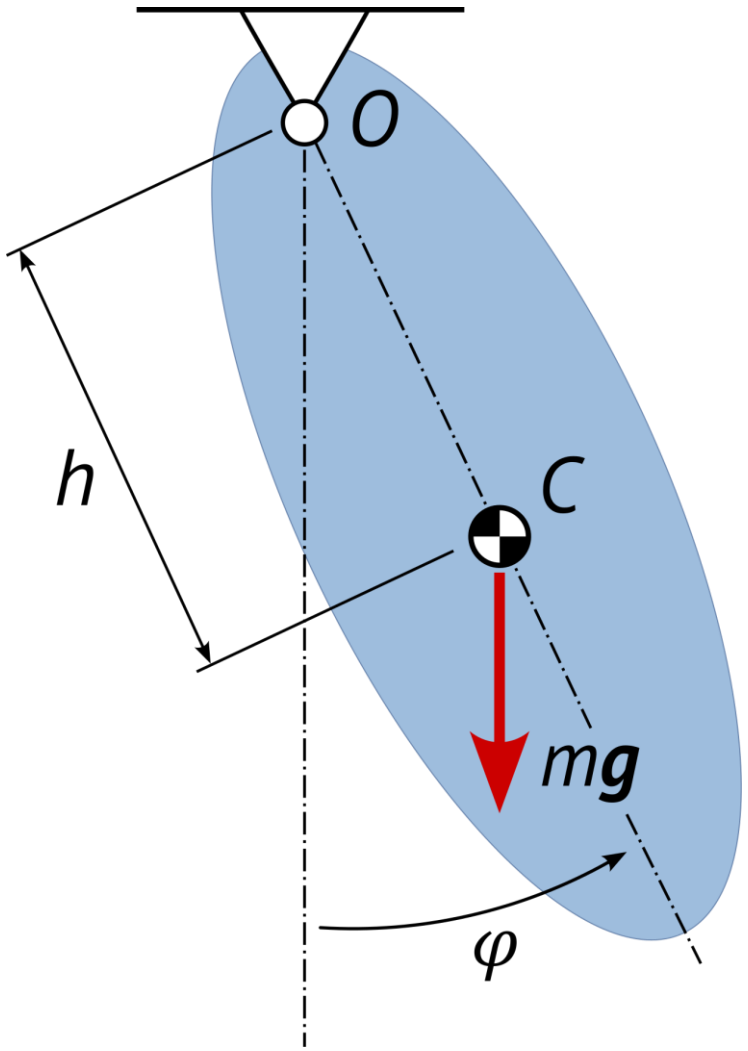



Дифференциальное уравнение движения физического мятника:

$$\ddot{\varphi} = -\frac{mgh}{J}\sin\varphi$$

| Параметр | Наименование |
|---|---|
| $m$ | масса |
| $h$ | расстояние от оси вращения до центра масс |
| $J$ | момент инерции относительно оси вращения O |
| $g$ | ускорение свободного падения |

# Уравнение движения




Уравнение движения физического мятника:

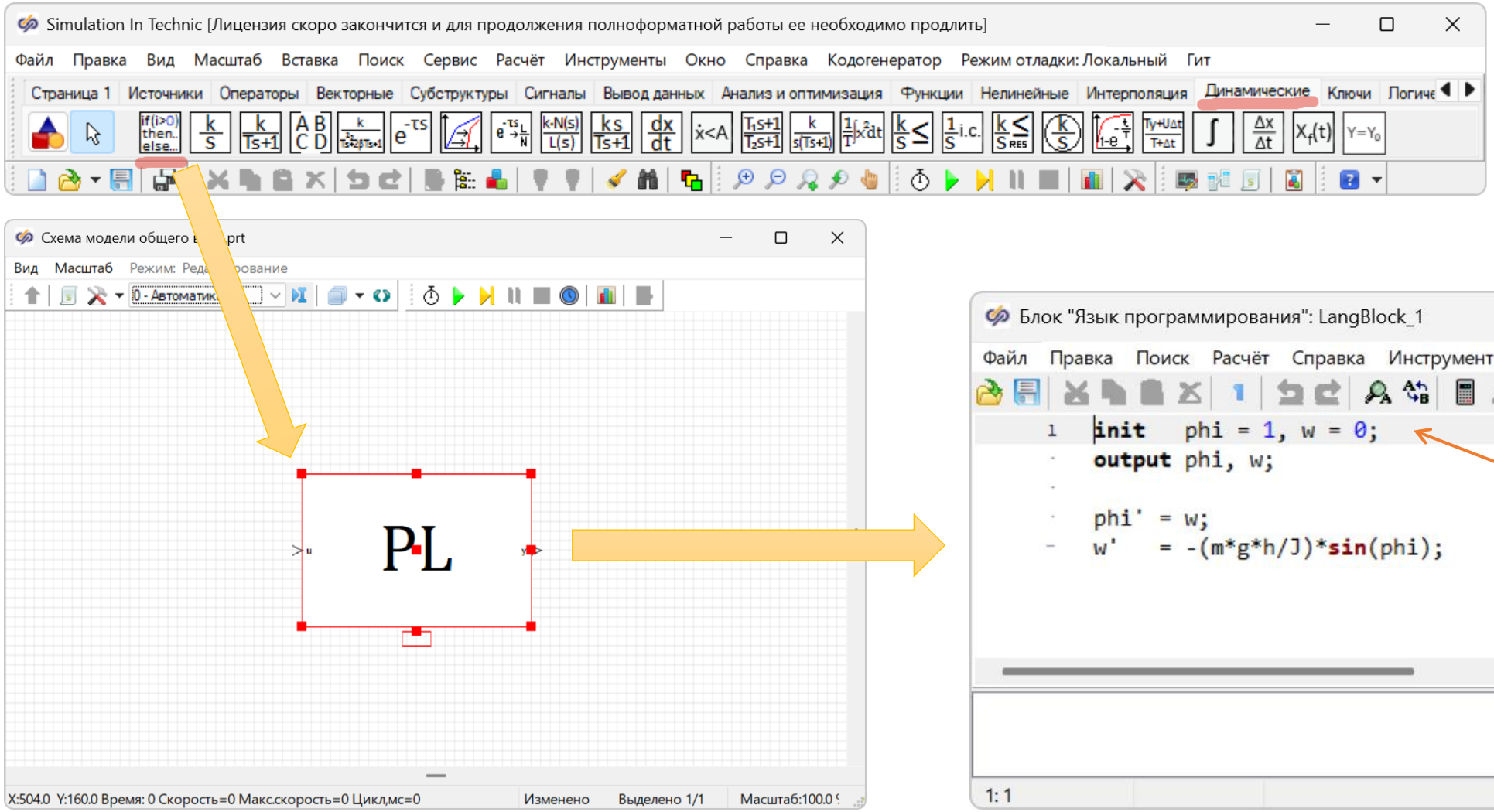
$$\ddot{\varphi} = -\frac{mgh}{J}\sin\varphi$$

Система уравнений первого порядка:

$$\begin{cases} \dot{\varphi} = \omega \\ \dot{\omega} = -\dfrac{mgh}{J}\sin\varphi \end{cases} \rightarrow \begin{bmatrix} \dot{\varphi} \\ \dot{\omega} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \omega \\ -\dfrac{mgh}{J}\sin\varphi \end{bmatrix}$$

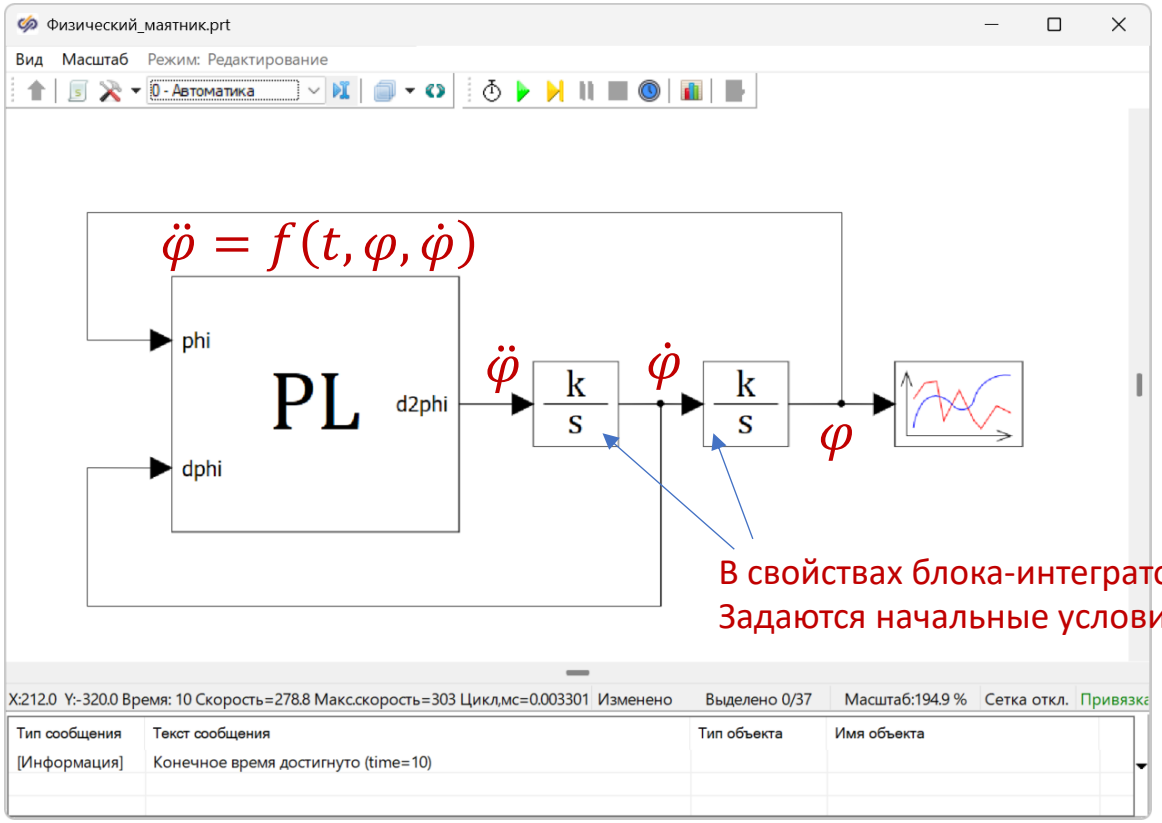
$$\dot{\boldsymbol{q}} = \boldsymbol{f}(t, \boldsymbol{q}), \qquad \boldsymbol{q} = \begin{bmatrix} \varphi \\ \omega \end{bmatrix}$$

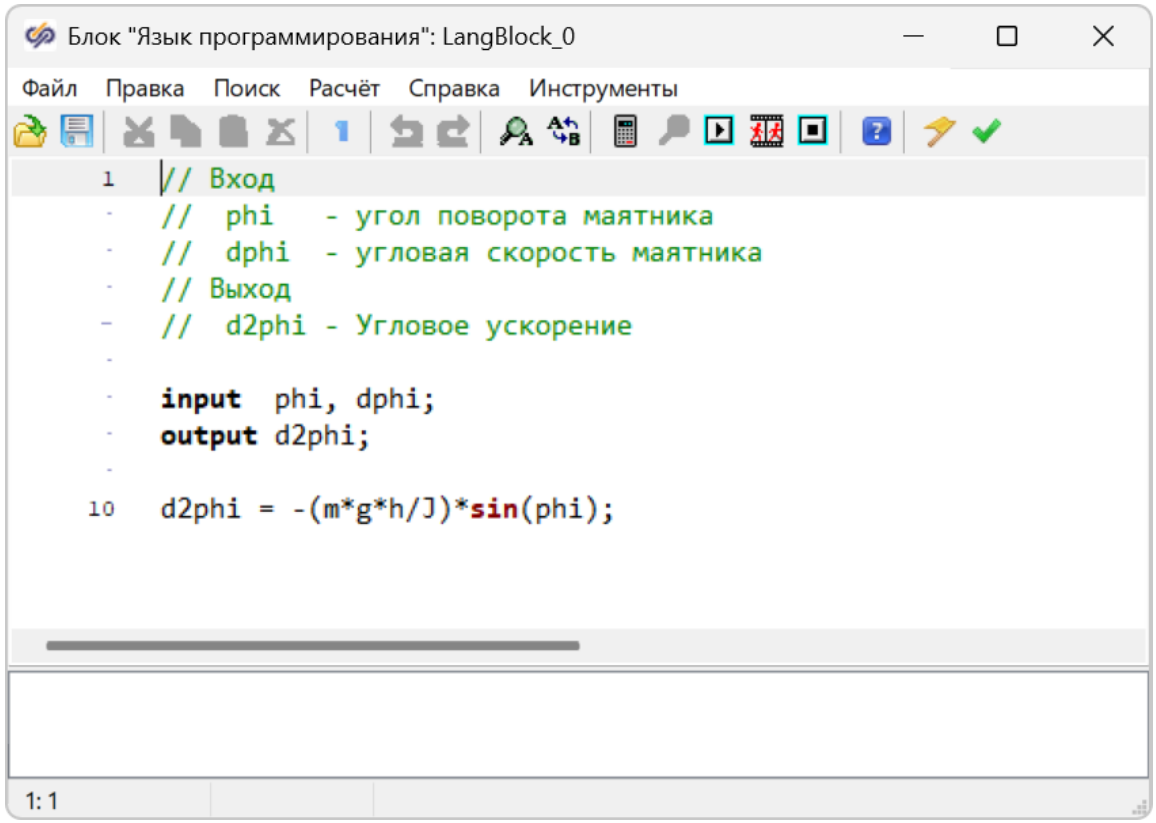
# Модель - код


Simulation In Technic [Лицензия скоро закончится и для продолжения полноформатной работы ее необходимо продлить]
Файл Правка Вид Масштаб Вставка Поиск Сервис Расчёт Инструменты Окно Справка Кодогенератор Режим отладки: Локальный Гит
Страница 1 Источники Операторы Векторные Субструктуры Сигналы Вывод данных Анализ и оптимизация Функции Нелинейные Интерполяция Динамические Ключи
Вид Масштаб
PL
X:504.0 Y:160.0 Время: 0 Скорость=0 Макс.скорость=0 Цикл,мс=0
Изменено
Выделено 1/1
Блок "Язык программирования": LangBlock_1
Файл Правка Поиск Расчёт Справка Инструменты
1 init phi = 1, w = 0;
output phi, w;
phi' = w;
w' = -(m*g*h/J)*sin(phi);
Начальные условия задаются в коде блока
1: 1

