Лекция М 4.4

Создание и использование подсистем. Организация сложных моделей

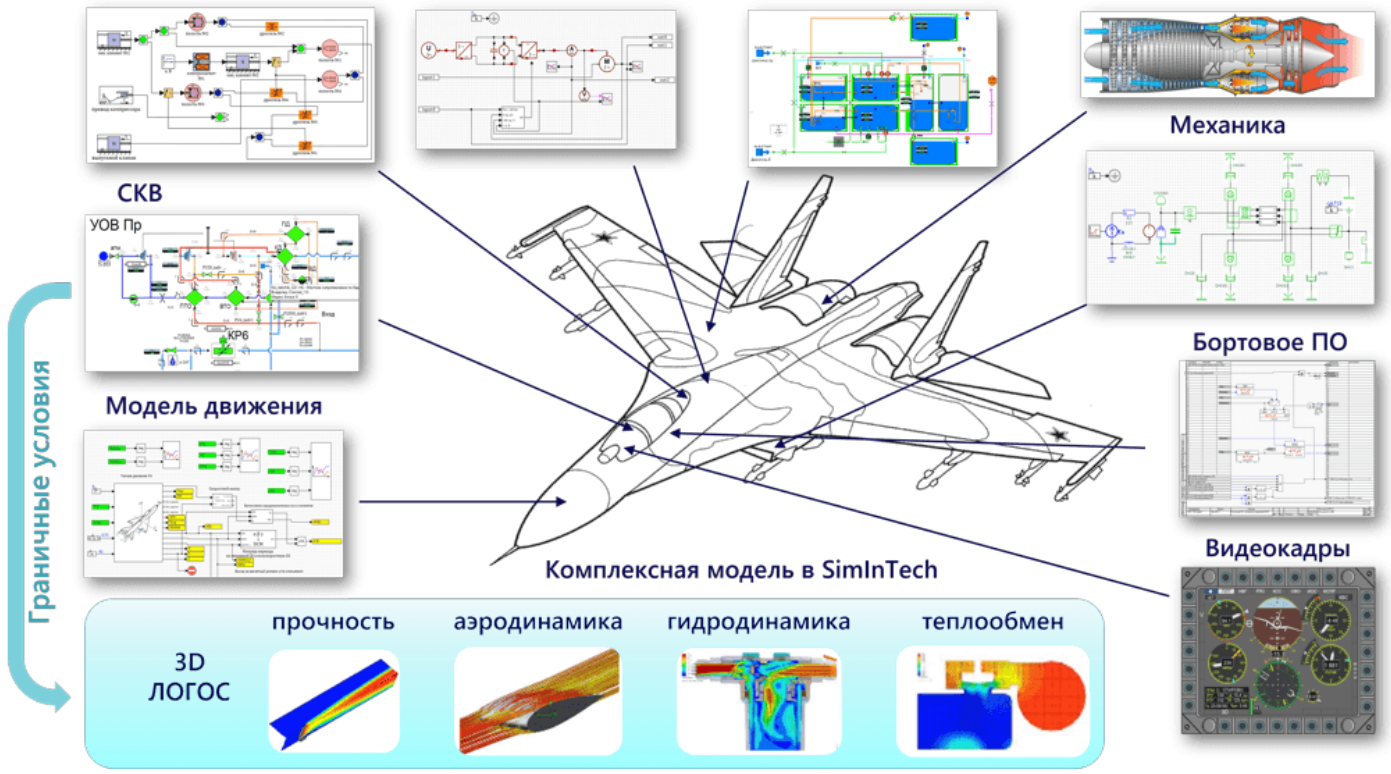
Математическое моделирование и прикладная инженерия космических систем

Юдинцев В. В.

кадры для космоса

- Моделирование сложных систем
- Создание субмодели
- Пакеты проектов
- Рестарты

Сложные модели

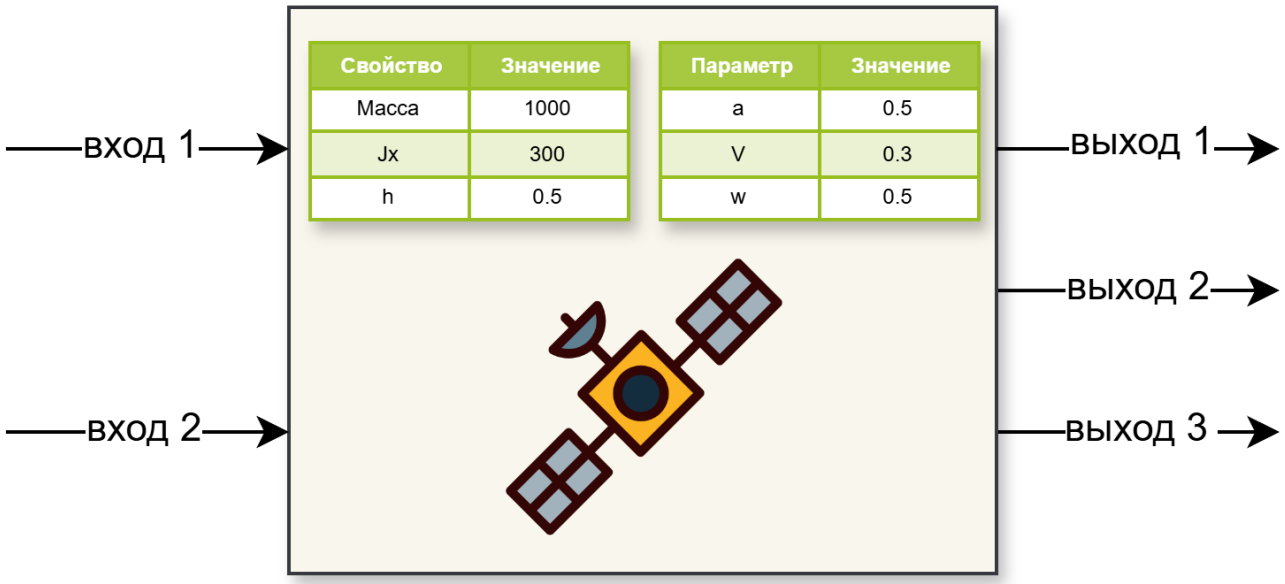


Изображение: https://advengineering.ru/software/simintech

- Сложная модель разбивается на функциональные подсистемы
- Каждая подсистема оформляется как отдельный блок или субмодель
- Внутри подсистемы находится собственная схема
- Модель рассматривается на нескольких уровнях детализации
- Верхний уровень показывает общую структуру системы

кадры для космоса

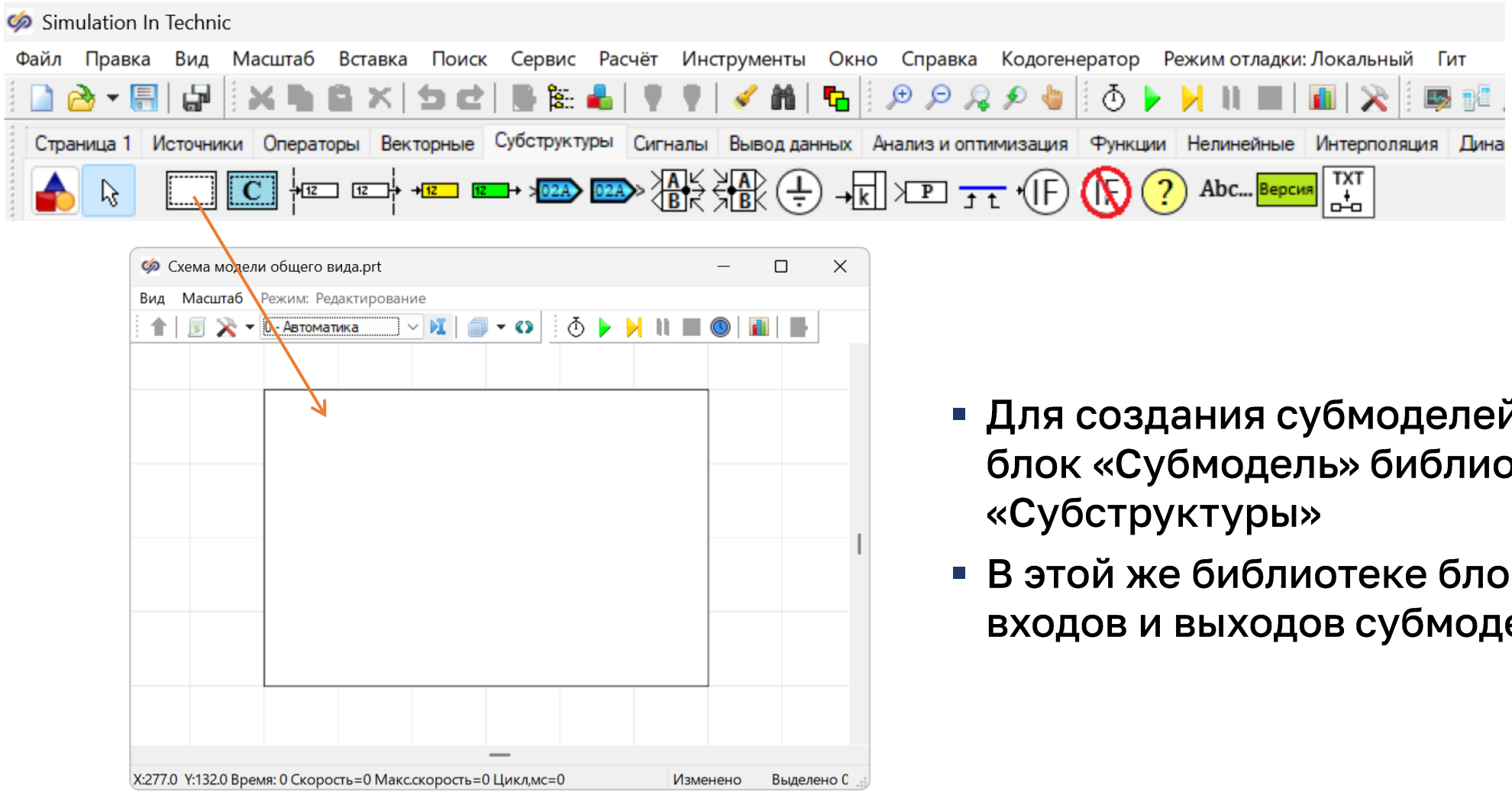
Подсистема



- входные порты
- выходные порты
- параметры настройки
- внутреннюю схему
- заданное функциональное назначение

кадры для космоса

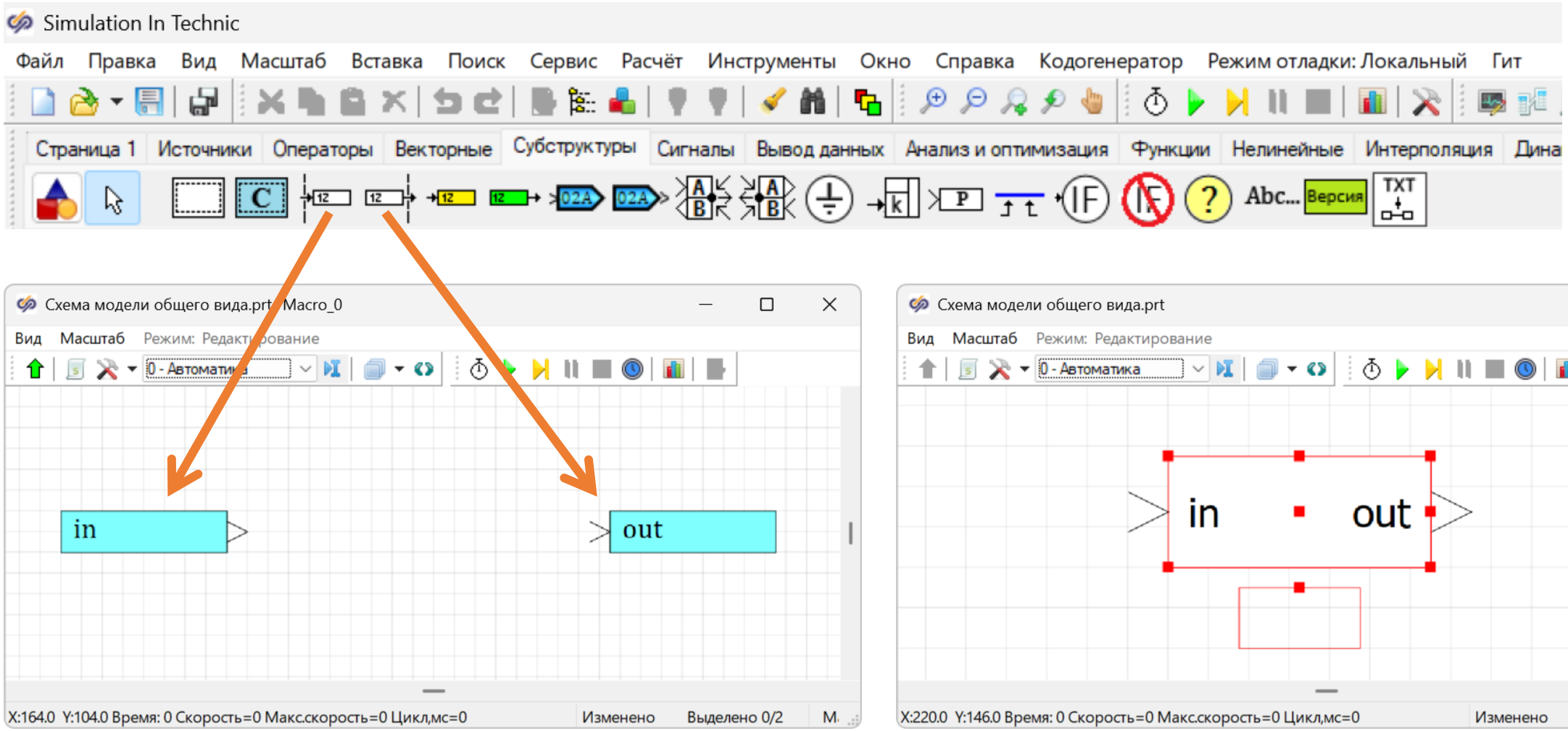
Блок «Субмодель»



- Для создания субмоделей используется блок «Субмодель» библиотеки «Субструктуры»
- В этой же библиотеке блок для создания входов и выходов субмодели