# Функция правой части

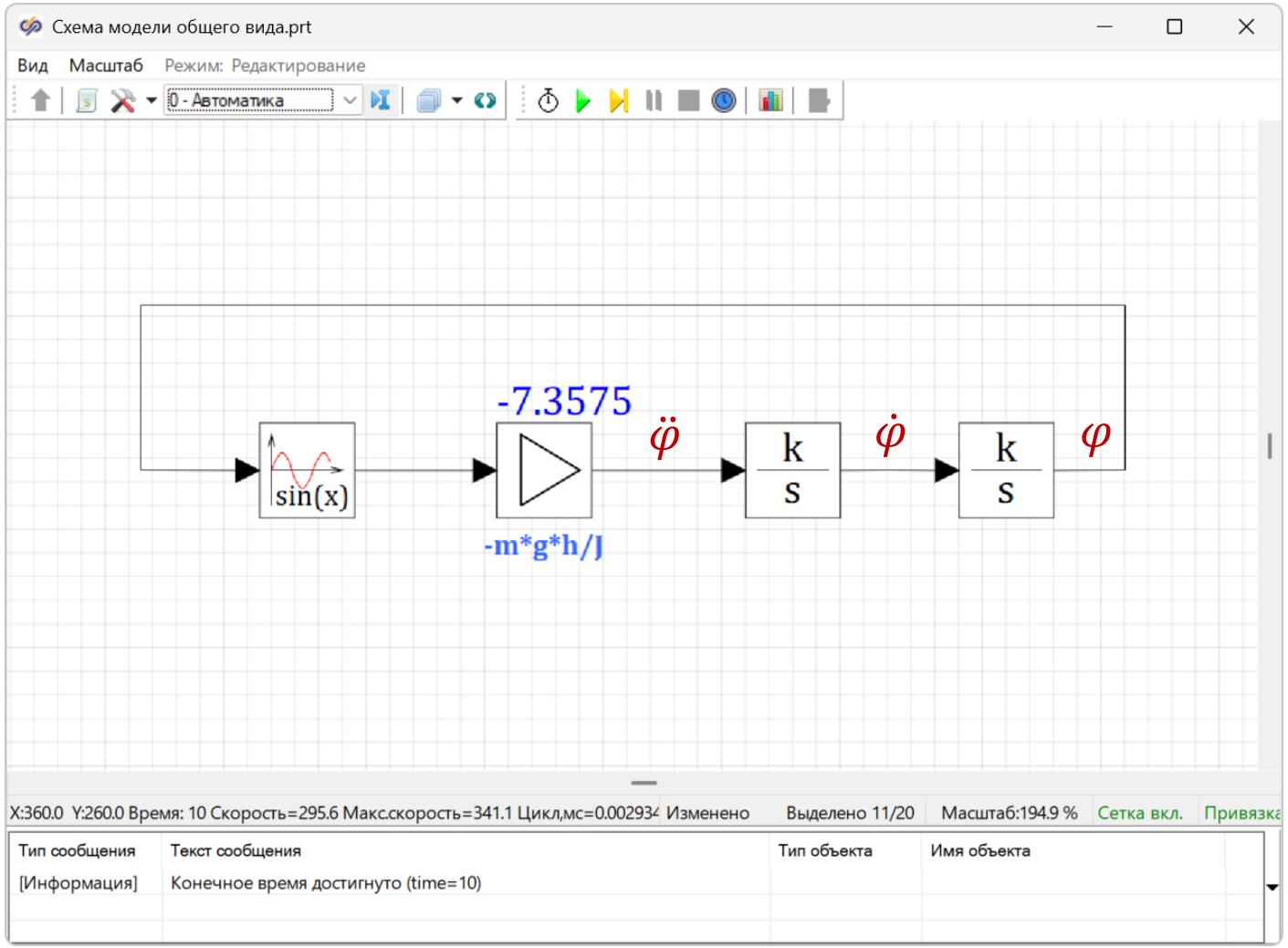
$$\ddot{\varphi} = -\frac{mgh}{J}\sin\varphi$$