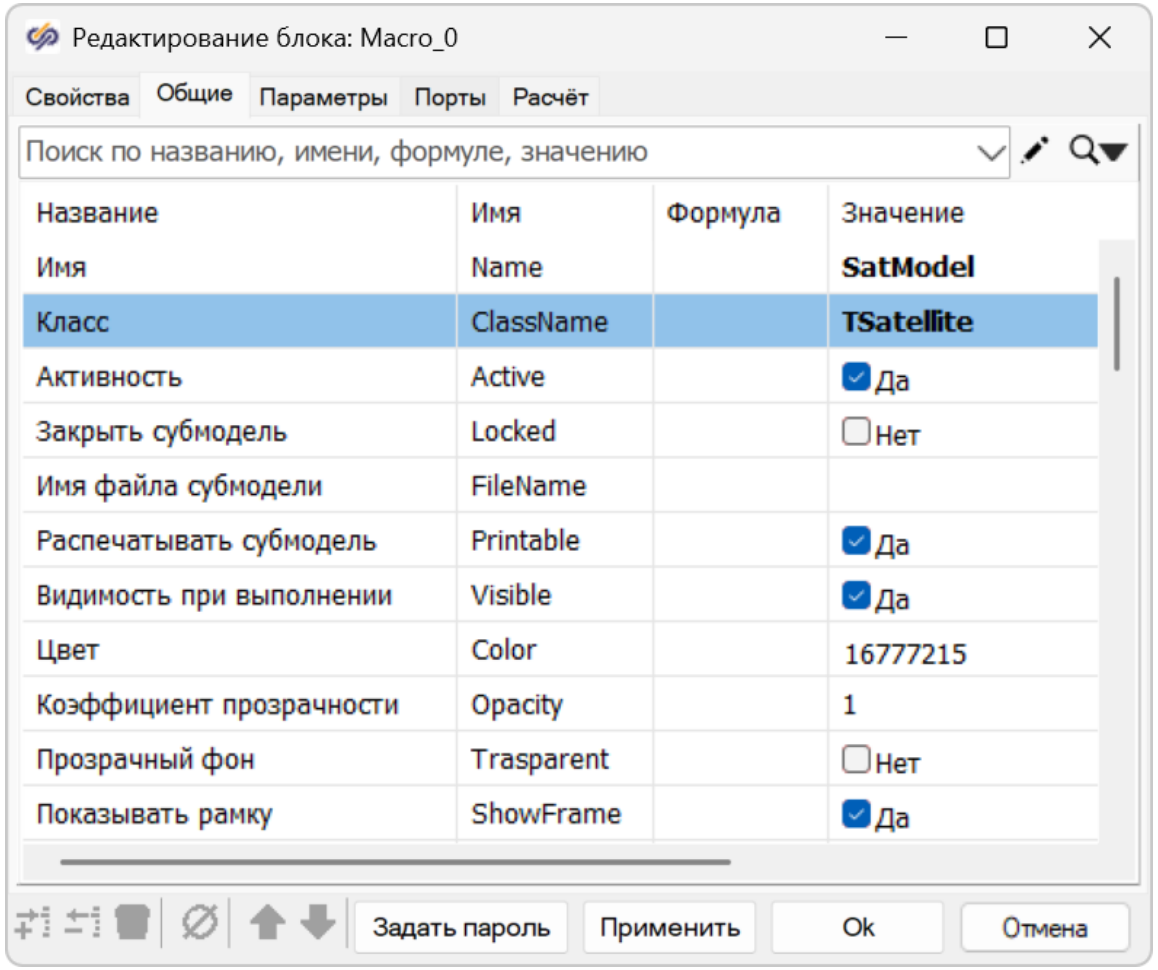
кадры для космоса

Субмодель



кадры для космоса

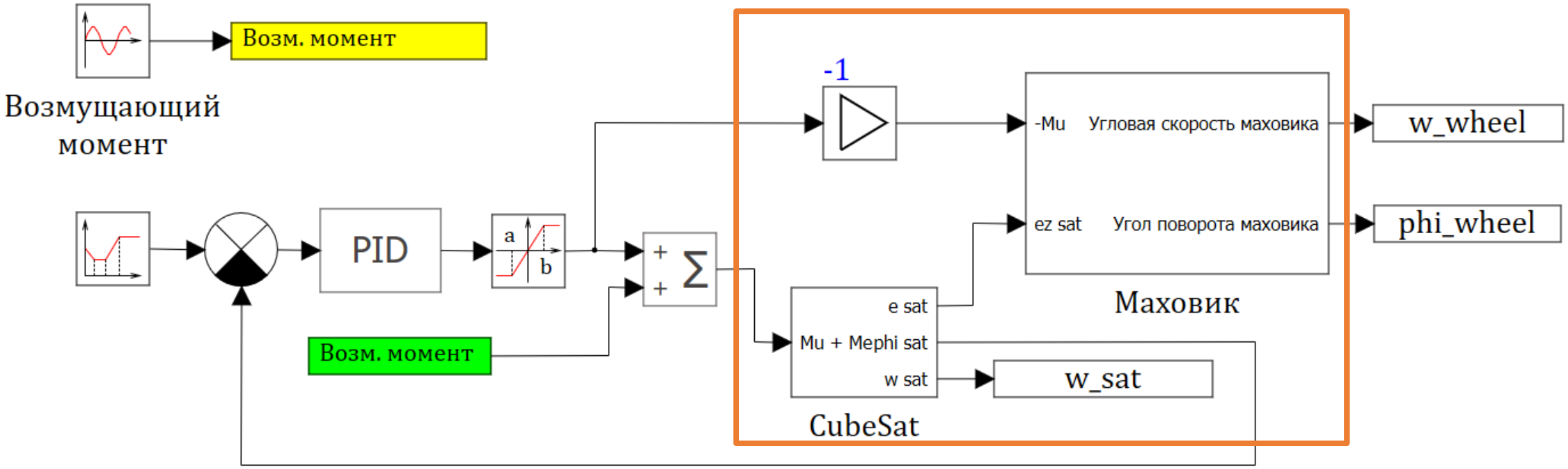
Новый тип блока



- На основе блока «Субмодель» может быть создан новый Класс (тип) блока
- В свойствах Субмодели необходимо указать имя Класса, например TSatellite
- Для субмодели могут быть определены **свойства**, определяющие поведение системы, и **параметры** отражающее её состояние
- Созданный новый блок может быть добавлен в библиотеку блоков SimInTech

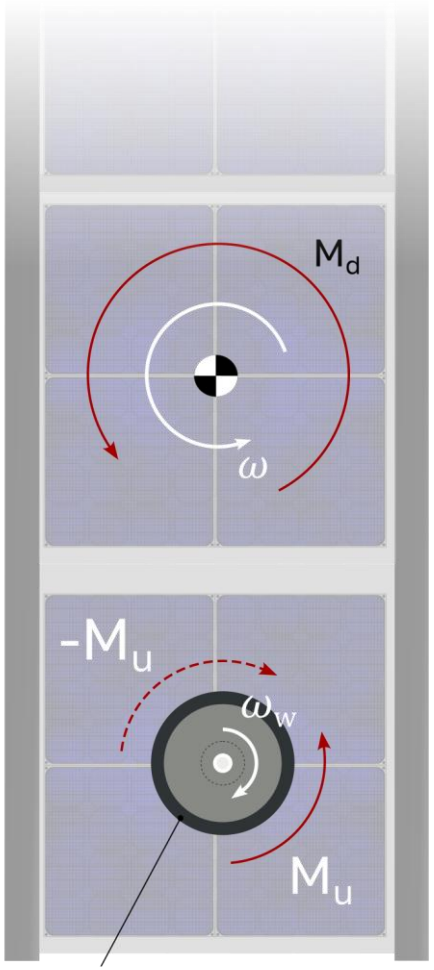
кадры для космоса

Субмодель КА с маховиком



кадры для космоса

Уравнение движения КА и маховика



Маховик, закрепленный на валу двигателя

- Теорема об изменении кинетического момента для корпуса КА

$$J_{\text{КА}}\dot{\omega} = M_d + M_u$$

M_u - момент привода, вращающего маховик

- Угол поворота КА

$$\dot{\varphi} = \omega$$

- Теорема об изменении кинетического момента для маховика

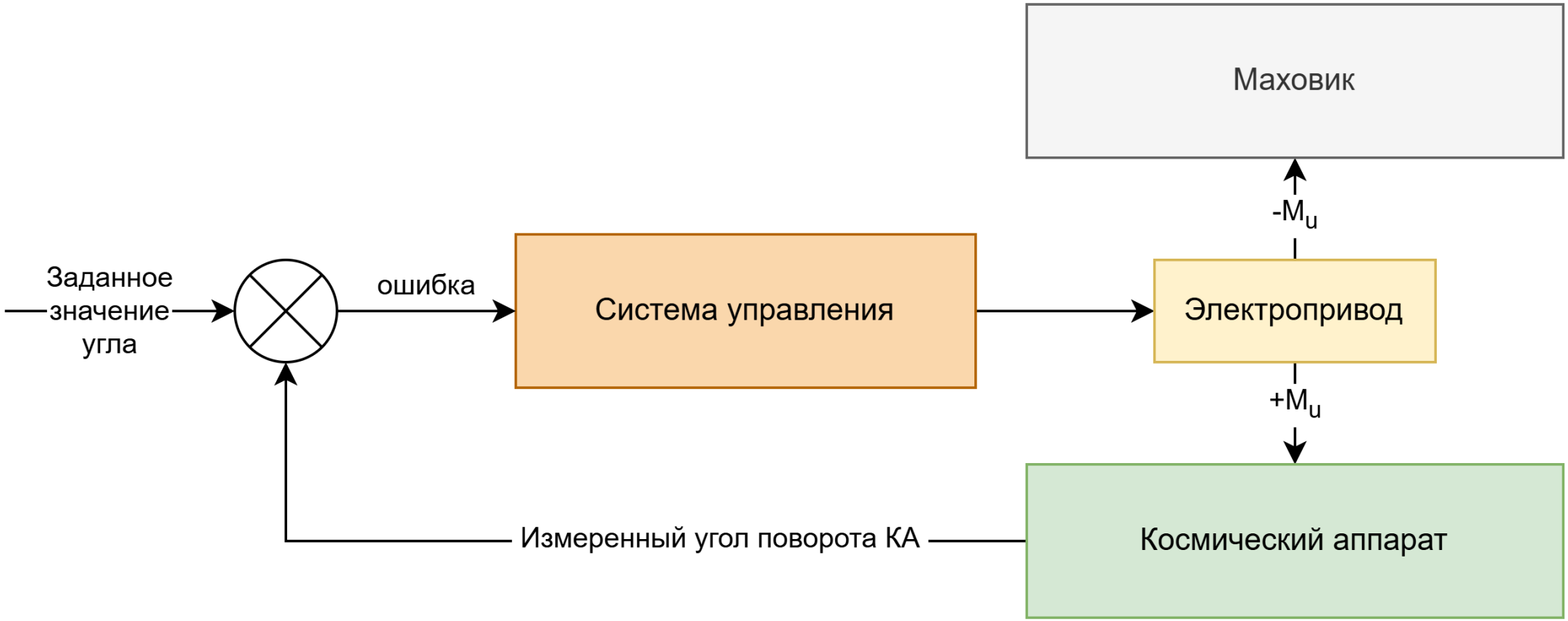
$$J_w\left(\dot{\omega} + \dot{\Omega}\right) = -M_u$$

или

$$\dot{\Omega} = -M_u\frac{J_w + J_{\text{КА}}}{J_w J_{\text{КА}}} - \frac{M_d}{J_{\text{КА}}}$$

кадры для космоса

Структура системы

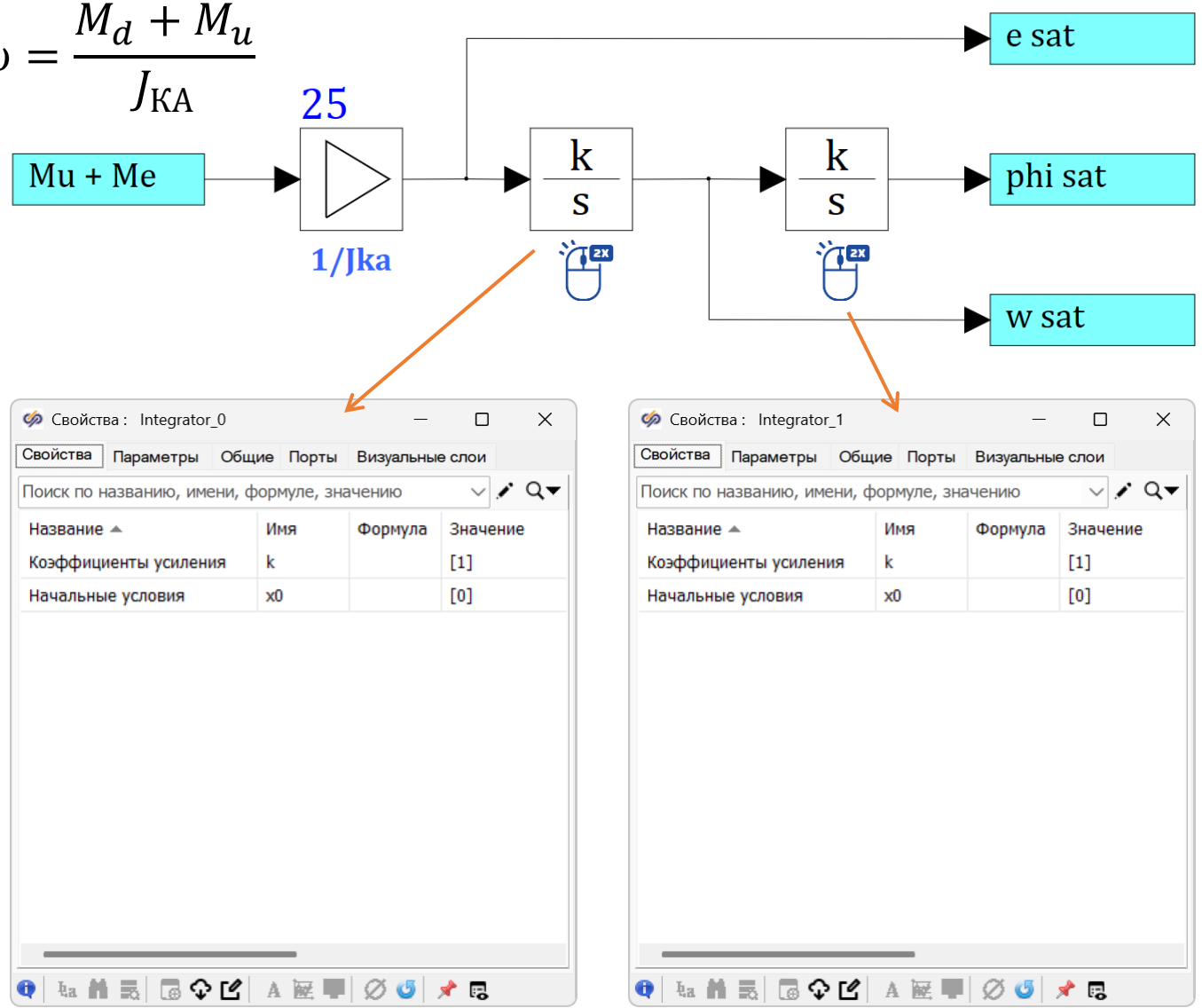


кадры для космоса

Модель движения КА

- Модель КА оформлена в виде блока **Субмодель** библиотеки **Субструктуры** с одним входом и тремя выходами
- Блок **Усилитель** преобразует момент в ускорение (деление на $J_{КА}$)
- Угловое ускорение дважды интегрируется при помощи блоков **Интегратор** библиотеки **Динамические**
- Нулевые начальные условия