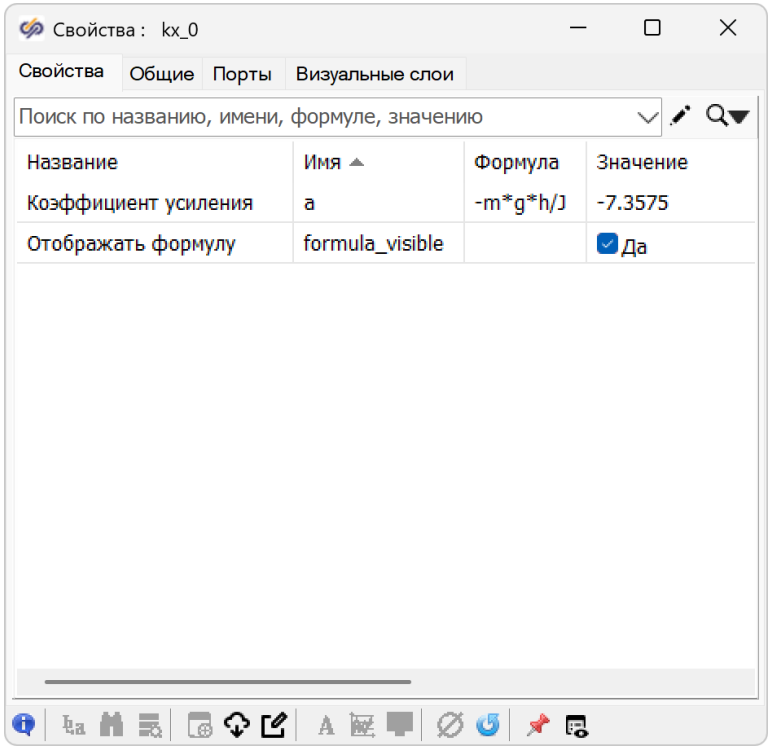




кадры для космоса

# Модель из блоков

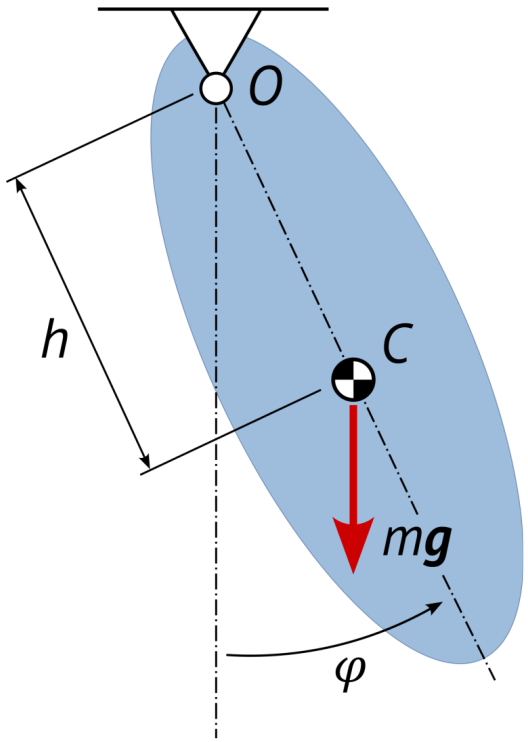


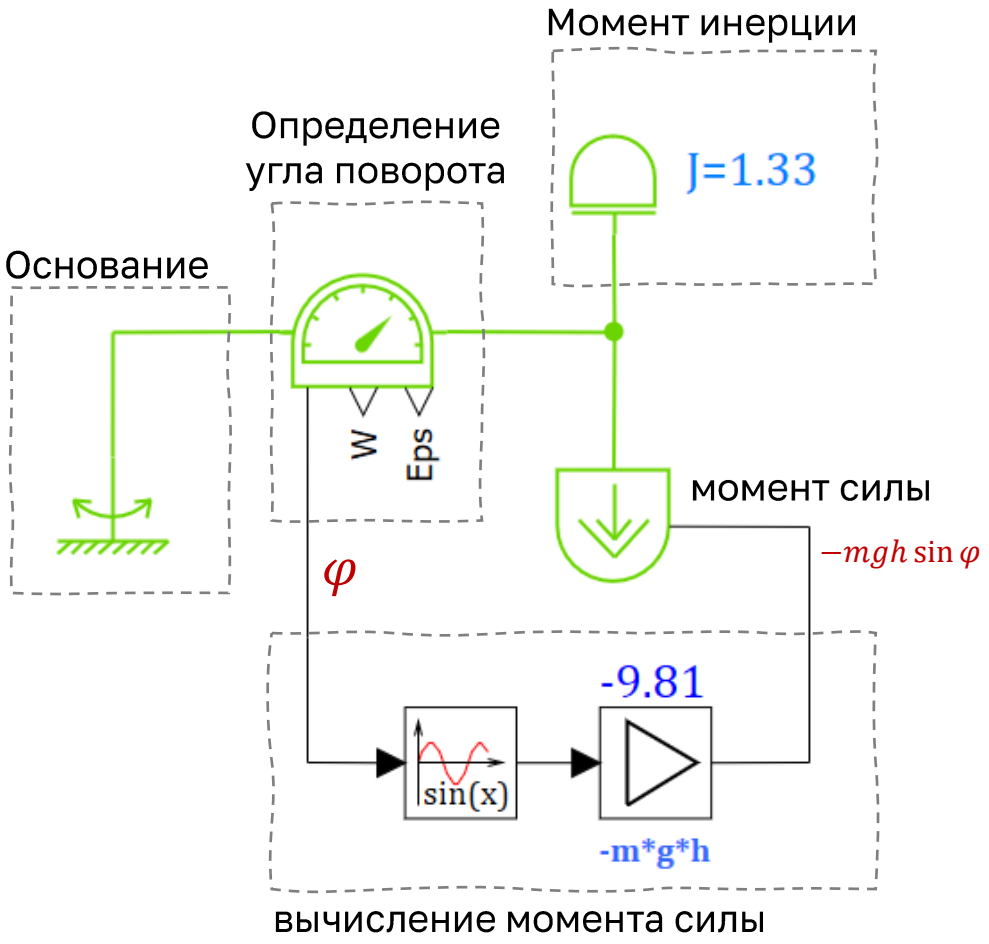

- Блок вычисления синуса
- Усилитель сигнала
- Два блока – интегратора




кадры для космоса

# Библиотека «Механика»



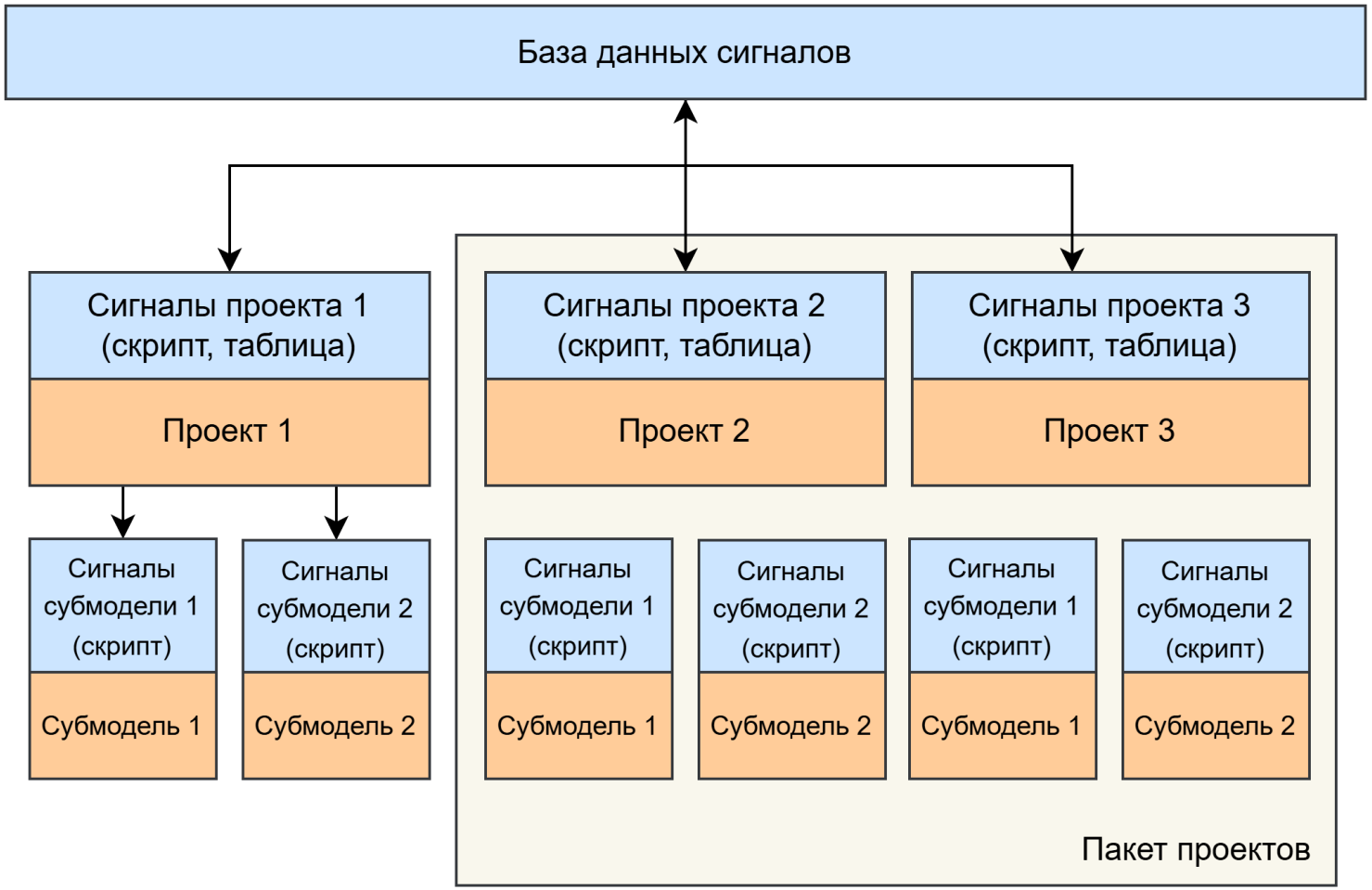

- Блок «Инерция вращательного движения»
- Источник момента с входным математическим портом, на который подаётся значение момента
- Датчик (измеритель) угла поворота, угловой скорости и ускорения для вычисления момента

# Сигналы

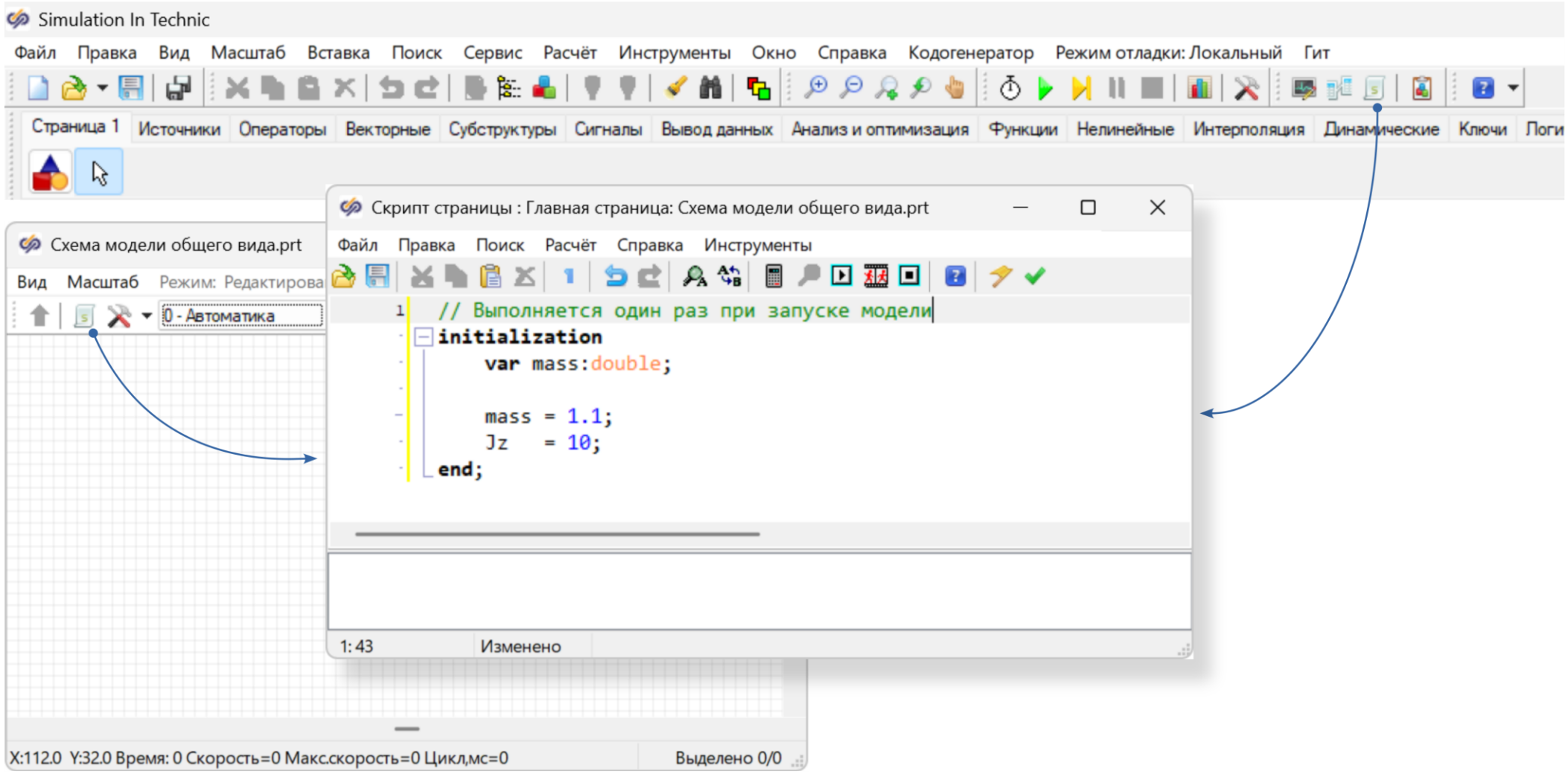
Организация модели. Глобальные переменные и параметры: сигналы в скрипте проекта, таблица сигналов, база данных сигналов

# Глобальные переменные - сигналы

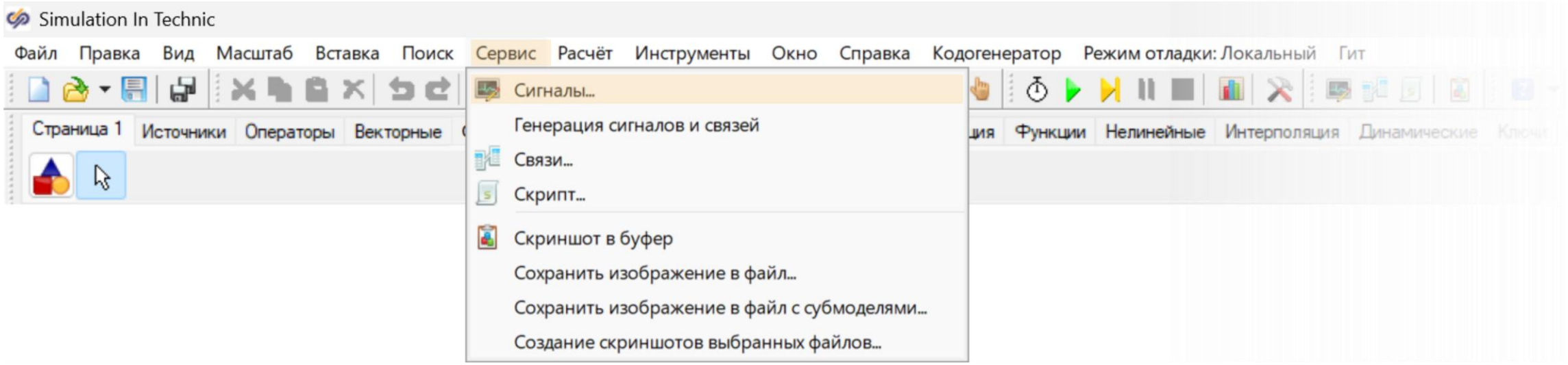
- Глобальные переменные модели в SimInTech называются **сигналами**
- Способы объявления **сигналов:**
  - в скрипте проекта
  - в таблице сигналов
  - в базе данных сигналов
- Сигналы **базы данных** можно использовать в нескольких проектах (работающих независимо или в пакете проектов)

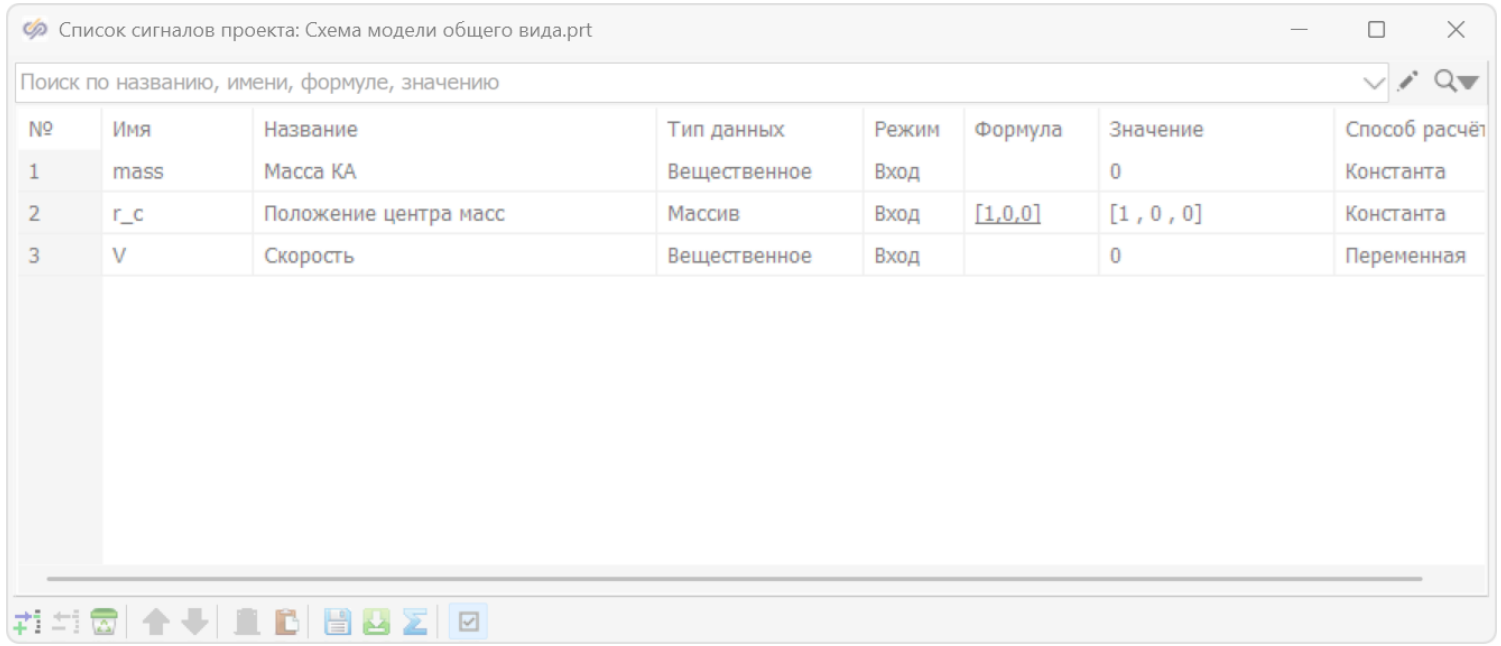


# Сигналы в скрипте проекта



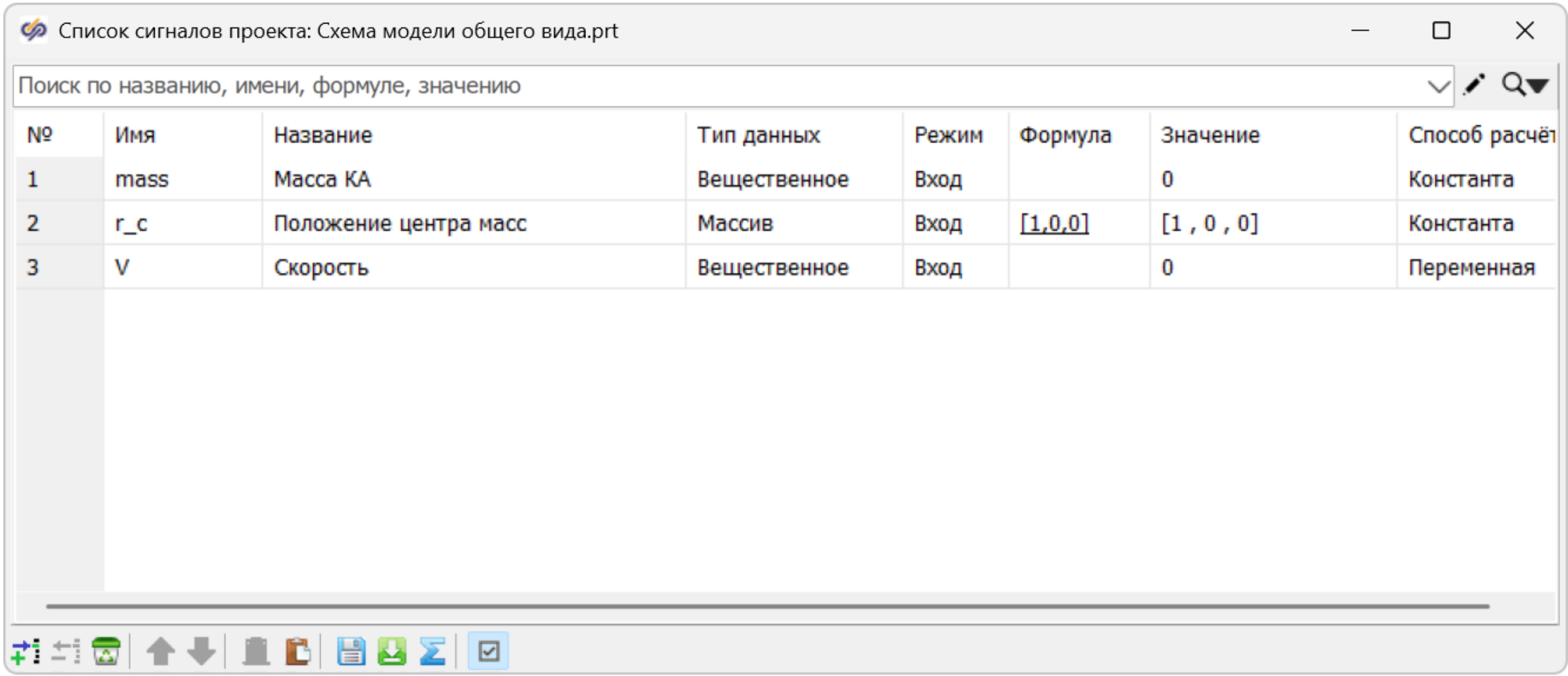
# Таблица сигналов




кадры для космоса

# Таблица сигналов

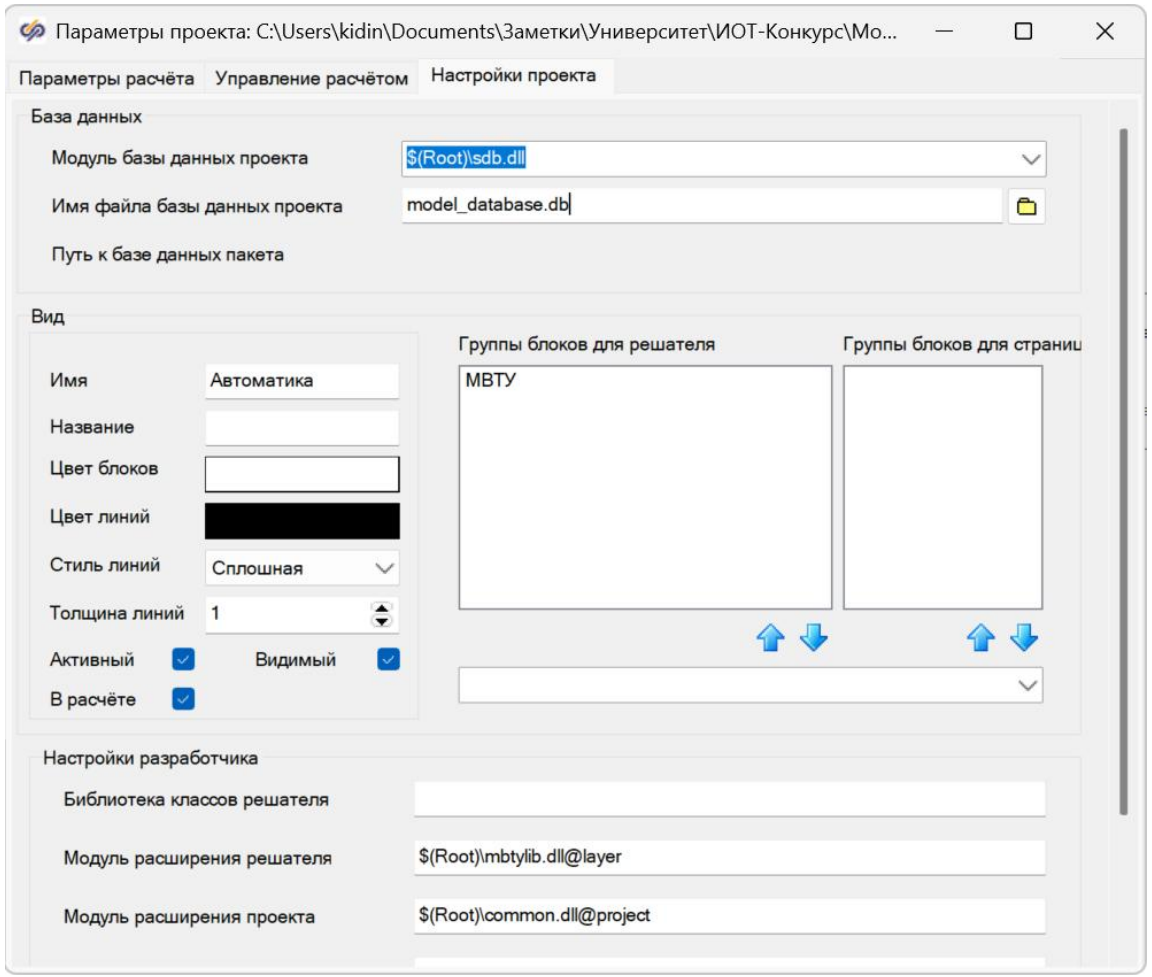



| № | Имя | Название | Тип данных | Режим | Формула | Значение | Способ расчёт |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | mass | Масса КА | Вещественное | Вход | | 0 | Константа |
| 2 | r_c | Положение центра масс | Массив | Вход | [1,0,0] | [1 , 0 , 0] | Константа |
| 3 | V | Скорость | Вещественное | Вход | | 0 | Переменная |

# База данных сигналов

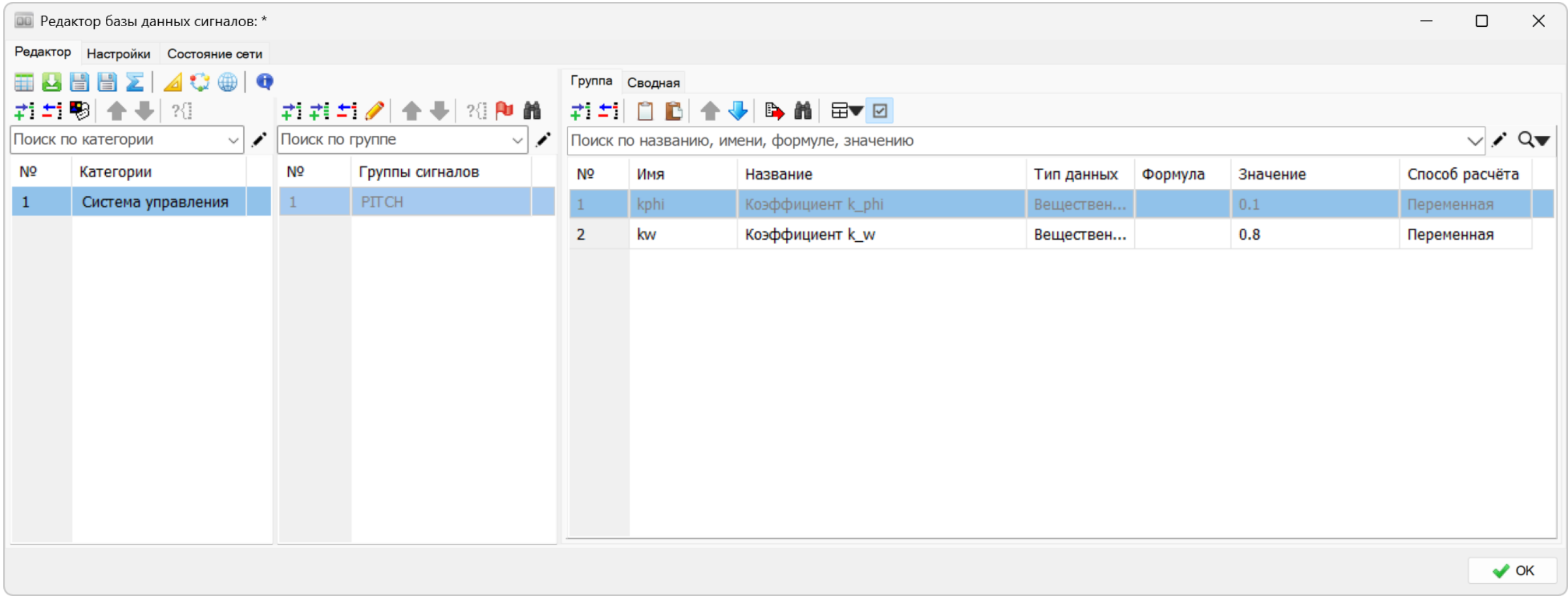


# База данных сигналов



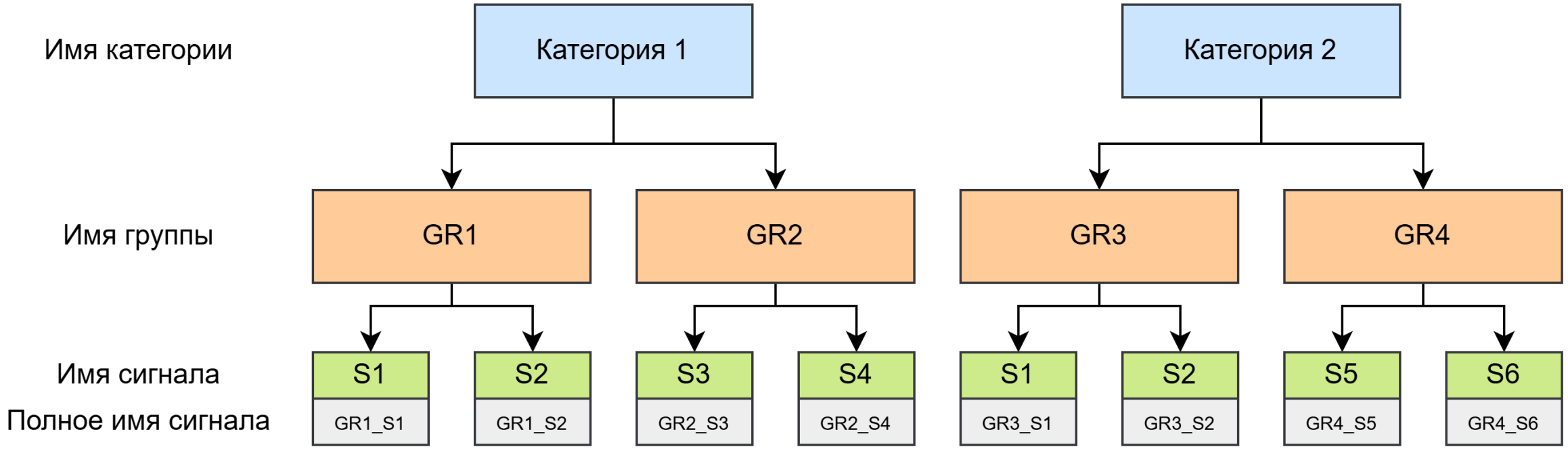

- База данных сигналов - программный модуль sdb.dll, который организует подключение к проекту файла базы данных сигналов, содержащего в структурированном виде глобальные сигналы (переменные) проекта.
- Файл базы данных хранит начальные значения сигналов, определяемые пользователем, и их "текущие" значения.
- База данных сигналов позволяет организовать совместный расчет нескольких проектов с обменом данными через оперативную память.