$$\dot{\omega} = \frac{M_d + M_u}{J_{КА}}$$



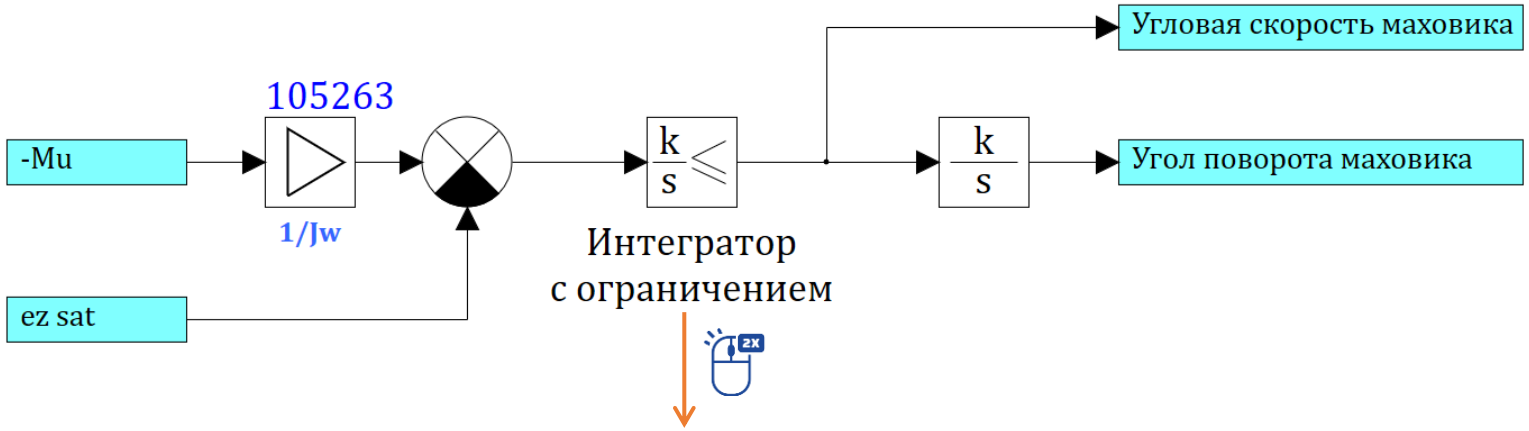
кадры для космоса

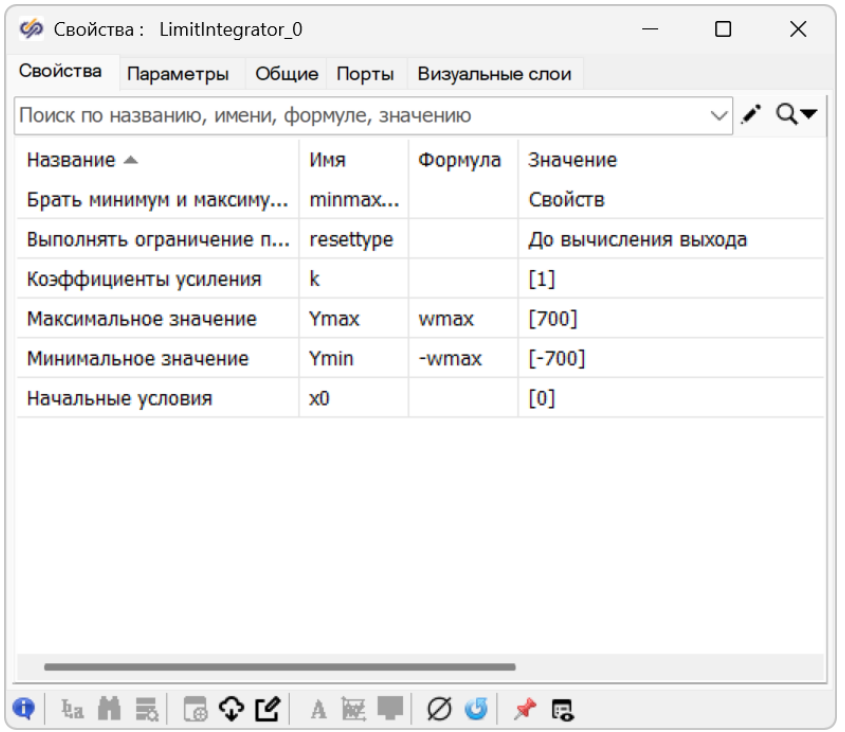
Модель вращения маховика

- Модель маховика оформлена в виде блока **Субмодель** библиотеки **Субструктуры** с двумя входами и двумя выходами
- Интегрируется уравнение

$$\dot{\Omega} = -\frac{M_u}{J_w} - \dot{\omega}$$

- Для ограничения угловой скорости маховика используется **Интегратор с ограничением**





кадры для космоса

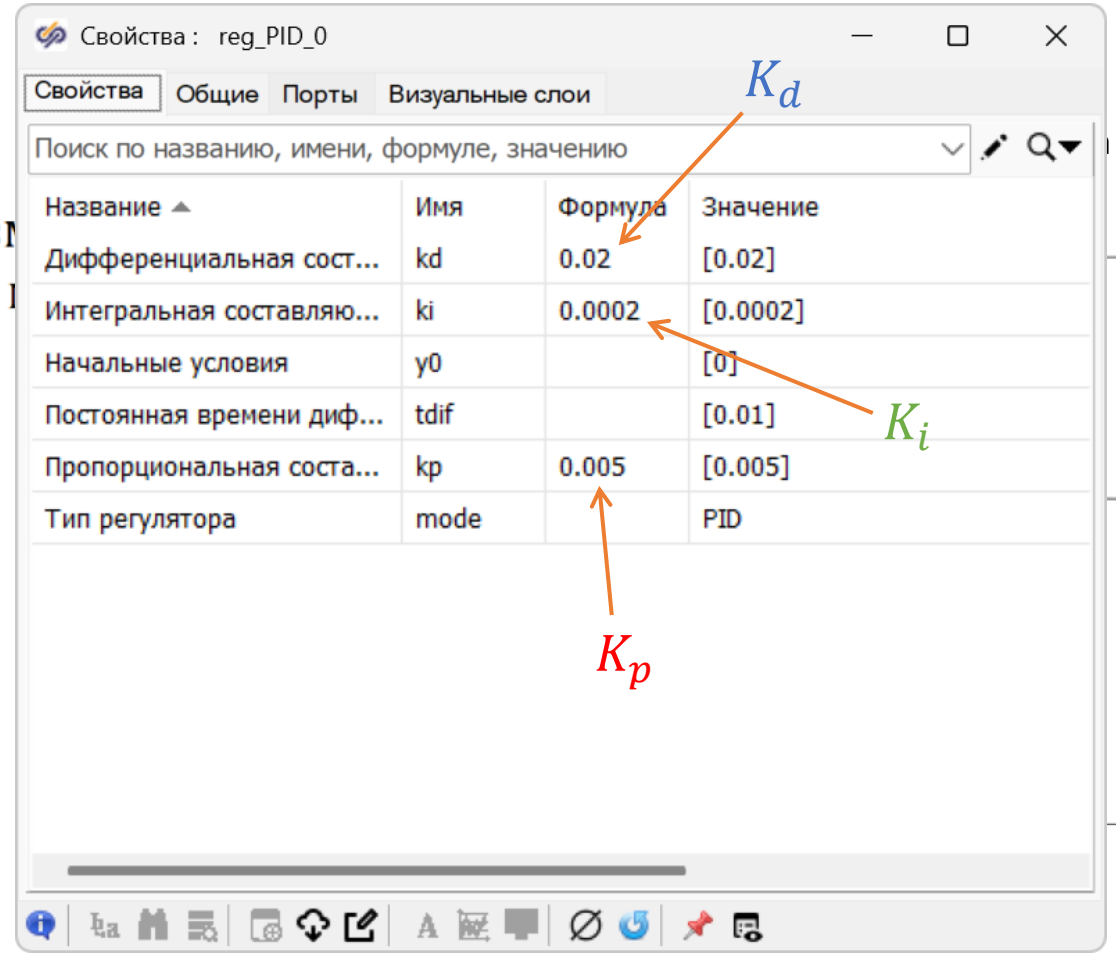
ПИД-регулятор

- ПИД = Пропорционально-Интегрально-Дифференциальный регулятор (библиотека **Регуляторы**)

$$u(t) = K_p\, e(t) + K_i \int_0^t e\,(\tau)\, d\tau + K_d \frac{de(t)}{dt}$$

где $e(t) = \varphi_p(t) - \varphi(t)$ – ошибка (программа минус измерение).

- П – реагирует на текущую ошибку
- И – накапливает (суммирует) ошибку, устраняет статическую ошибку
- Д – реагирует на скорость изменения ошибки, демпфирует колебания, чувствителен к шуму



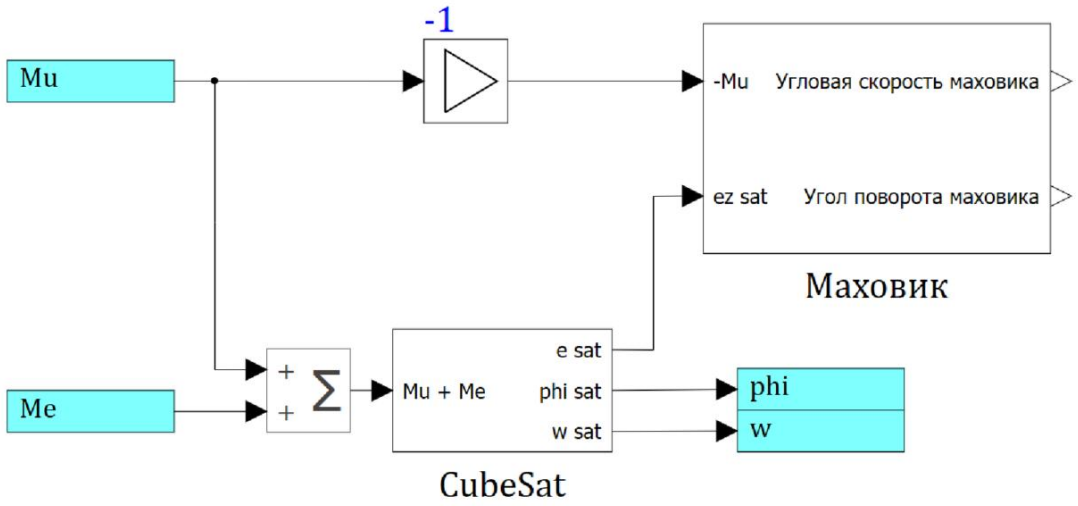
кадры для космоса

Субмодель КА с маховиком

- Субмодель описывает динамику системы, состоящей из корпуса КА и маховика
- Внутри субмодели необходимо определить её интерфейс (выходы и выходы)
- В рассматриваемом примере выходы это управляющий момент маховика и внешний возмущающий момент, действующий на КА
- Выходы субмодели – угол поворота и угловая скорость КА