# База данных сигналов

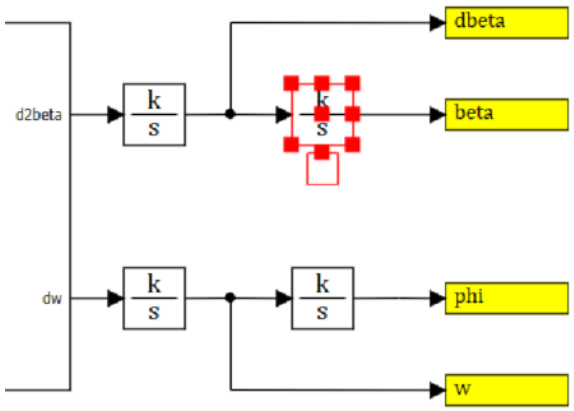


# Полное имя сигнала

Полное имя сигнала формируется из имени группы и имени сигнала, разделяемых знаком подчёркивания: ГРУППА_СИГНАЛ. В скриптах и свойствах блоков (в формулах) используется полное имя сигнала.



# Связь параметров блоков с сигналами




Редактор связей: C:\Users\kidin\Documents\Projects\SimInTech\Схема модели общего вида.prt

Объект | Сигнал | Общее свойство | Переменные

Свойства : Integrator_2

Active (Активность объекта)
Angle (Угол поворота)
Animated (Анимированный)
BlockIndex (Индекс блока)
ClassName (Тип элемента)
Color (Цвет)
ContainerBlock (Блок-контейнер (может яв
EditInstance (Ссылка при редактировании)
FrameColor (Цвет рамки)
FrameWidth (Толщина рамки)
Graphics (Графическое изображение)
Height (Высота)
HideHintOnEdit (Блокировать подсказку пр
Hint (Подсказка)
Instance (Ссылка)
InstanceMode (Действие для вывода ссылк
InvisibleProps (Список невидимых свойств)

Сигналы: : Integrator_2

fdif (Производные)
xdif (Динамические переменные)

Сортировать по имени

Фильтр

| Источник | Приёмник |
|---|---|
| Integrator_2.xdif | beta |
| Integrator_4.xdif | phi |

перенести

Главное меню → Сервис → Связи…

Найти Integrator_2

Автоматический поиск для объектов

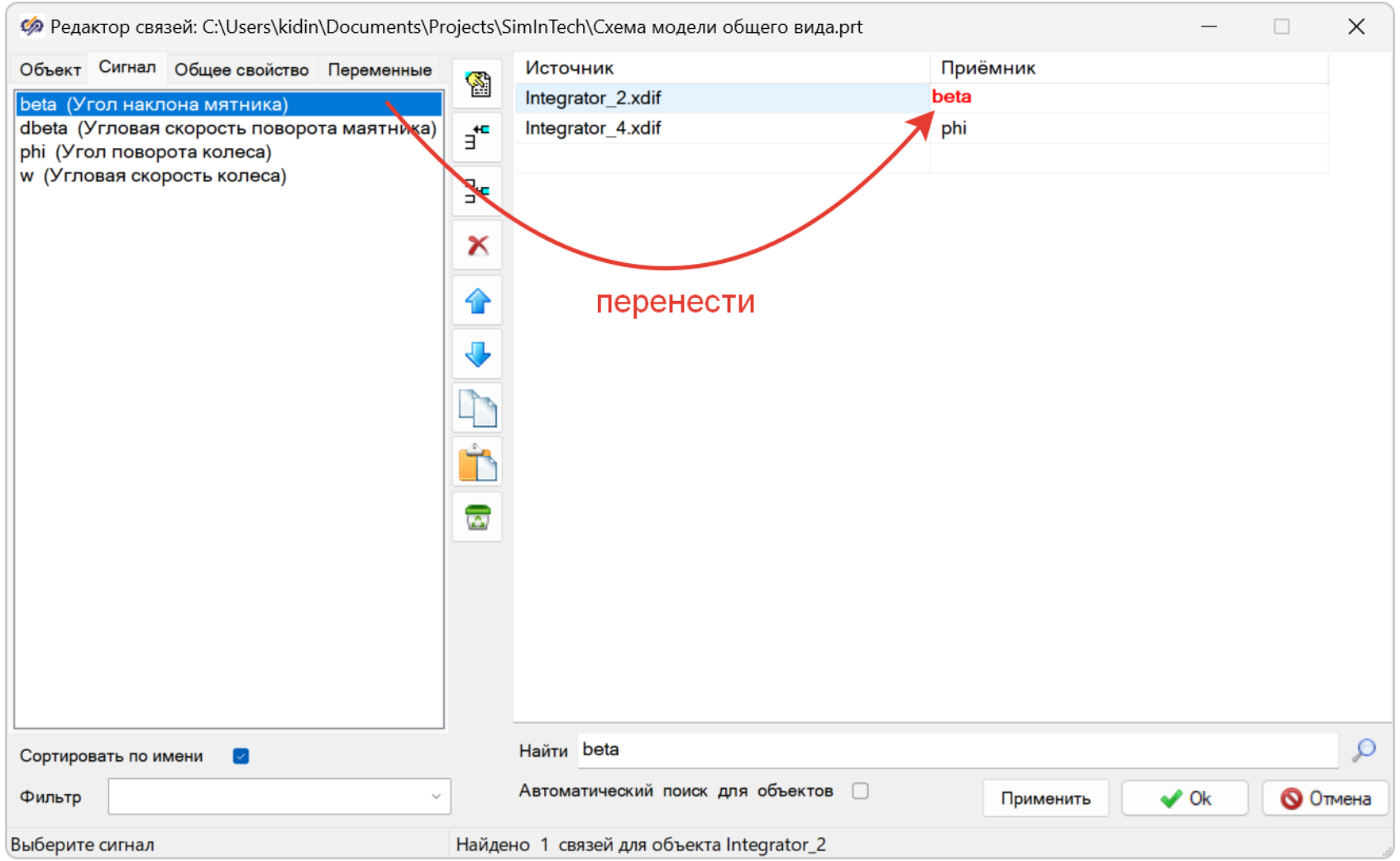
Применить | Ok | Отмена

Объект : Integrator_2

Найдено 1 связей для объекта Integrator_2

кадры для космоса

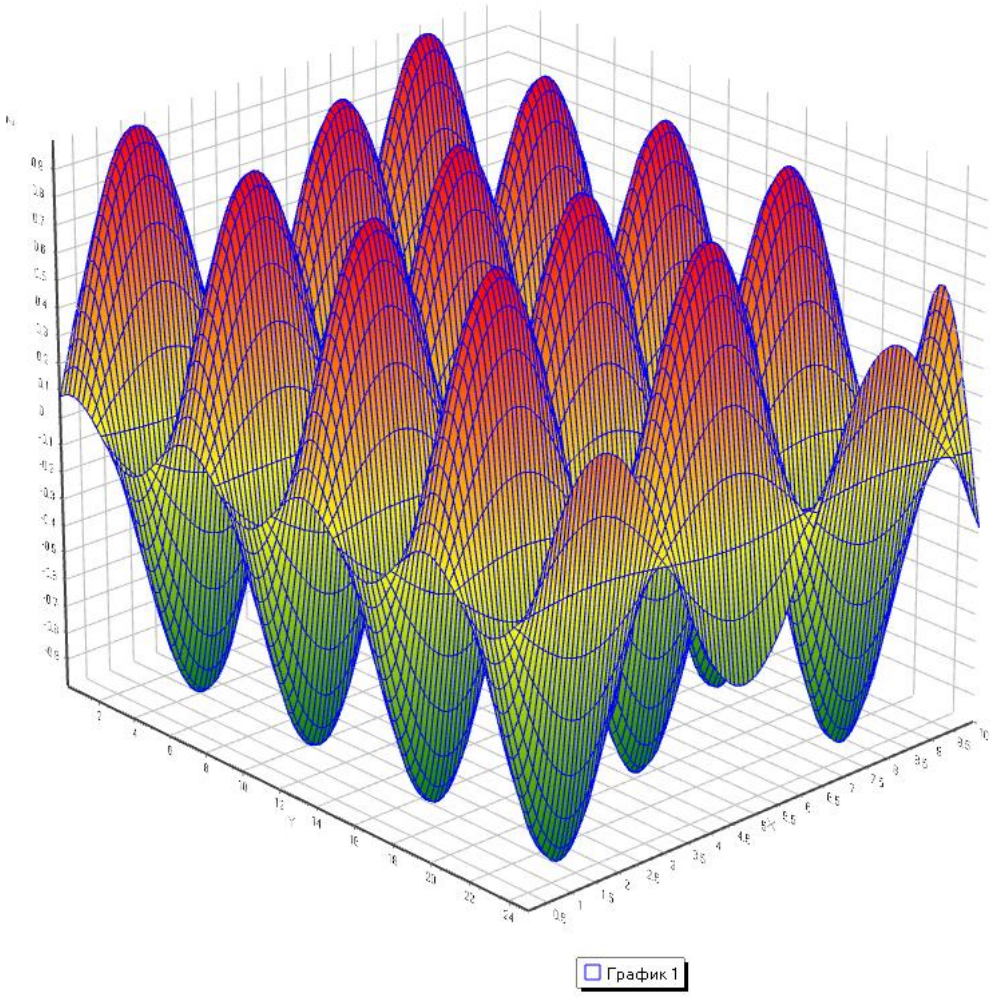
# Связь параметров блоков с сигналами



# Анализ результатов

Графики, окно просмотра параметров, файлы,
подписи объектов, регистратор событий

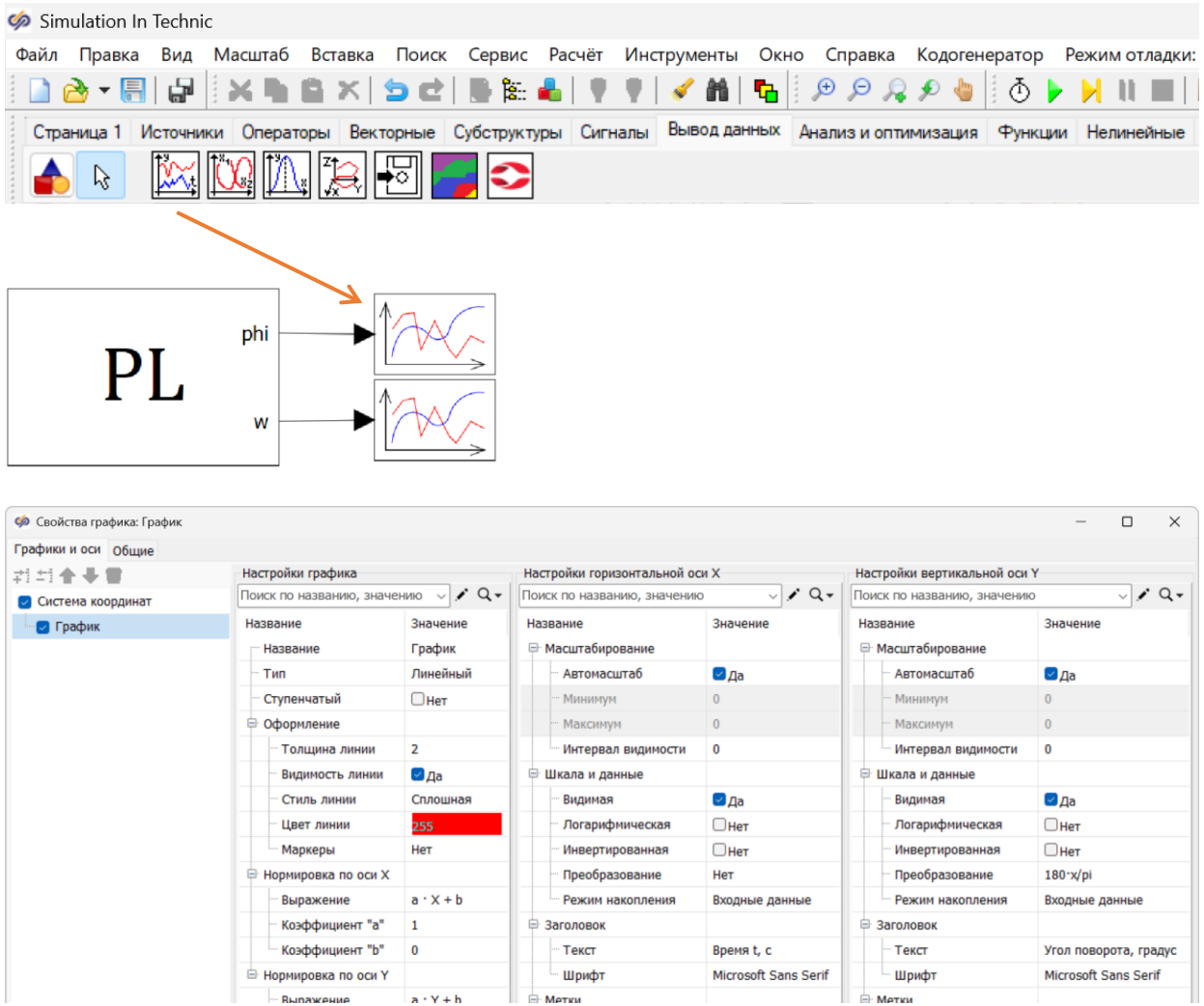
# Анализ результатов моделирования




Для анализа результатов моделирования могут быть использованы

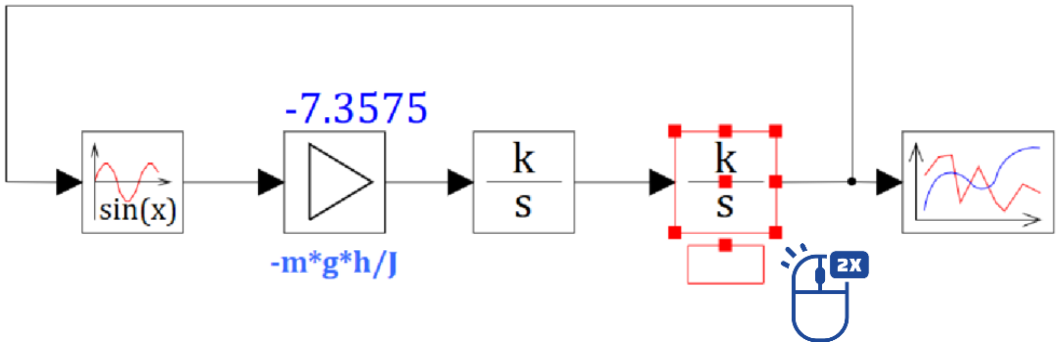
- графики
- окно просмотра параметров
- подписи объектов
- регистратор событий

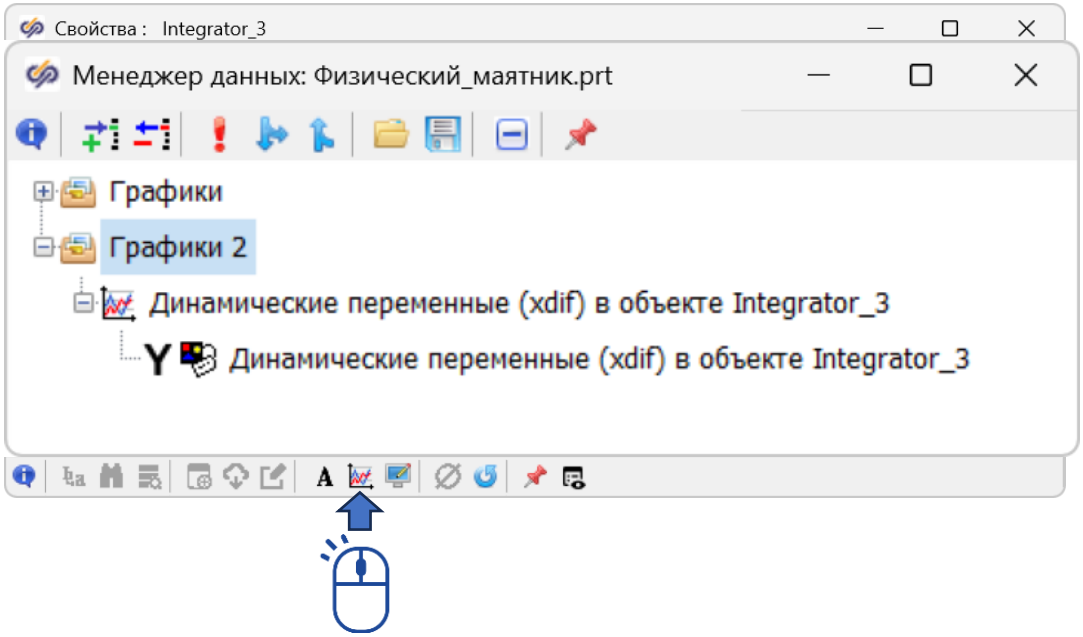
# Блоки-графики




- Поставить блок на схему
- Подключить график к линии связи
- 2x на блоке графика
- в окне графика → **«Свойства графика ...»** для настройки:
  - подписей осей
  - преобразований значений по осям x и y
  - масштабы осей
  - стилей линий графиков
  - «легенды»

# Параметры блоков

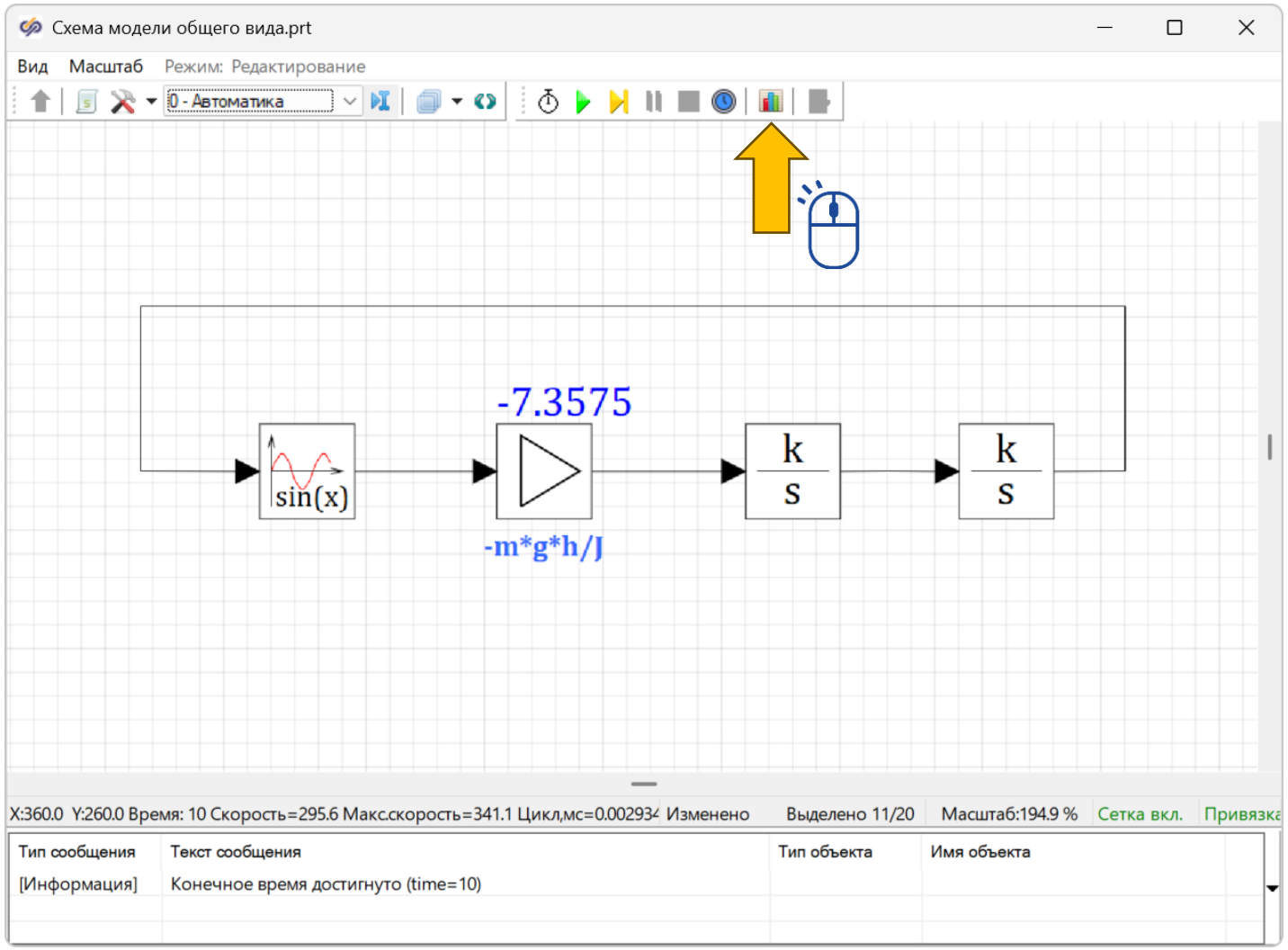


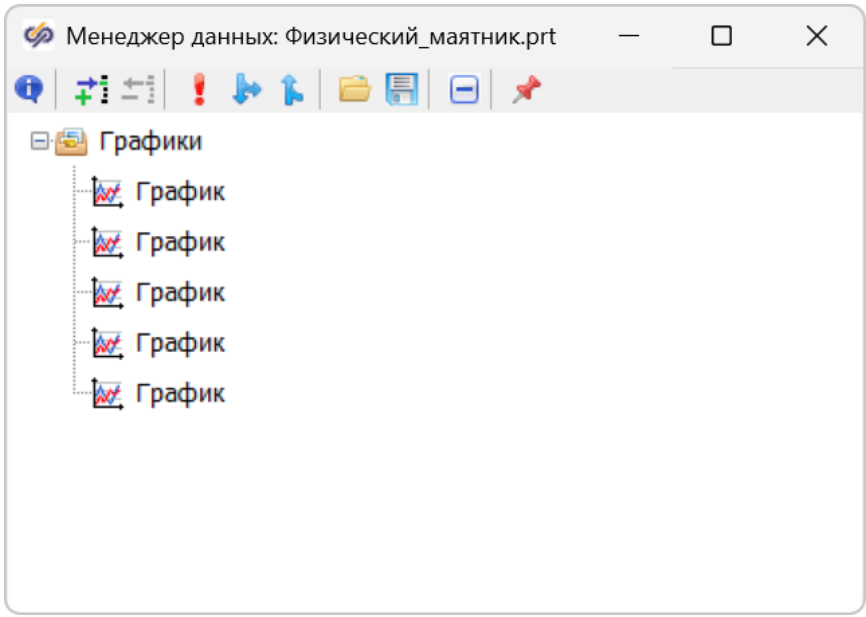




- У диалогового окна **свойств блока** или **линии связи** есть закладка **«Параметры»** на которой показаны переменные, которые характеризуют состояние блока
- Например, для **блока-интегратора** это «Динамические переменные» - число или вектор формируемые на выходе блока, и «Производные» - число или вектор, подаваемые на вход блока
- Для построения графика необходимо выбрать нужный параметр и нажать кнопку