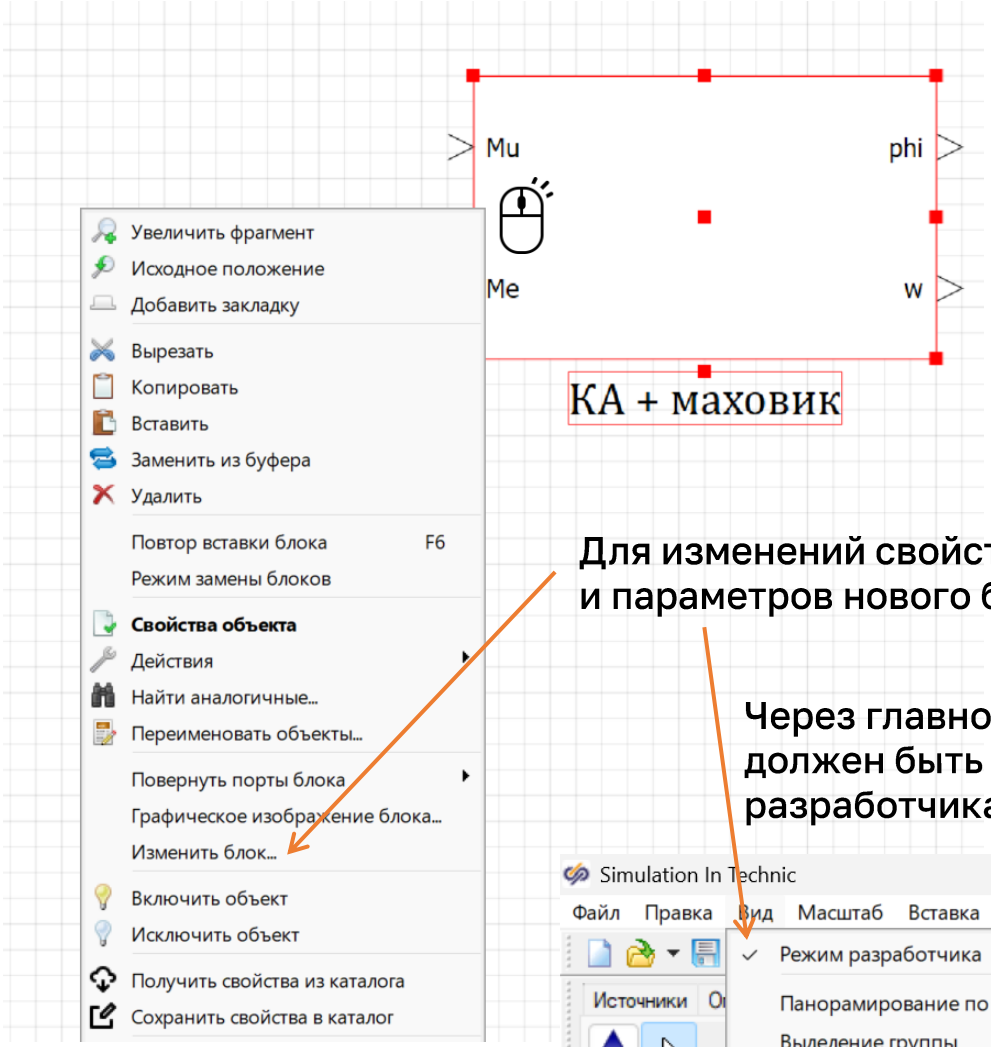


КА + маховик



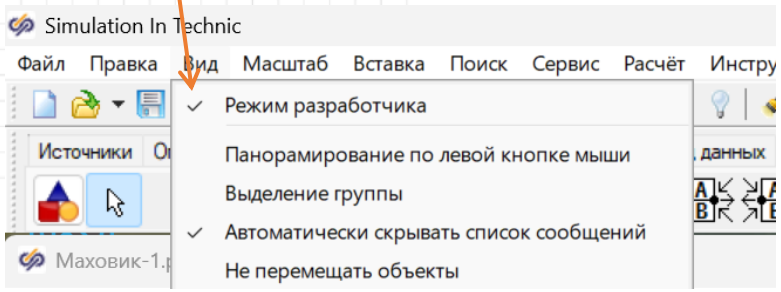
кадры для космоса

Изменение параметров и свойств блока

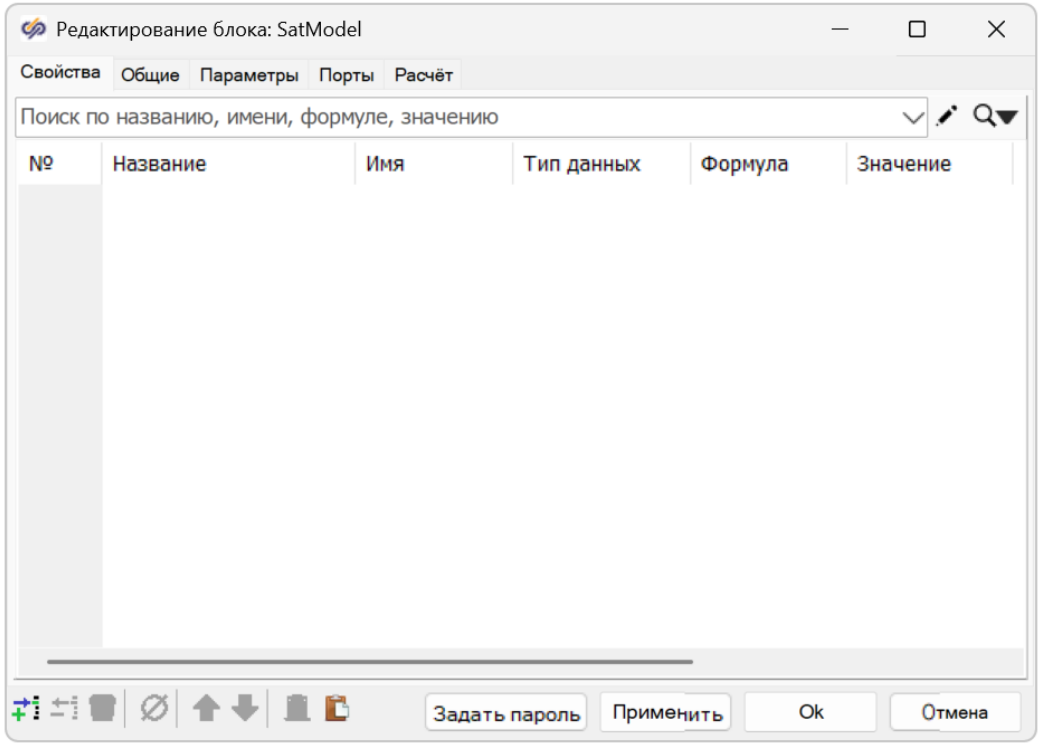


Для изменений свойств
и параметров нового блока

Через главное меню «Вид»
должен быть включен режим
разработчика

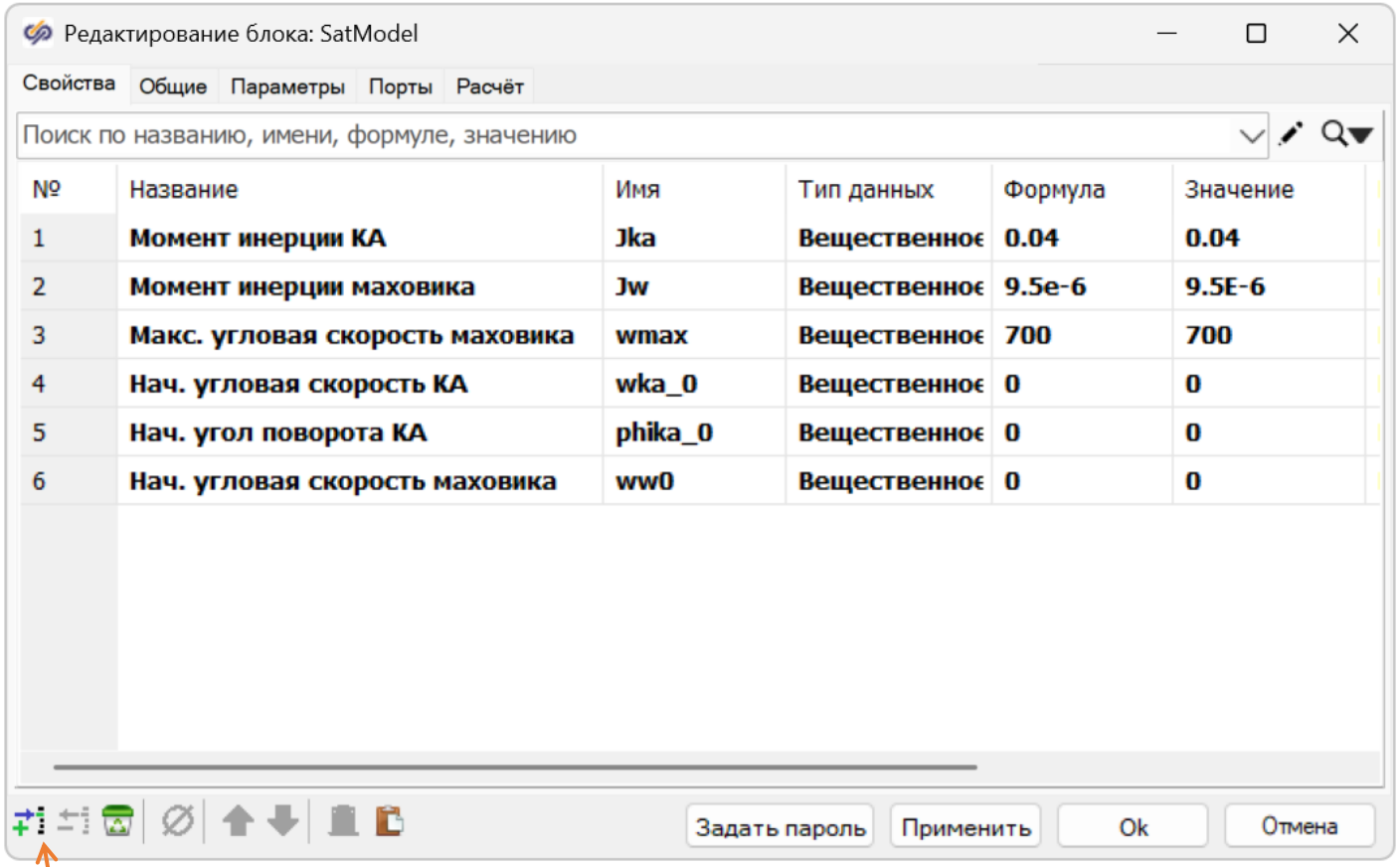


Редактирование блока



кадры для космоса

Свойства блока

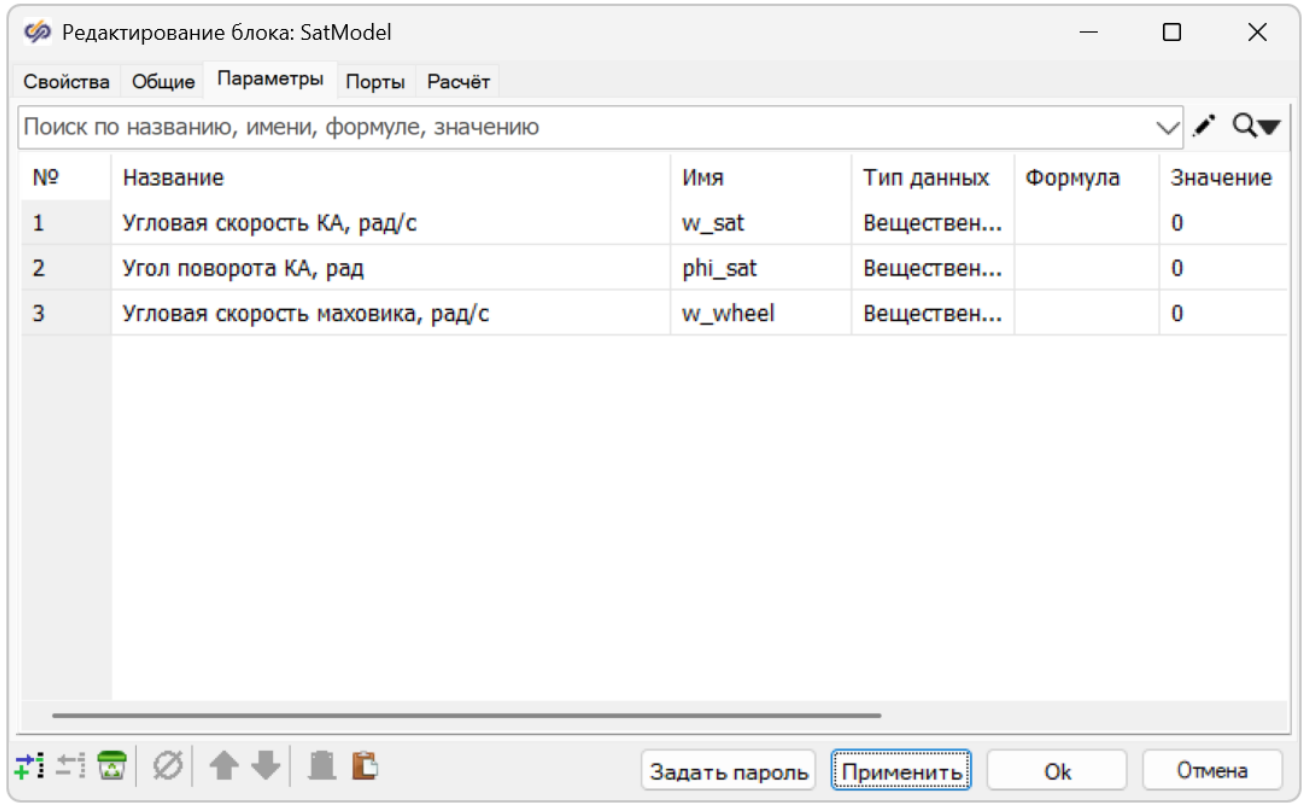


Добавить/удалить свойство

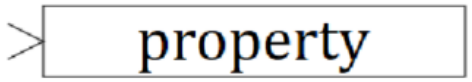
- При помощи свойств блоку задаются начальные значения расчетных переменных, константы, используемые им при расчете, выбирается характеристика расчета блока
- Имена свойств доступны внутри блока как глобальные переменные
- Свойства блока определяют его поведение (масса, момент инерции, …)

кадры для космоса

Параметры блока

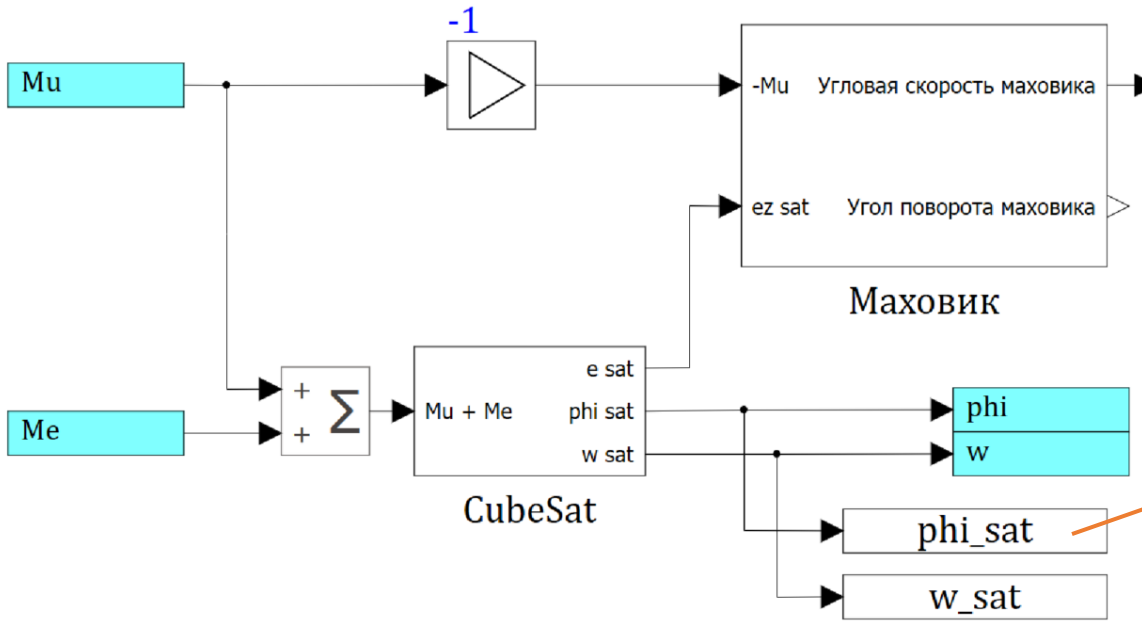


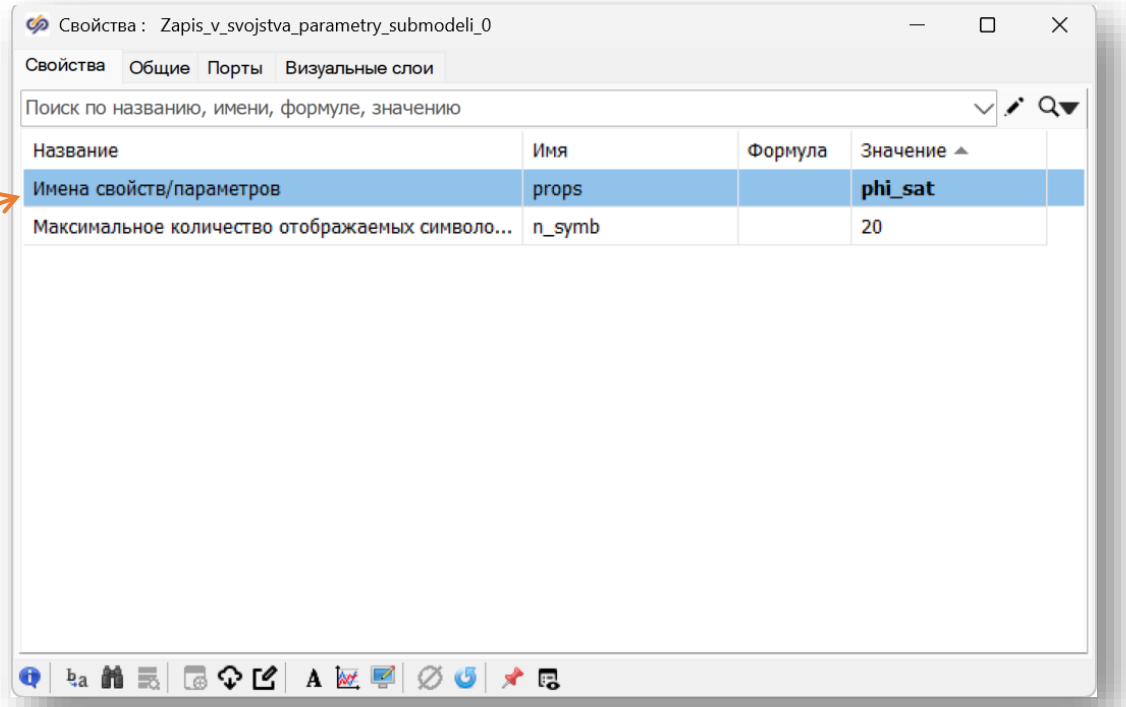
- Параметры отображают состояние блока (для КА это может быть угловая скорость, угол поворота)
- Имена параметров доступны внутри блока как глобальные переменные
- Запись значений параметров субмодели (присвоение значений) может производиться в скрипте субмодели или при помощи блока записи свойств субмодели из библиотеки «Субструктуры»