кадры для космоса

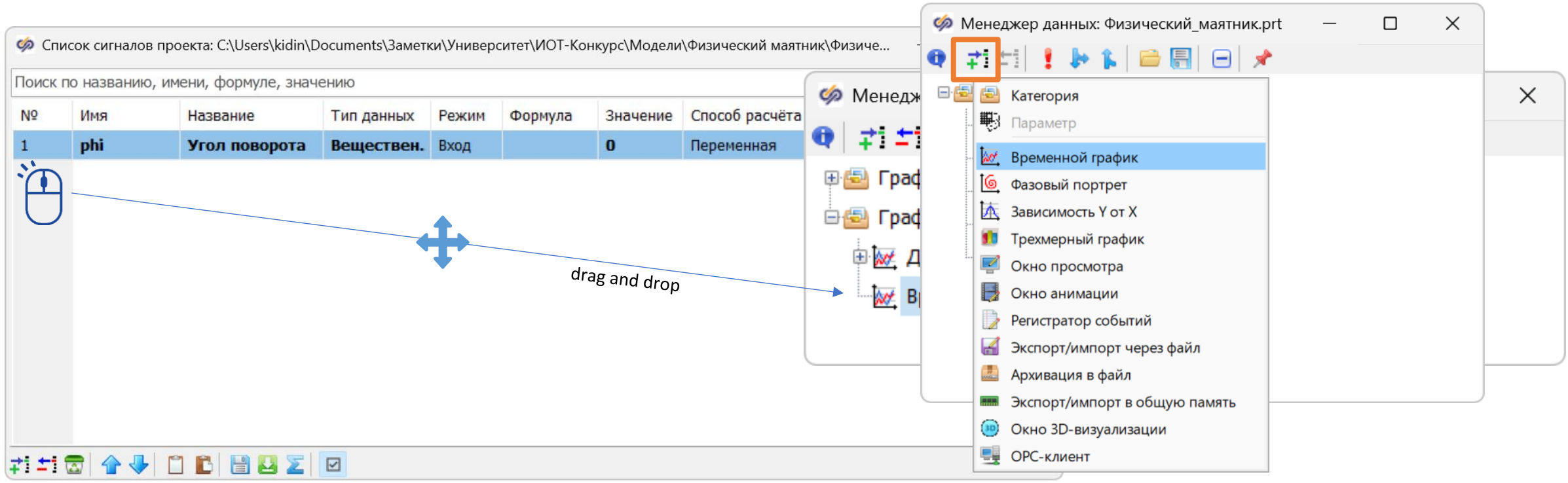
# Менеджер данных



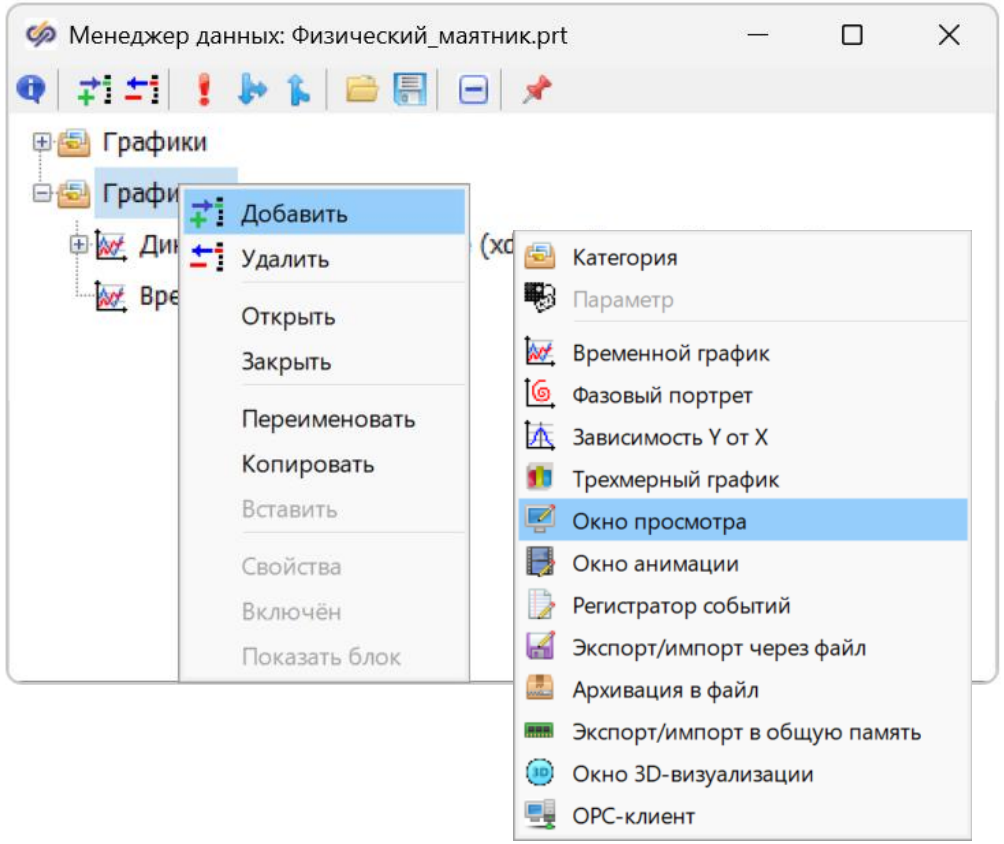



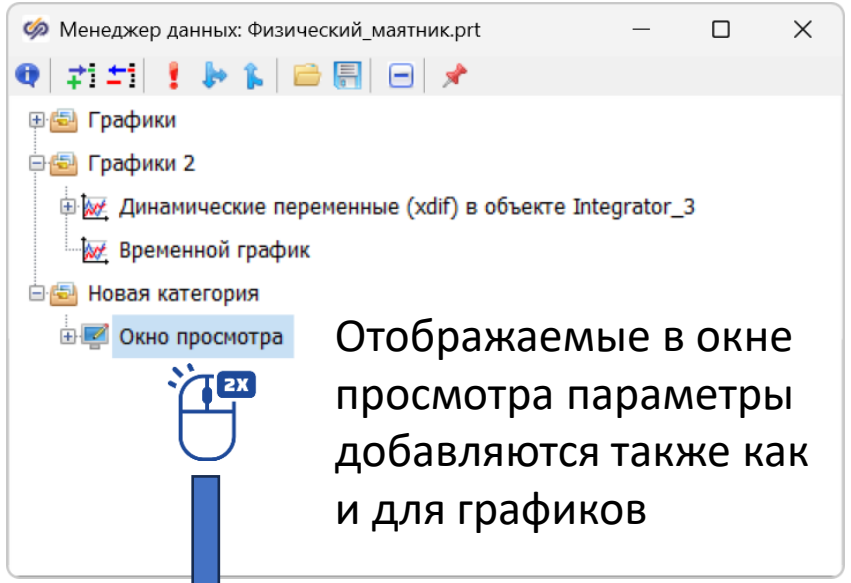

кадры для космоса

# График из таблицы сигналов

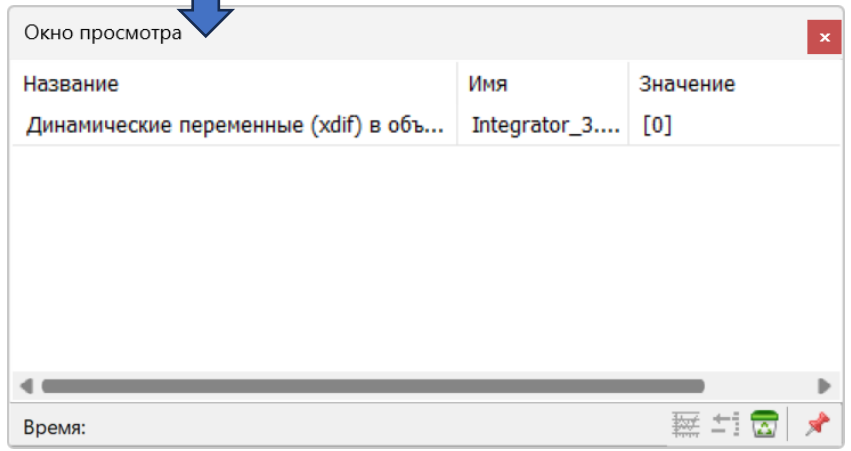


# Окно просмотра




Отображаемые в окне просмотра параметры добавляются также как и для графиков




кадры для космоса

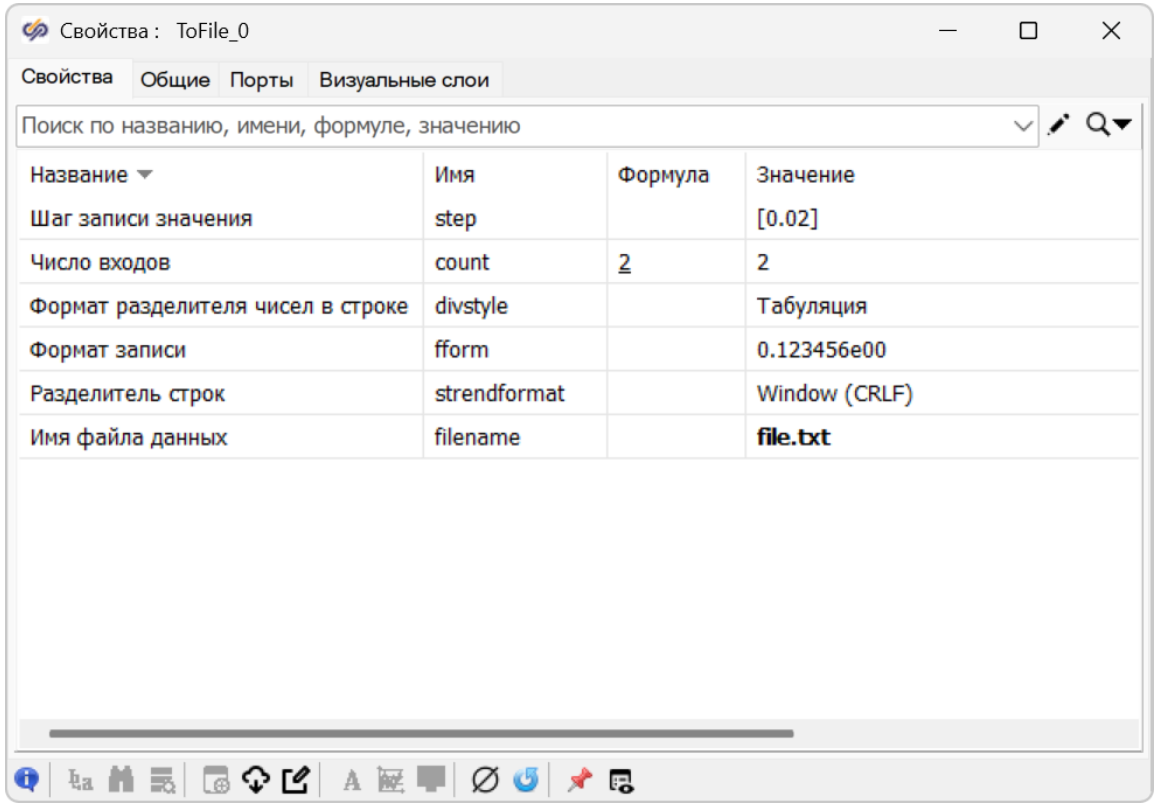
# Экспорт результатов




Физический маятник

Анализ результатов моделирования может проводиться при помощи стороннего ПО:

gnuplot, python, excel, …



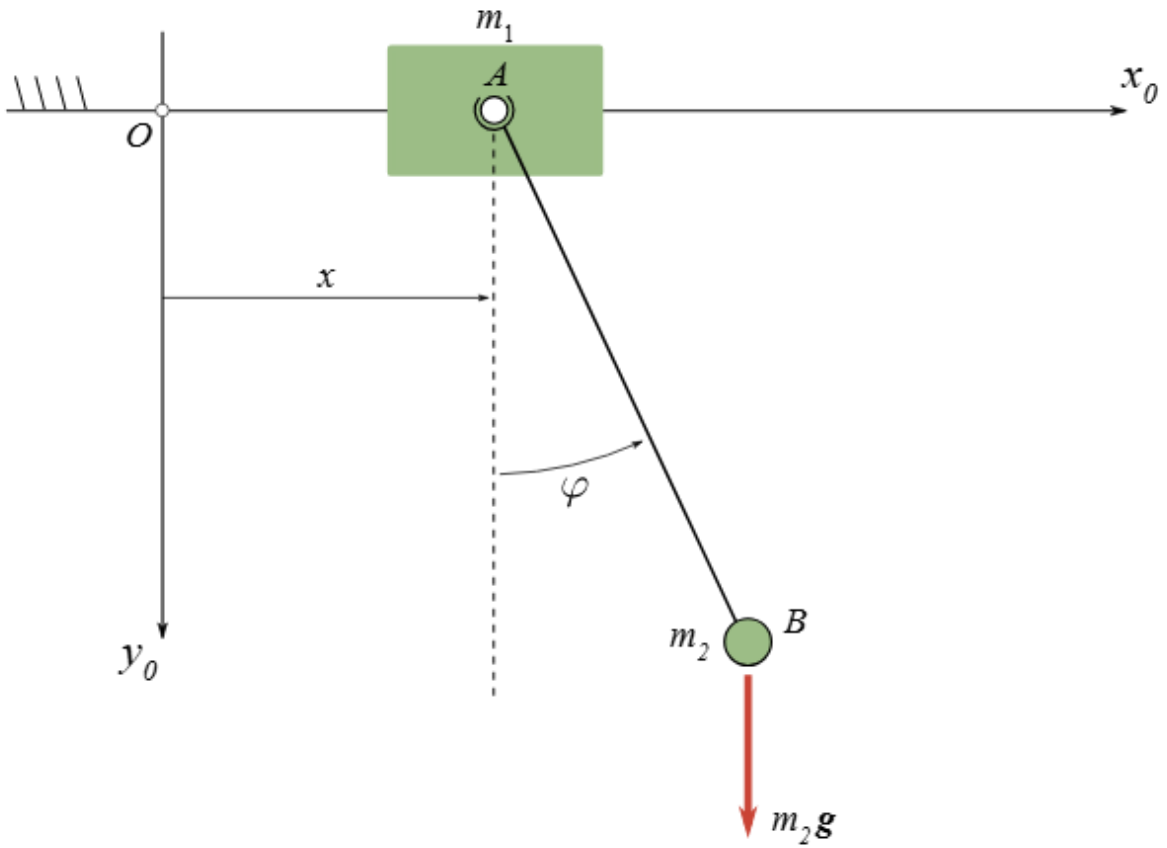

- Результаты моделирования могут экспортированы в текстовый файл про помощи блока **«В файл»** библиотеки **«Вывод данных»**