кадры для космоса

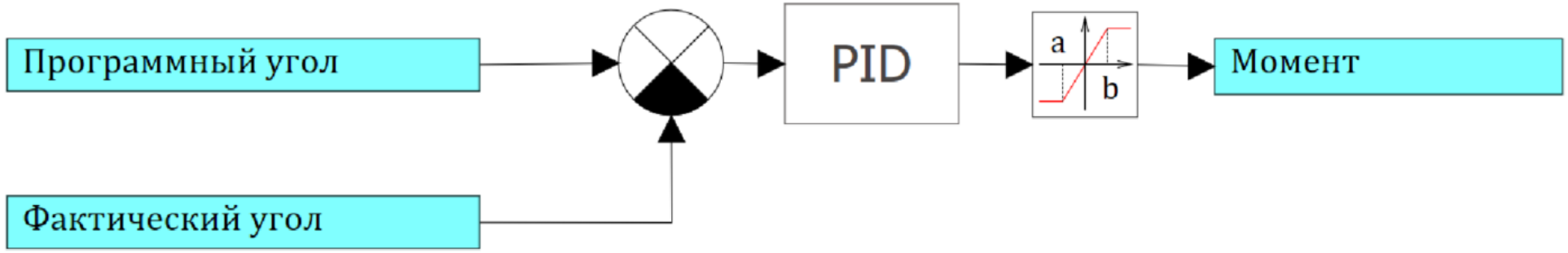
Запись значений параметров





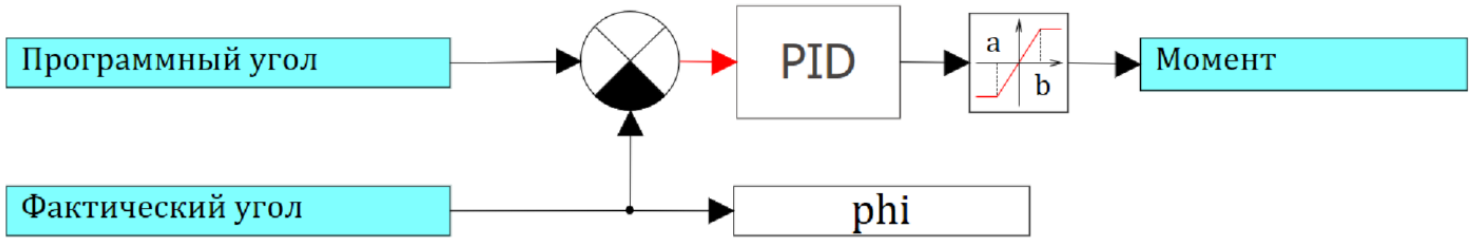
кадры для космоса

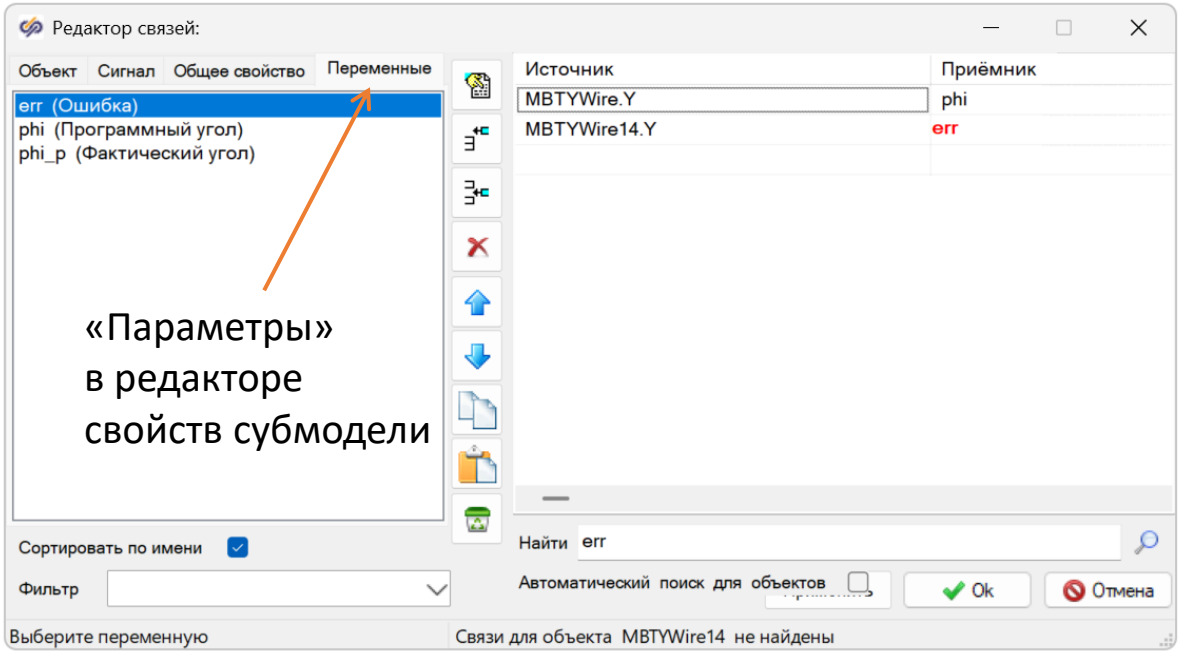
Субмодель системы управления



- **Входы модели системы управления (субмодель):**
  - Программный угол поворота КА
  - Фактический угол поворота КА
- **Выходы субмодели**
  - Момент на маховик (требуемый): фактическое значение маховика определяется моделью электропривода

Субмодель системы управления





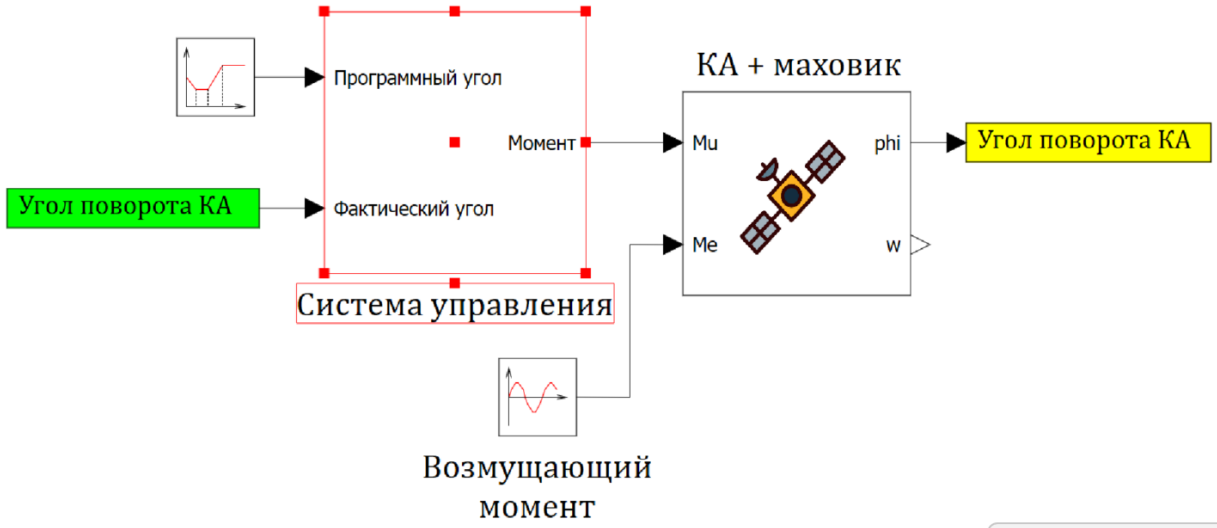
Значения параметров могут быть записаны

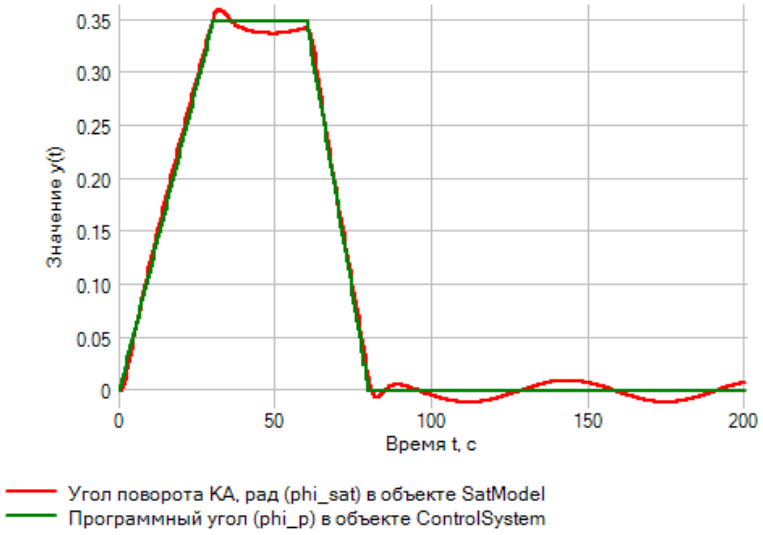
- при помощи блока «Запись в свойства/параметры субмодели»
- при помощи редактора связей

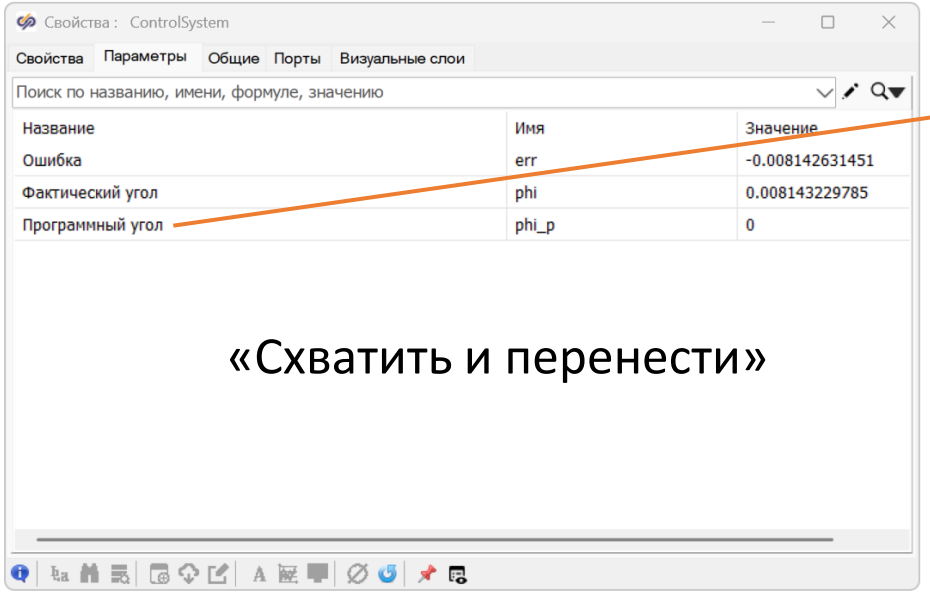
Связываются свойства блока (например значение на линии связи) с «Переменной» субмодели, под которой подразумеваются Параметры субмодели.

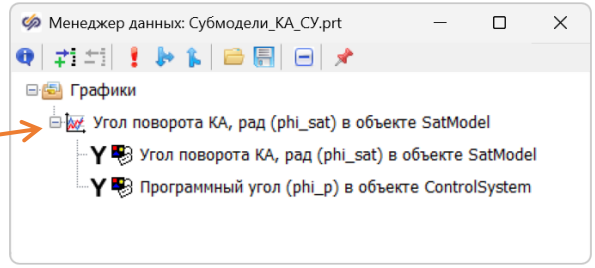
кадры для космоса

Модель системы









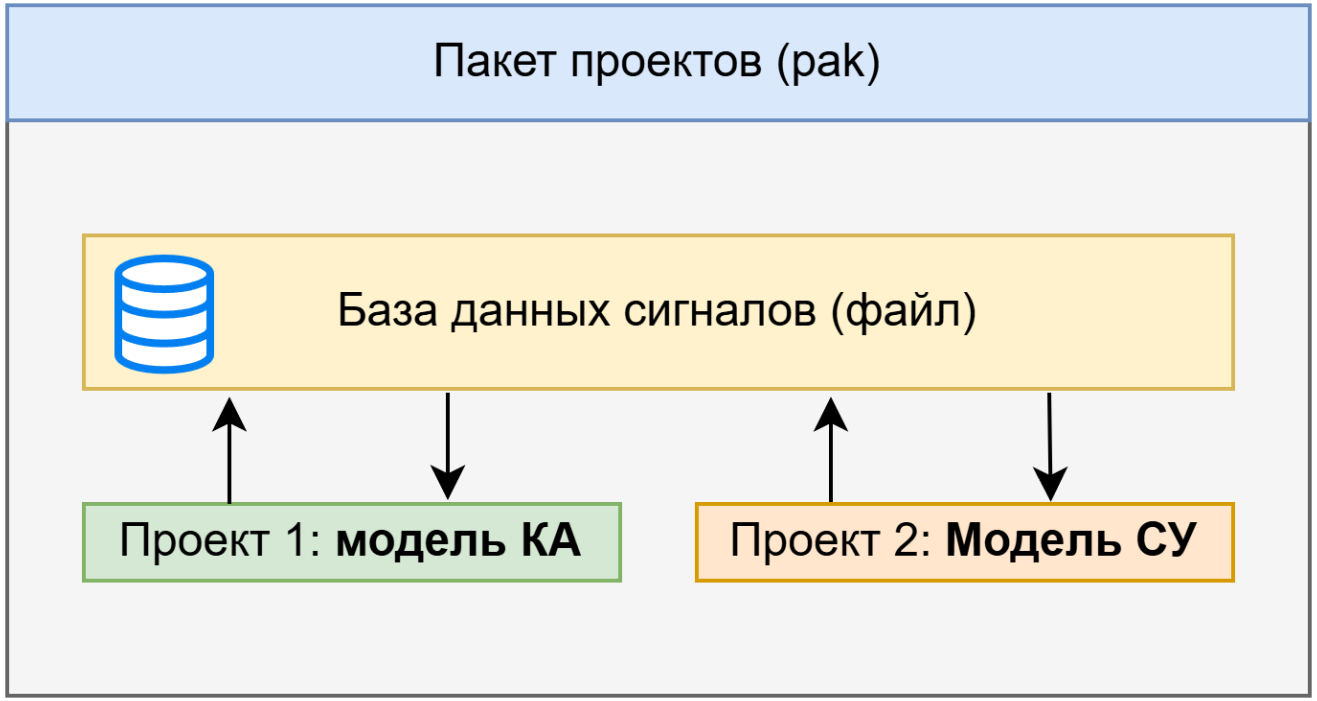
«Схватить и перенести»

- Графики могут быть построены при помощи менеджера данных проекта
- Создать в дереве менеджера данных «Временной график»
- Перенести в дерево графика параметры субмоделей из редактора свойств блоков

Пакет проектов

кадры для космоса

Пакет проектов

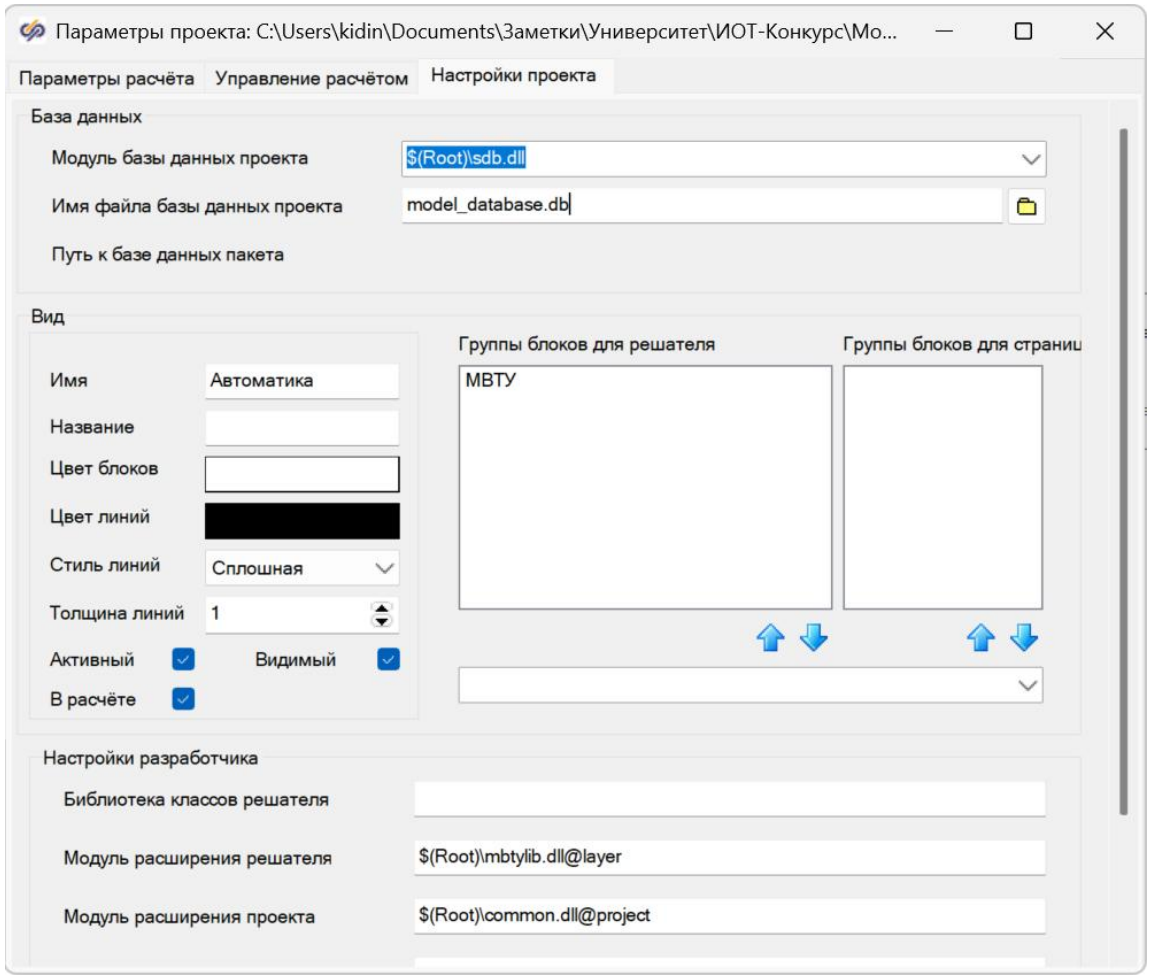


- Пакет проектов объединяет несколько проектов, работающих синхронно, и обменивающихся данными через базу сигналов
- У каждого проекта может быть свой метод интегрирования, точность, шаг
- На многоядерных процессорах проекты выполняются на разных ядрах
- Пакет проектов позволяет создавать комплексные цифровые модели

База данных сигналов

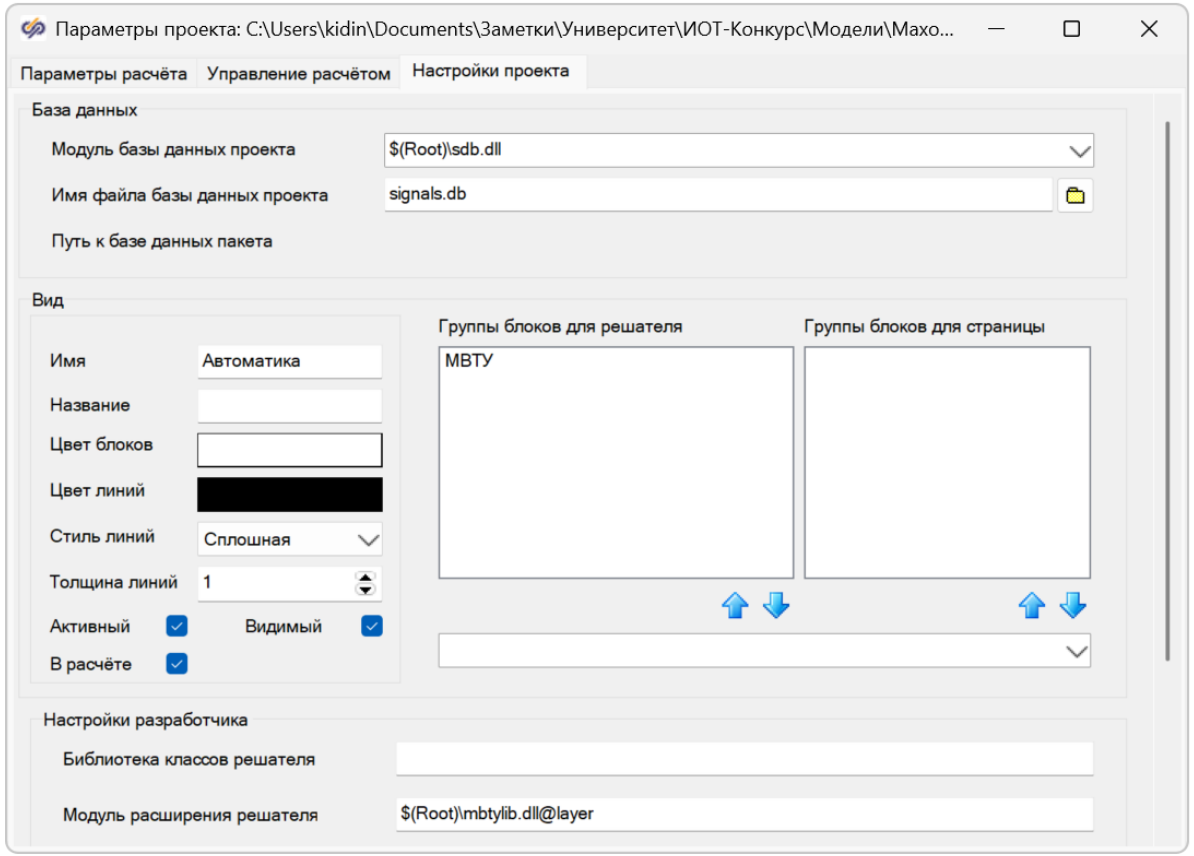


База данных сигналов



- 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.

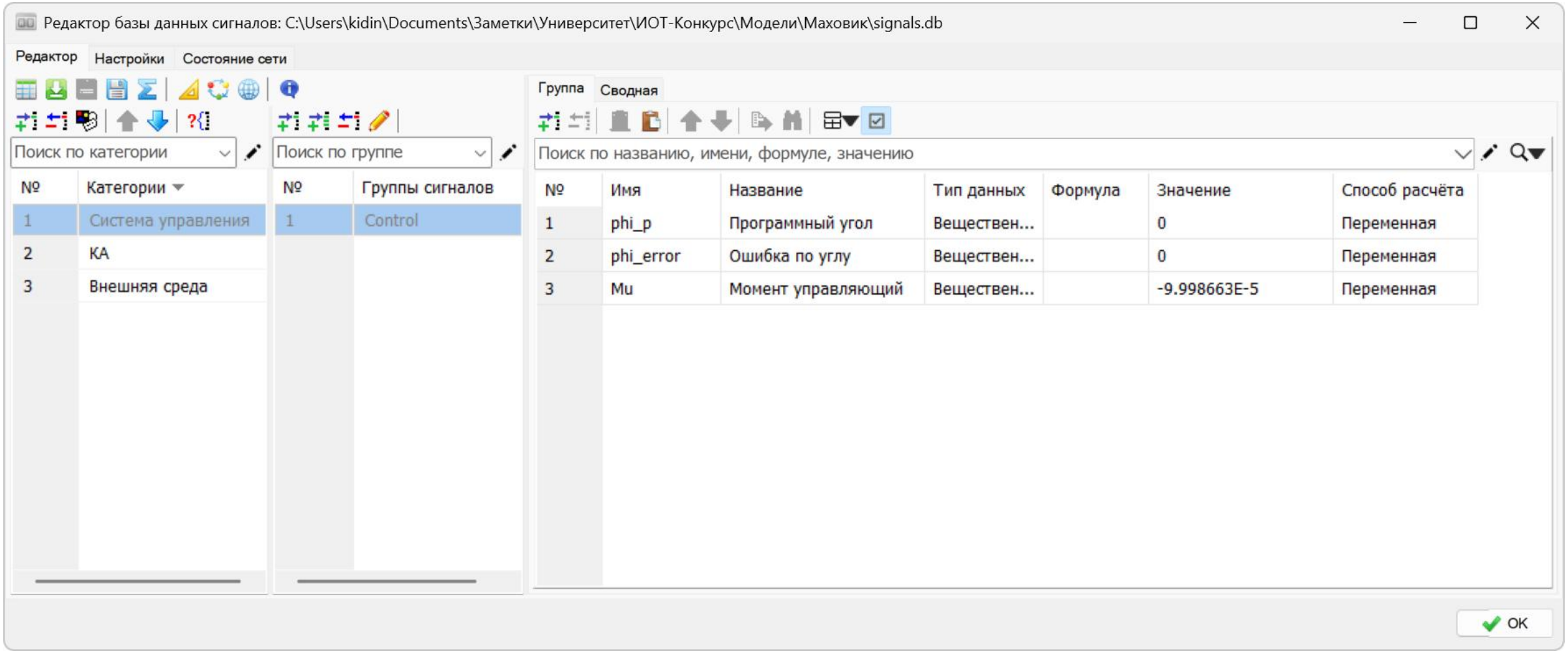
Подключение базы данных сигналов



- Параметры проекта
- Закладка «Настройки проекта»
- Модуль базы данных выбирается из списка
- Имя файла базы данных задается разработчиком модели
- База данных подключается в каждо проекте пакета