кадры для космоса

# Задание

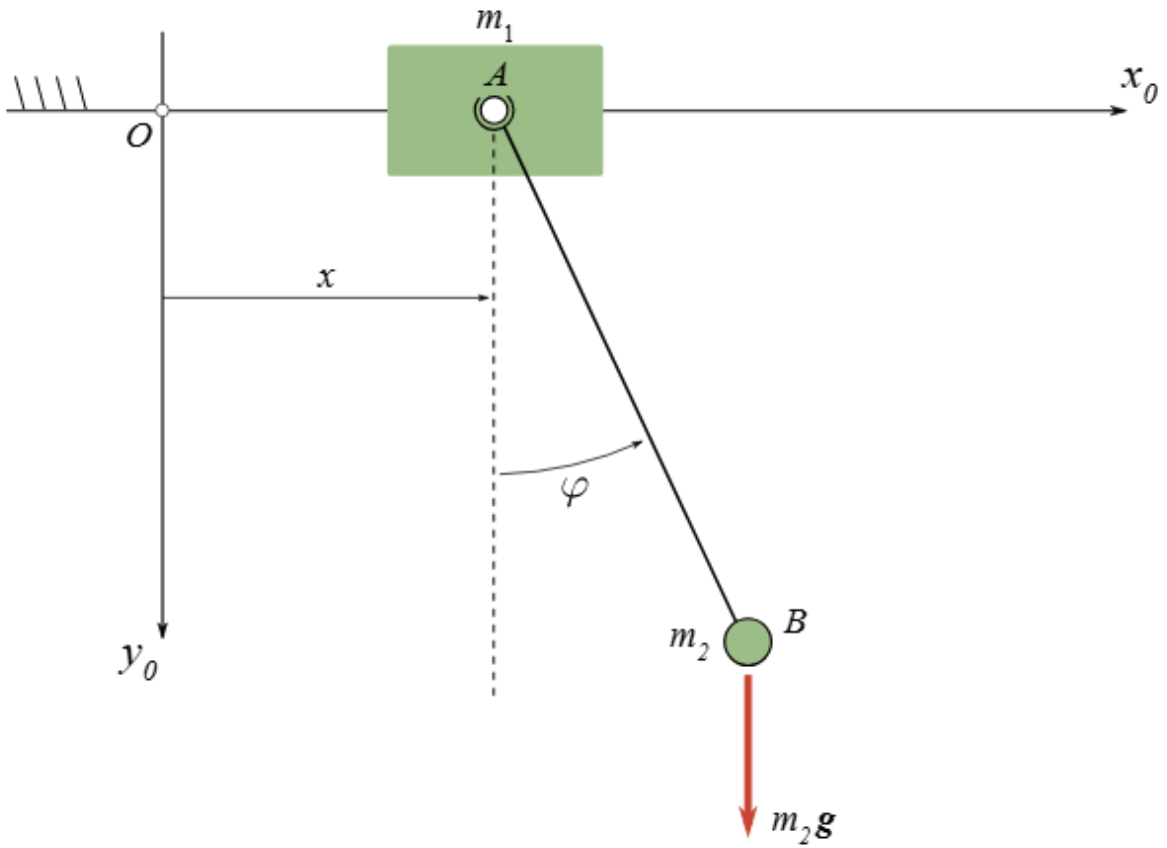
## Построение модели эллиптического маятника

# Эллиптический маятник




- Эллиптический маятник состоит из подвижного блока с массой $m_1$ движущегося поступательно, с закрепленным на нём мятником
- На конце невесомого стержня AB расположен груз B массой $m_2$
- Стержень AB шарнирно закреплён (в точке A) на подвижном блоке

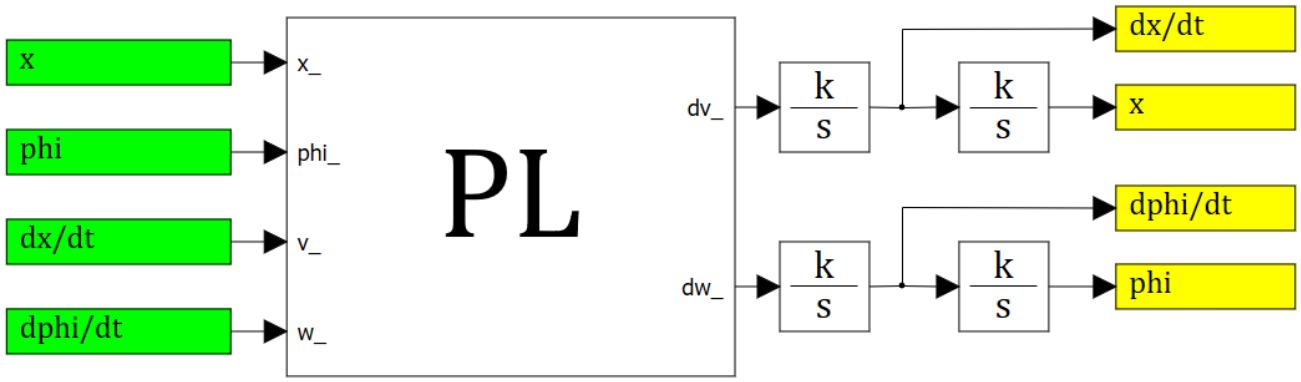
# Эллиптический маятник




- Рассматриваемая система представляет собой систему с двумя степенями свободы и её движение описывается двумя дифференциальными уравнения второго порядка

$$\begin{cases} \ddot{x}\cos\varphi + \ddot{\varphi} l = -g\sin\varphi \\ \ddot{x}(m_1 + m_2) + \ddot{\varphi} l m_2 \cos\varphi = l m_2 \dot{\varphi}^2 \sin\varphi \end{cases}$$

# Эллиптический маятник




Функция правых частей дифференциальных уравнений движения объекта

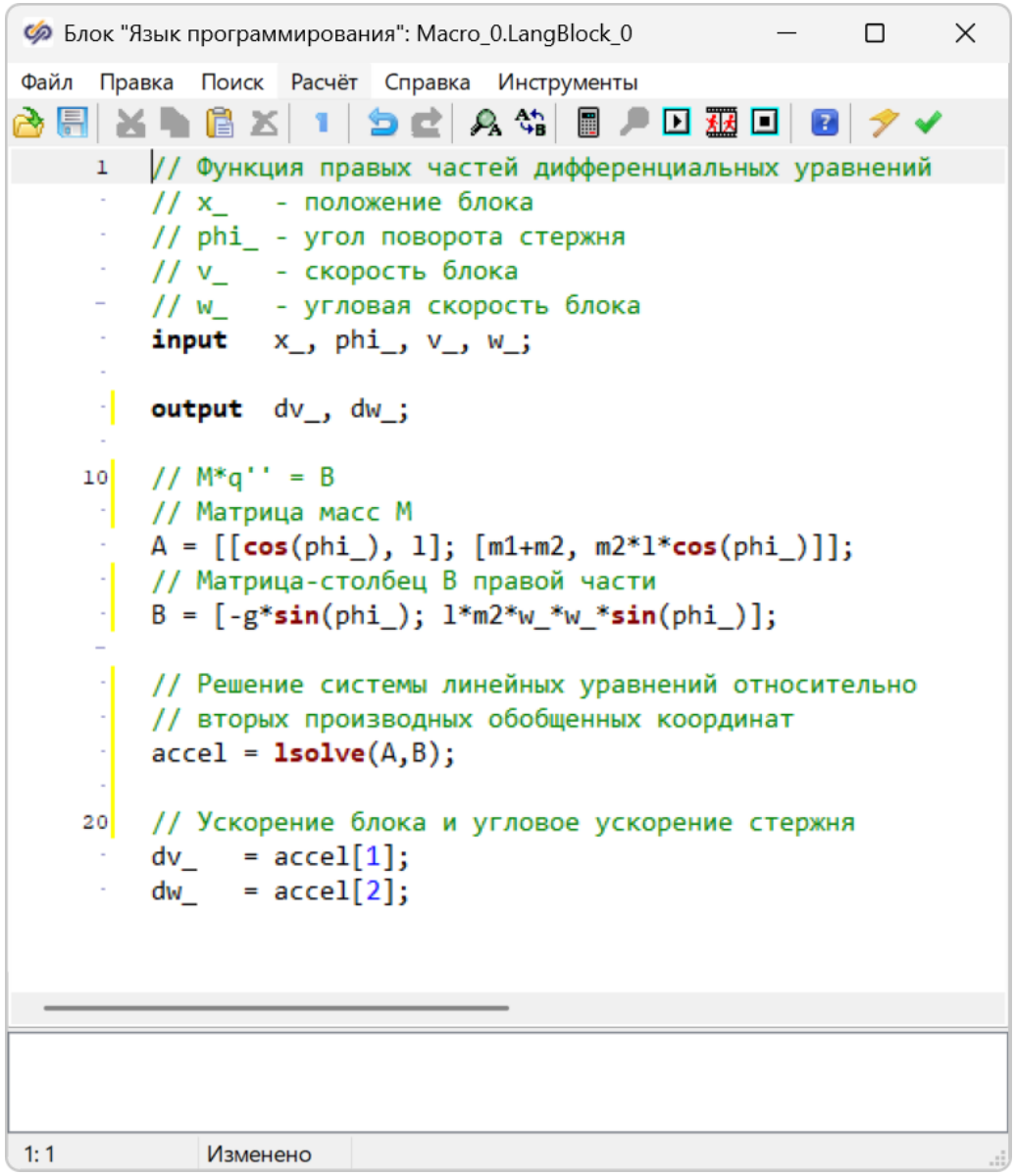
$$\begin{cases} \dot{x} = v \\ \dot{\varphi} = \omega \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{v}\cos\varphi + \dot{\omega}\, l = -g\sin\varphi \\ \dot{v}(m_1 + m_2) + \dot{\omega}\, l m_2 \cos\varphi = l m_2 \omega^2 \sin\varphi \end{cases}$$

$$\begin{cases} \dot{x} = v, \\ \dot{\varphi} = \omega, \\ \dot{v} = f_v(t, x, \varphi, v, \omega), \\ \dot{\omega} = f_\omega(t, x, \varphi, v, \omega). \end{cases}$$

$$\begin{cases} a_{11}\dot{v} + a_{12}\dot{\omega} = b_1 \\ a_{21}\dot{v} + a_{22}\dot{\omega} = b_2 \end{cases}$$

# Эллиптический маятник




При помощи замены $\begin{cases}\dot{x} = v \\ \dot{\varphi} = \omega\end{cases}$

$$\begin{cases}\dot{v}\cos\varphi + \dot{\omega}\, l = -g\sin\varphi \\ \dot{v}(m_1 + m_2) + \dot{\omega}\, l m_2 \cos\varphi = l m_2 \omega^2 \sin\varphi\end{cases}$$

$$\begin{cases}\dot{x} = v, \\ \dot{\varphi} = \omega, \\ \dot{v} = f_v(t, x, \varphi, v, \omega), \\ \dot{\omega} = f_\omega(t, x, \varphi, v, \omega).\end{cases}$$

Система линейных уравнений относительно производных

$$\begin{cases}a_{11}\dot{v} + a_{12}\dot{\omega} = b_1 \\ a_{21}\dot{v} + a_{22}\dot{\omega} = b_2\end{cases}$$

# Источники


1. Загрузка и установка SimInTech
   https://simintech.ru/
2. Справочная система SimInTech
   https://help.simintech.ru/index.html
3. Программирование в SimInTech : метод. указания к лаб. работам / В. В. Регеда, О. Н. Регеда. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2023.
   https://dep_eite.pnzgu.ru/files/dep_eite.pnzgu.ru/metodichki/regeda_mu_programmirsimintech_2023.pdf
4. Герман-Галкин, С. Г. Модельное проектирование электромеханических мехатронных модулей движения в среде SimInTech / С. Г. Герман-Галкин, Б. А. Карташов, С. Н. Литвинов; ред. А. Н. Петухов. — Москва : ДМК Пресс, 2021.
5. Щекатуров А. М. Методика моделирования динамики октокоптера / А. М. Щекатуров. — Москва : ДМК Пресс, 2021. — 228 с.
6. Среда динамического моделирования технических систем SimInTech : практикум по моделированию систем автоматического регулирования / Б. А. Карташов [и др.]. — Москва : ДМК Пресс, 2017.
7. Конечные автоматы в среде динамического моделирования SimInTech
   https://habr.com/ru/articles/307090/
8. Модель эффекта Джанибекова в SimInTech
   https://classmech.ru/blog/mechanics/cae/2022-12-04-simintech-janibekov/