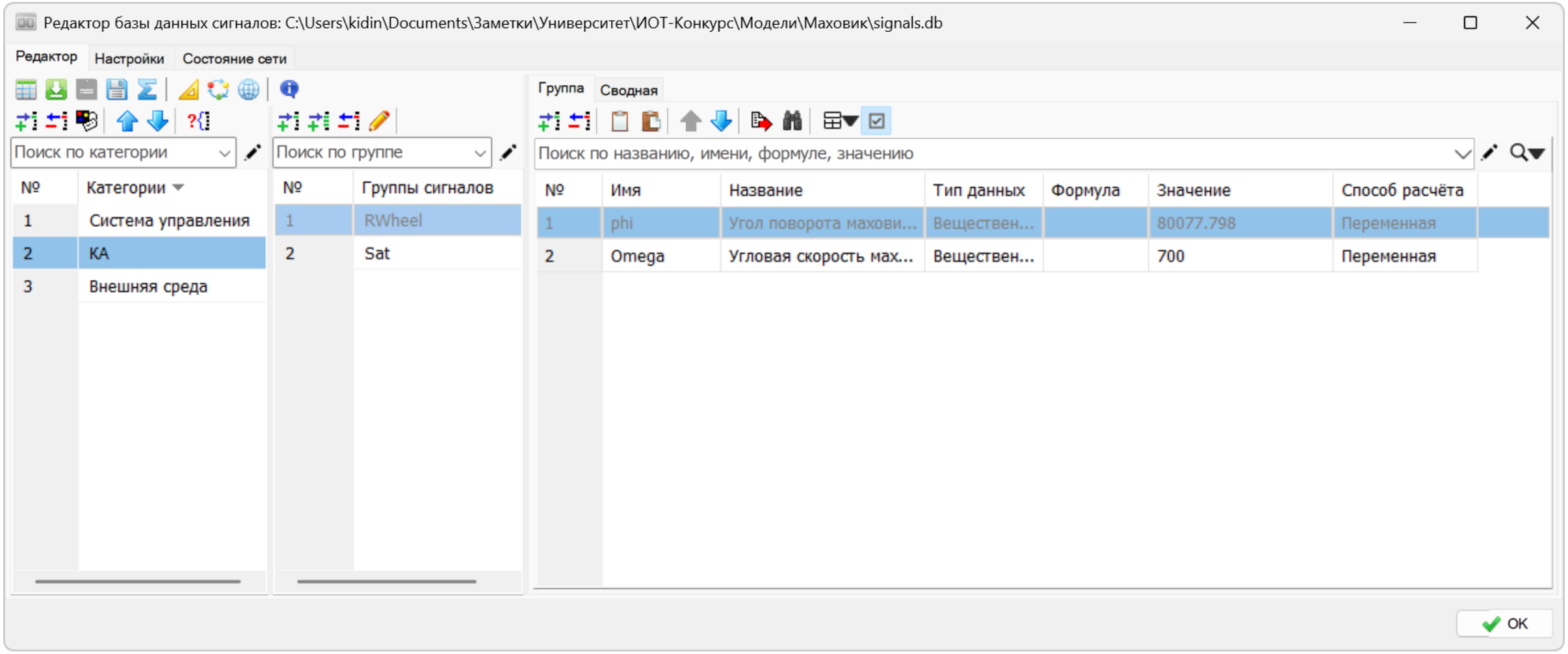
кадры для космоса

Редактор базы данных сигналов



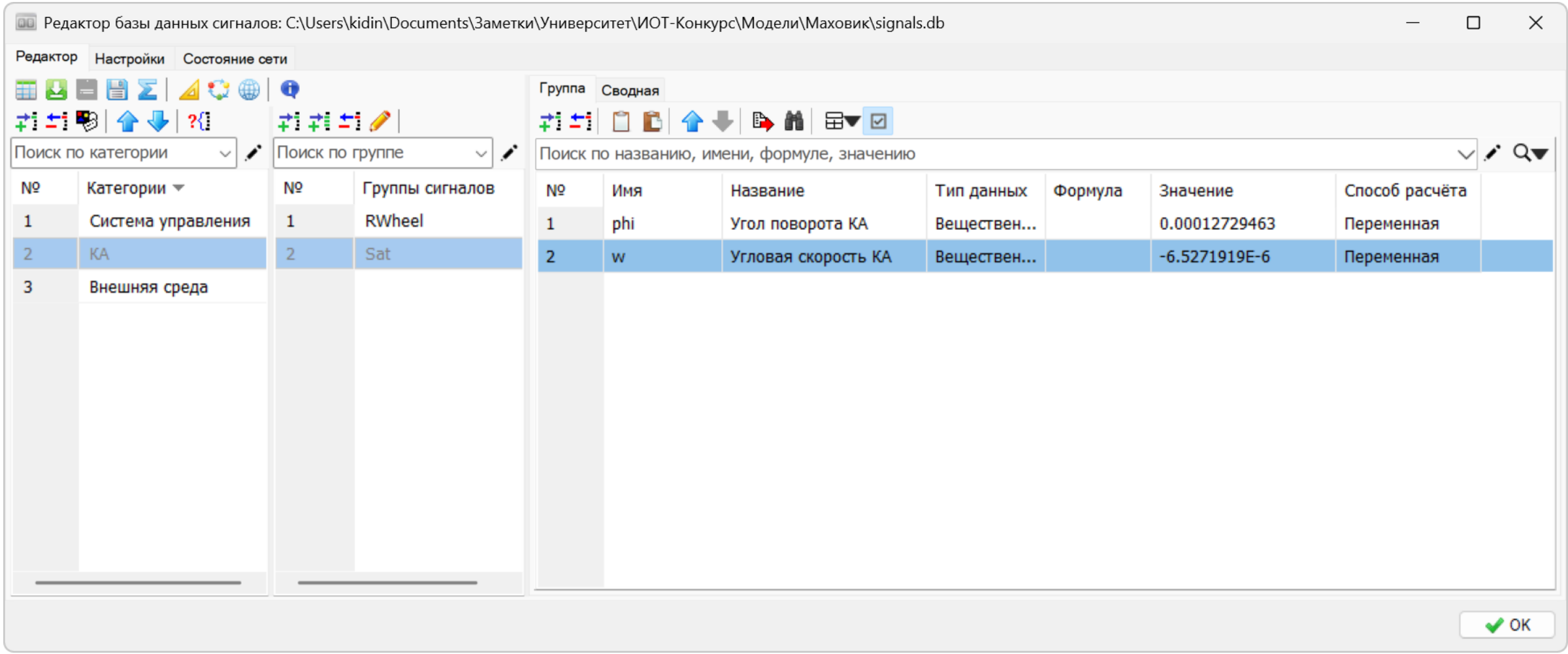
кадры для космоса

Редактор базы данных сигналов



кадры для космоса

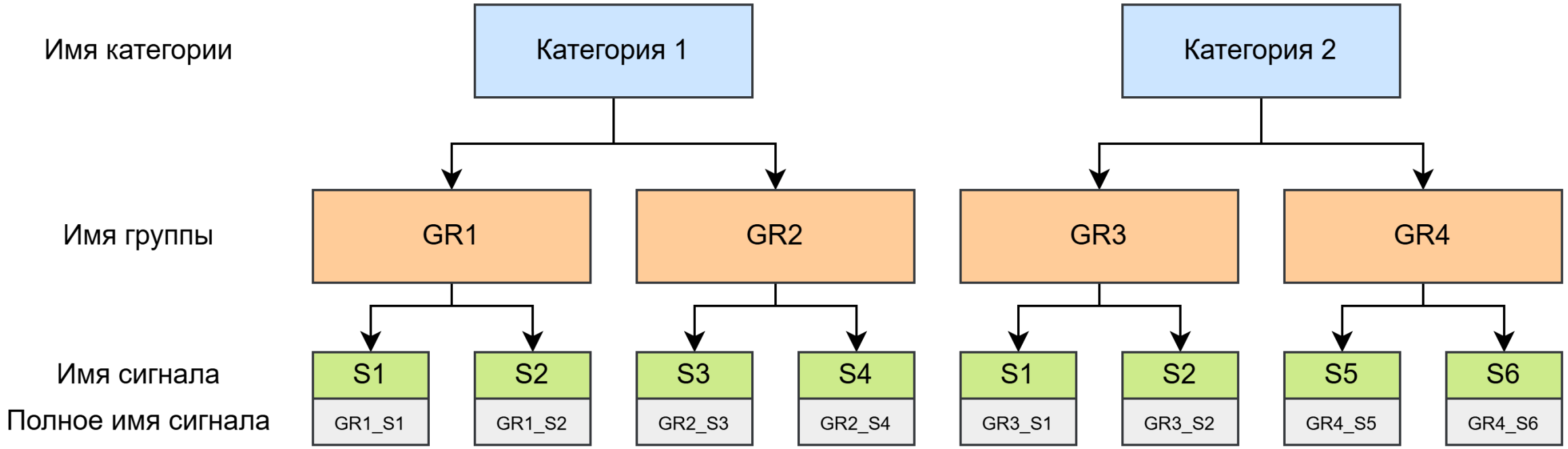
Редактор базы данных сигналов



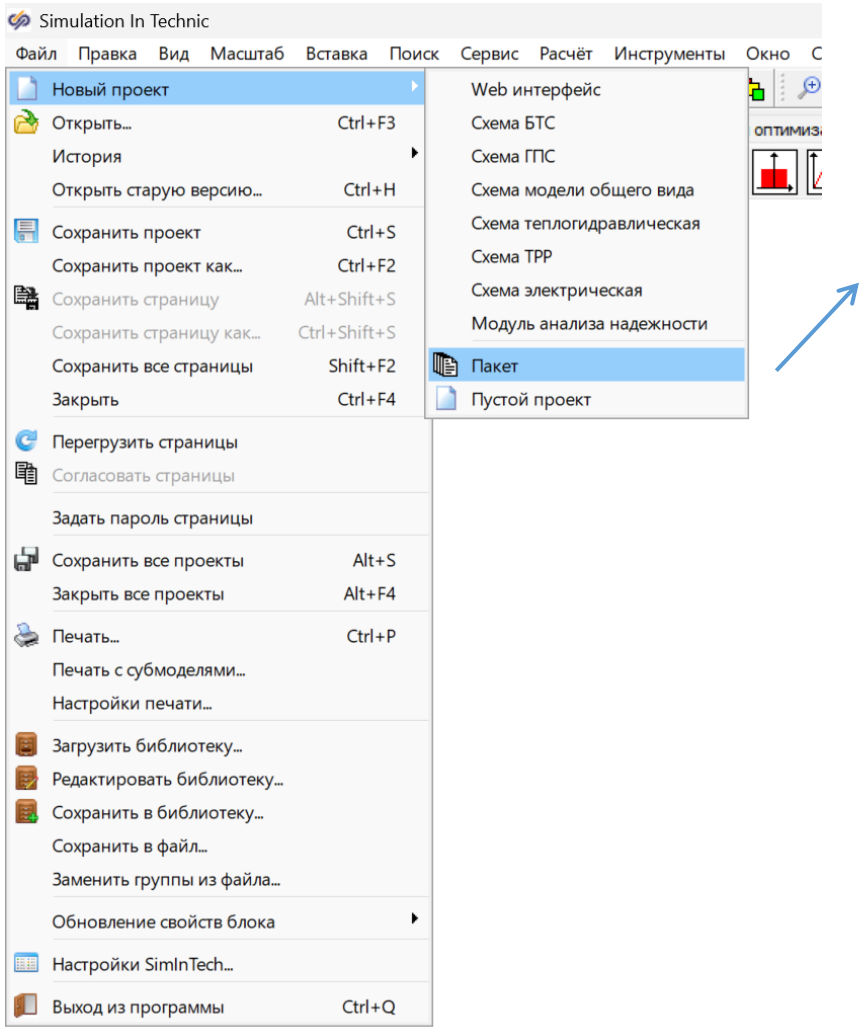
кадры для космоса

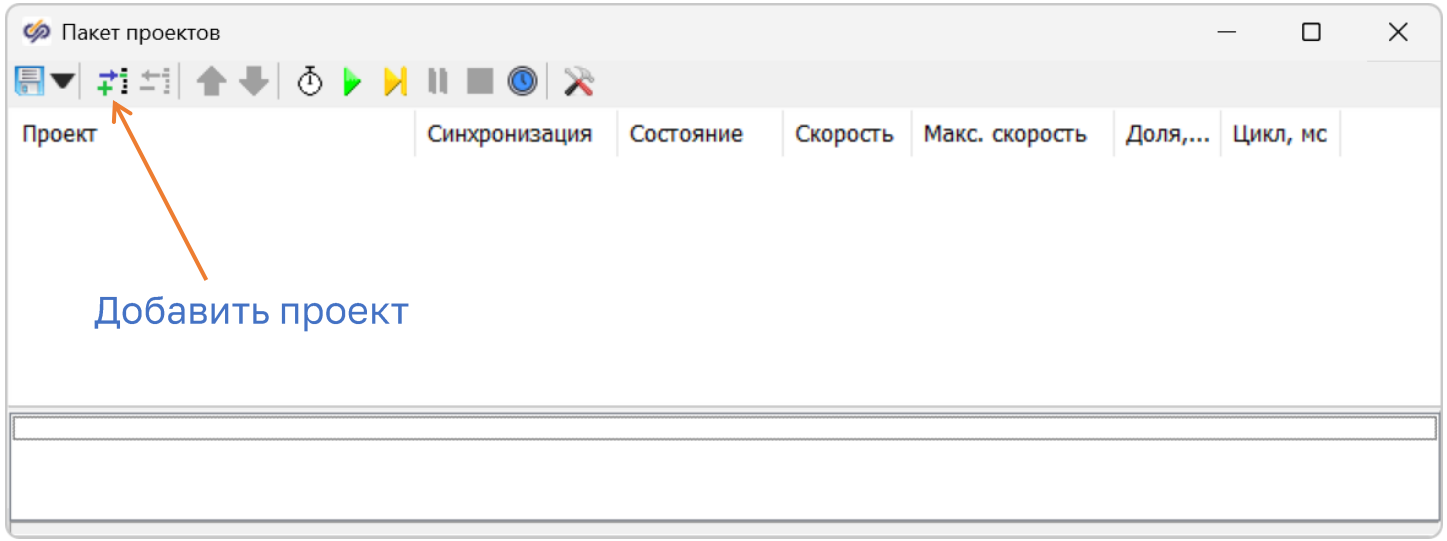
Полное имя сигнала

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.



Создание пакета проектов

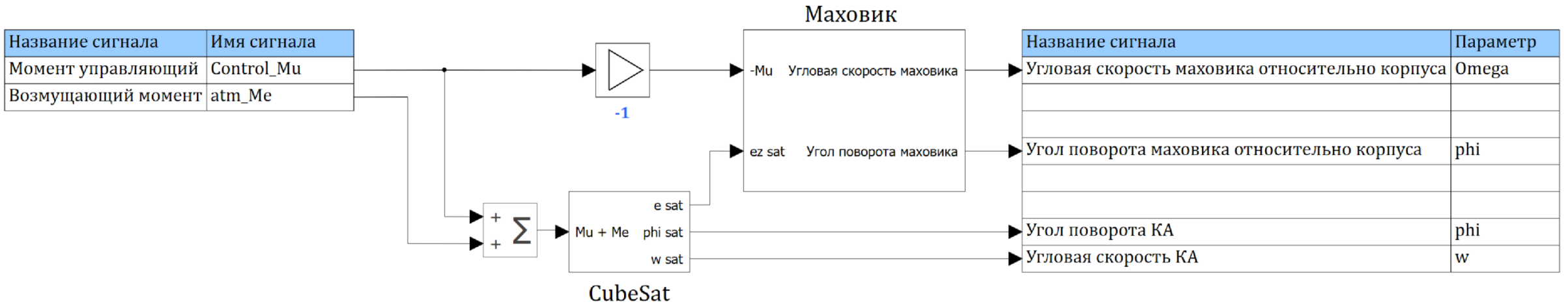




- В пакет добавляются уже созданные проекты

кадры для космоса

Проект «КА + маховик»



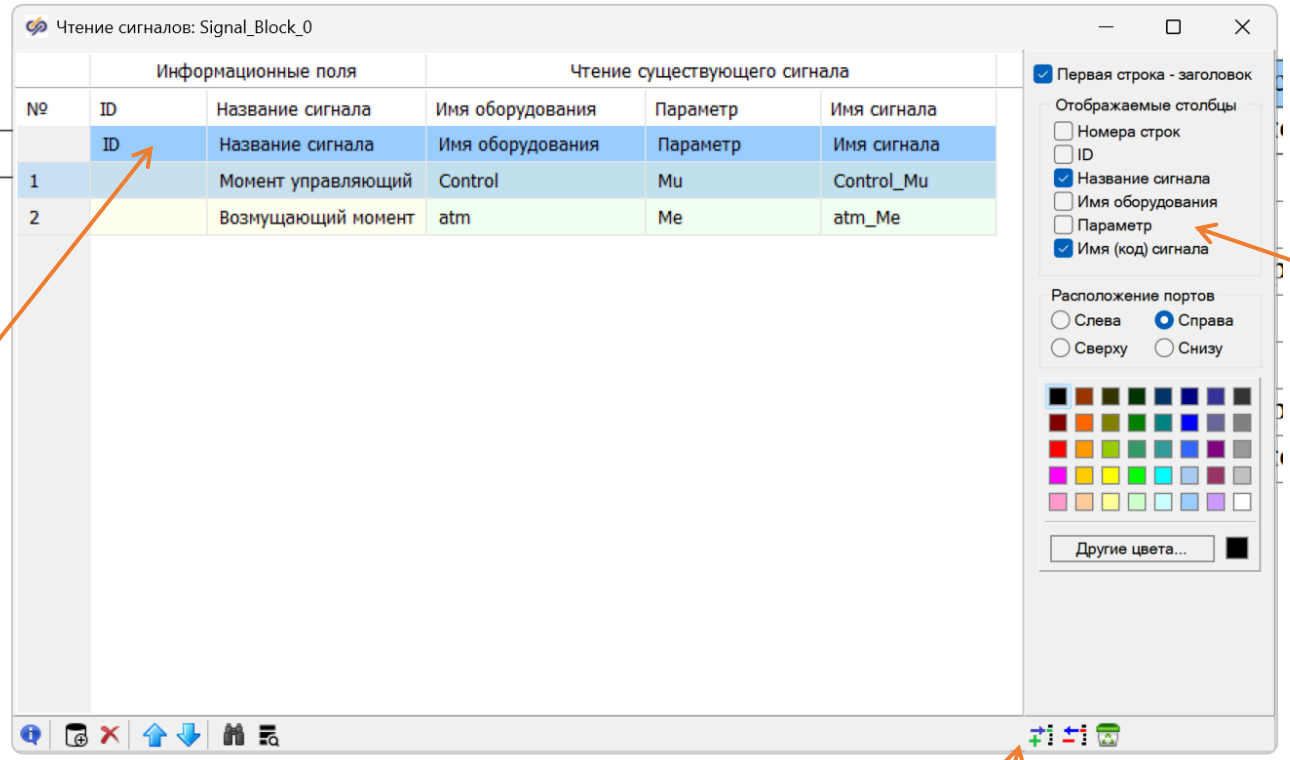
Название сигнала	Имя сигнала
Момент управляющий	Control_Mu
Возмущающий момент	atm_Me

Название сигнала	Параметр
Угловая скорость маховика относительно корпуса	Omega
Угол поворота маховика относительно корпуса	phi
Угол поворота КА	phi
Угловая скорость КА	w

- Входы и выходы модели созданы при помощи блоков «Вход алгоритма» и «Выход алгоритма» библиотеки «Сигналы» читающие и записывающие данные в базу данных сигналов
- База данных сигналов должна быть подключена к проекту

Блок «Вход алгоритма»

Название сигнала	Имя сигнала
Момент управляющий	Control_Mu
Возмущающий момент	atm_Me



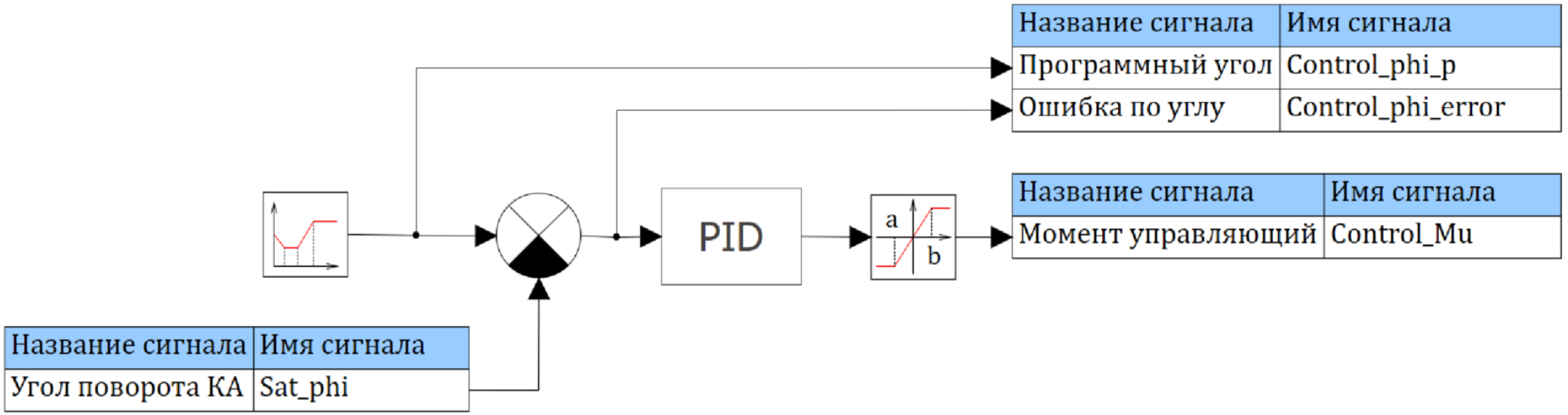
Первая строка используется как заголовок

Параметры отображения списка сигналов

Добавить/удалить сигнал из базы в список

кадры для космоса

Модель системы управления



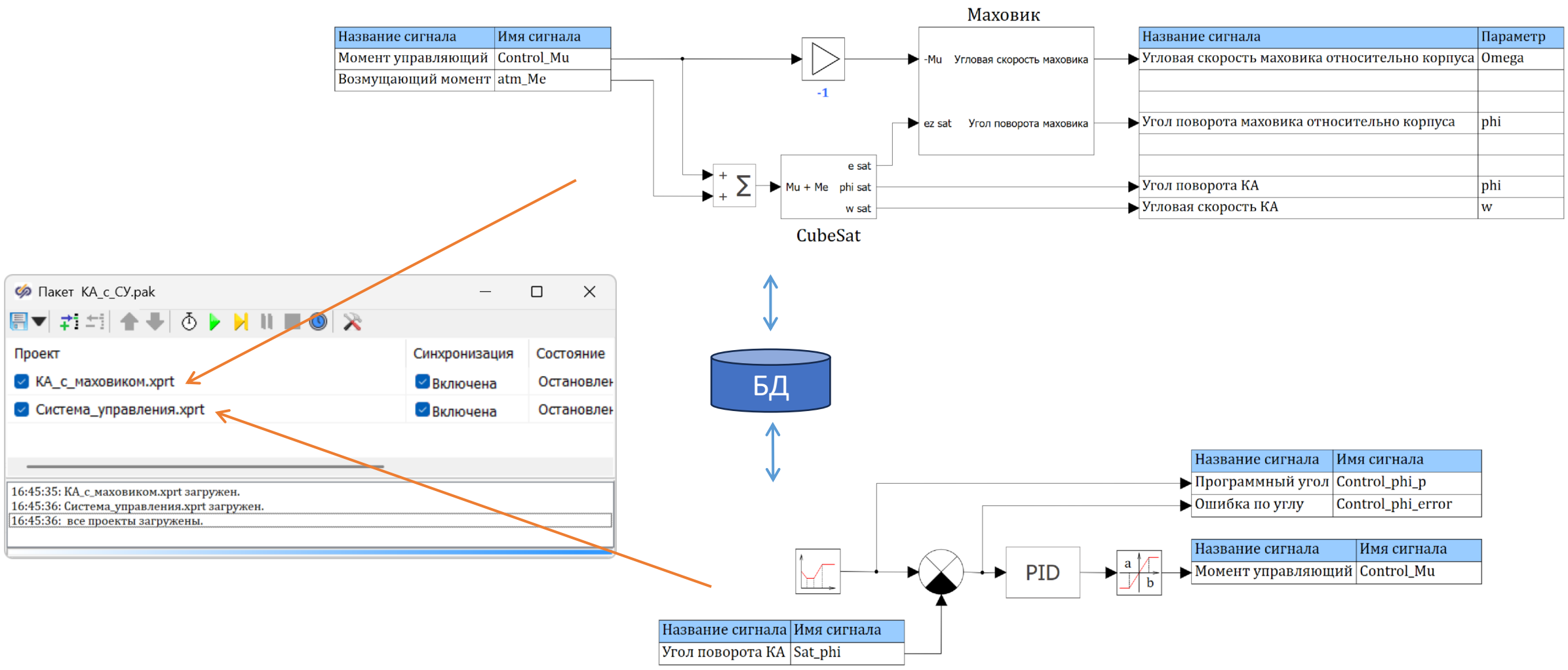
Название сигнала	Имя сигнала
Программный угол	Control_phi_p
Ошибка по углу	Control_phi_error

Название сигнала	Имя сигнала
Момент управляющий	Control_Mu

Название сигнала	Имя сигнала
Угол поворота КА	Sat_phi

- Результаты работы модели системы управления записываются в базу данных сигналов
- База данных сигналов должна быть подключена к проекту

Пакет проектов

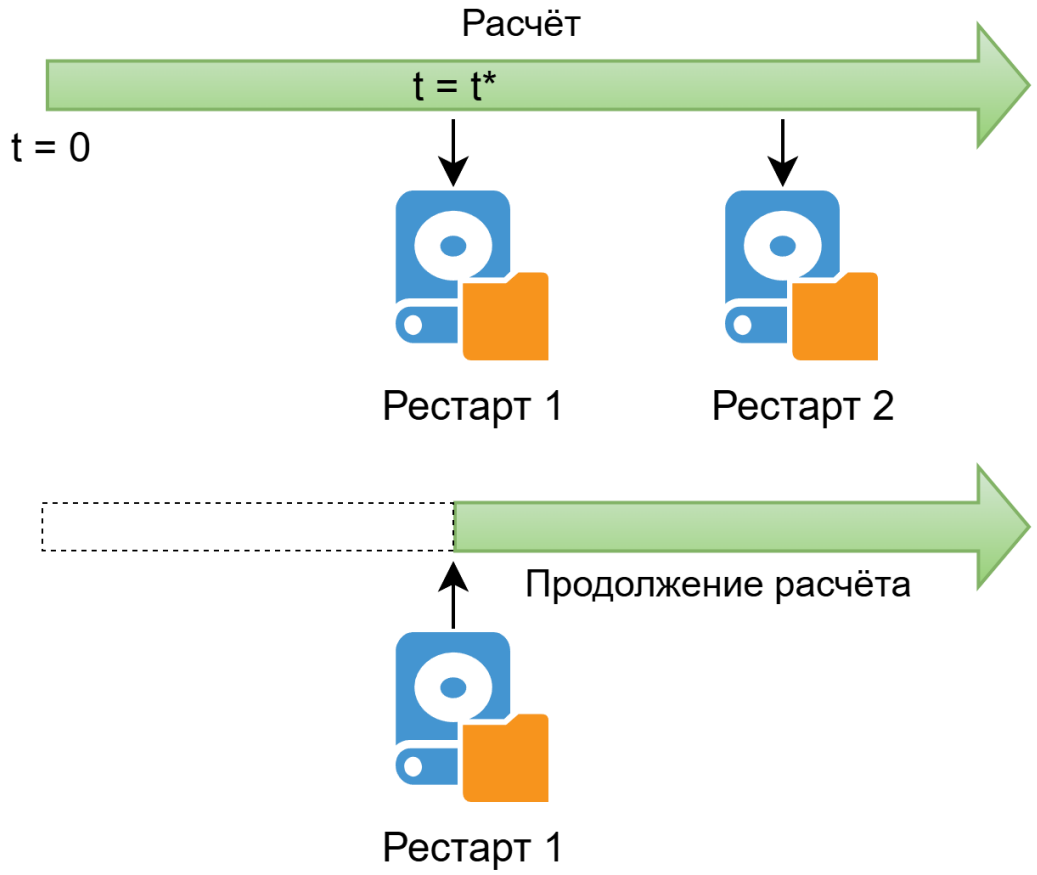


кадры для космоса

Расчёт
t = t*
t = 0
Рестарт 1
Рестарт 2
Продолжение расчёта
Рестарт 1

Рестарты

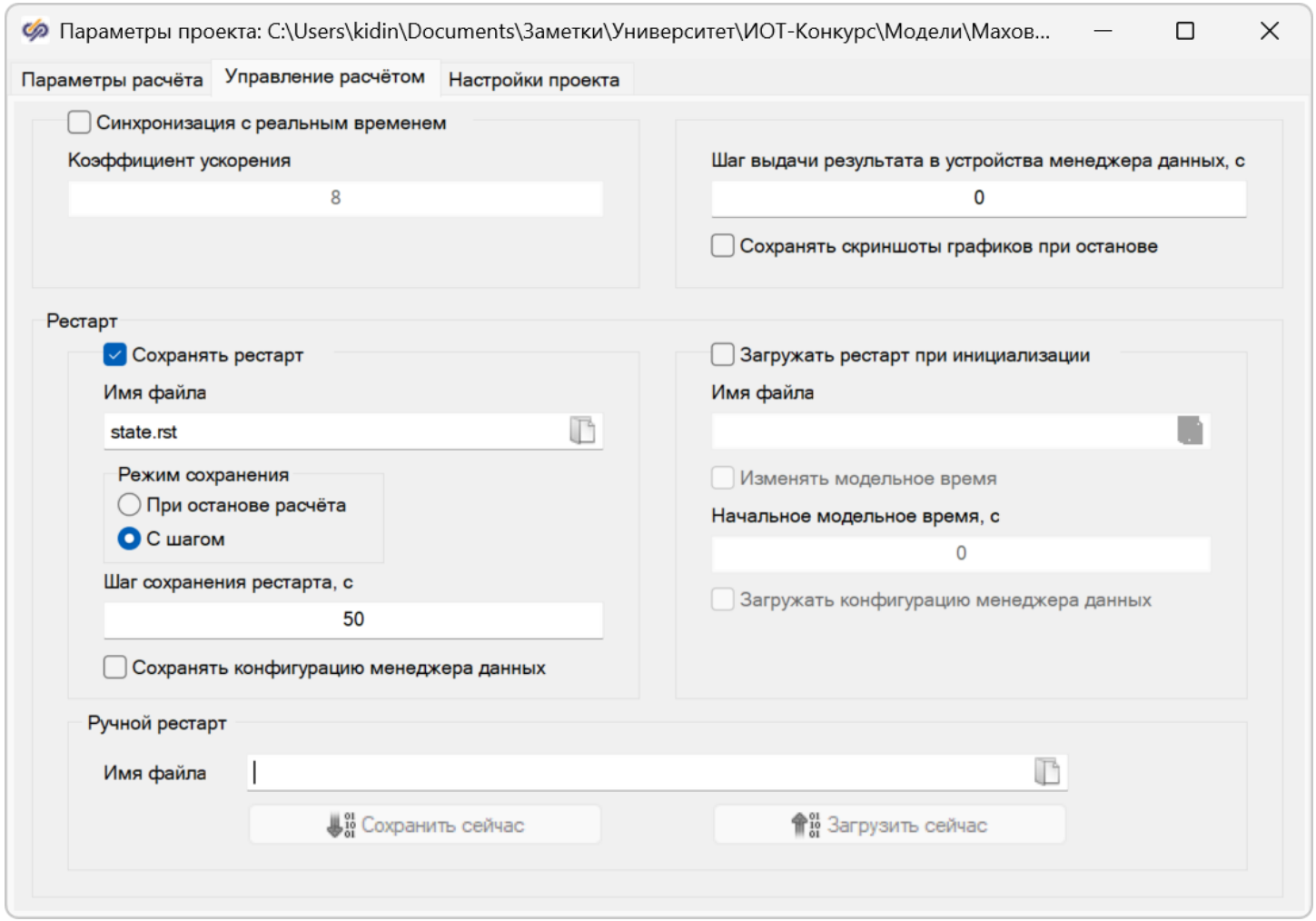
Рестарт



- Рестарт – это сохраненное в файл состояние модели по её переменным состояния (или внутренним, независимым переменным) в некоторый момент времени
- Рестарты позволяют начать выполнение модели с определенного состояния

кадры для космоса

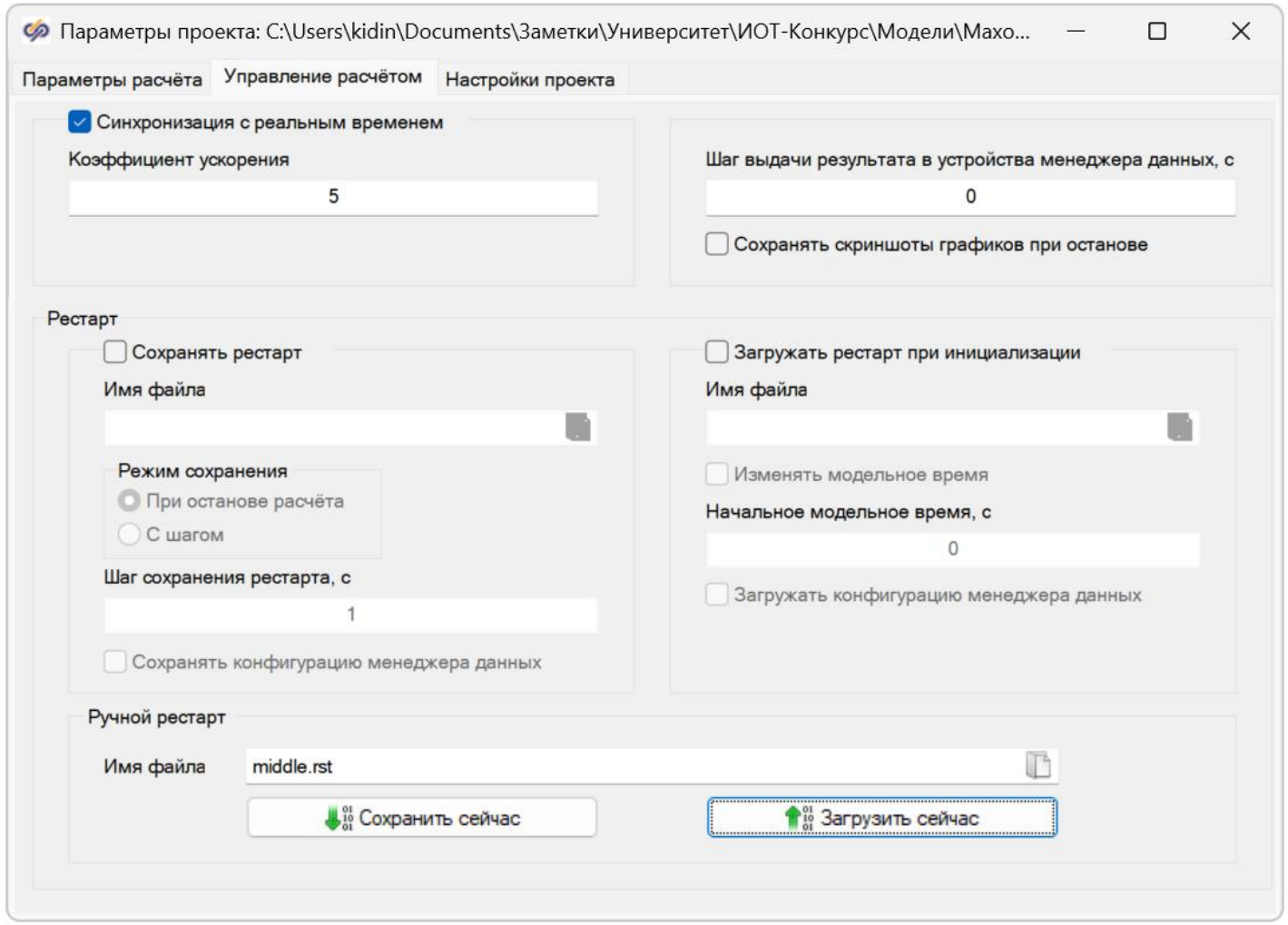
Управление расчётом



- При настройках, показанных на рисунке каждые 50 с времени модели её состояние (состояние динамических переменных) будет записываться (перезаписываться) в файл state.rst

кадры для космоса

Ручной рестарт



- Ручное сохранение и загрузка рестарта «Сохранить сейчас» и «Загрузить рестарт» возможно в процессе расчёта проекта
- При загрузке рестарта модель возвращается к исходному сохраненному состоянию и продолжает расчёт
- Ручной рестарт можно использовать для анализа влияния параметров модели на ее движения в заданные интервалы времени

кадры для космоса

Источники

- Блок «Субмодель»
- Сигналы проекта, база сигналов проекта, векторизованный блок
- Рестарты проекта и пакета
- Пакет проектов