

Сомоделирование (совместное моделирование, от англ. «co-simulation»)

Введение

Сомоделирование можно рассматривать как совместное исполнение различных математических инструментов, каждый из которых работает с собственным решателем и настройками. При совместном моделировании различные систем/подсистемы, которые образуют единый комплексный объект, исполняются распределенным образом и обмениваются данными. Обмен информацией осуществляется либо через специальные интерфейсы, либо через промежуточный буфер, управляемый главным алгоритмом. Главный алгоритм отвечает за создание экземпляров симуляторов и организацию обмена информацией (симулятор-симулятор или симулятор-оркестратор).

Обмен между MATLAB Simulink и SimInTech (MATLAB Simulink – master)

Данный раздел посвящен одному из возможных способов организации сомоделирования двух программных комплексов моделирования технических систем, а именно MATLAB Simulink (в роли master-проекта) и SimInTech (в роли slave-проекта), посредством использования механизма COM. Процедуры, реализующие создание COM-интерфейса, а также работу с ним, заложены в специально разработанную dll-библиотеку, которую можно подключить к MATLAB. Основным достоинством способа является простота реализации.

Для обеспечения возможности проведения сомоделирования достаточно поместить в директорию выполненной в MATLAB Simulink модели dll-библиотеку “SITLoader.dll” и заголовочный файл “SITLoader.h”, которые можно найти в демо-примере из директории “...\SimInTech\source\MATLAB-SimInTech Co-Simulation\Demo\MATLAB model”. После выполнения данной процедуры необходимо выполнить следующий перечень действий:

- 1) Запустить программный пакет MATLAB.
- 2) В окне “Current Folder” перейти к директории расположения выполненной в MATLAB Simulink модели, то есть сделать директорию текущей.
- 3) Открыть модель.
- 4) Установить на схемное окно блок “MATLAB function” из подраздела “User-Defined Functions” (Рисунок 1).

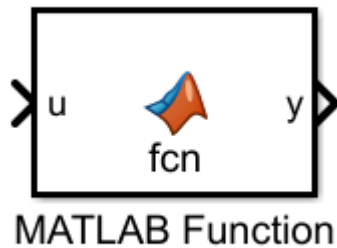


Рисунок 1

- 5) Открыть раздел свойств блока (строка “Properties...” контекстного меню, вызываемого по щелчку правой кнопкой мыши по блоку).
- 6) Перейти к закладке “Callbacks” и создать для блока функцию инициализации (“InitFcn”). Для этого следует выделить левой кнопкой мыши строку “InitFcn” и в поле для ввода текста написать следующие строки:

```
loadlibrary('SITLoader.dll', 'SITLoader.h')
```

```
calllib('SITLoader', 'LoadModel', 'C:\\New Folder\\SITModel.prt')
```

При выполнении данного кода загружается dll-библиотека “SITLoader.dll”. Затем из этой библиотеки с аргументом “C:\\New Folder\\SITModel.prt” вызывается функция “LoadModel”, что приводит к запуску модели по адресу “C:\\New Folder\\SITModel.prt”. В этой строке необходимо прописать полный путь к модели в SimInTech без использования символов русского алфавита. Стоит отметить, что открывать можно модели, имеющие расширение не только “*.prt”, но и “*.pak”.

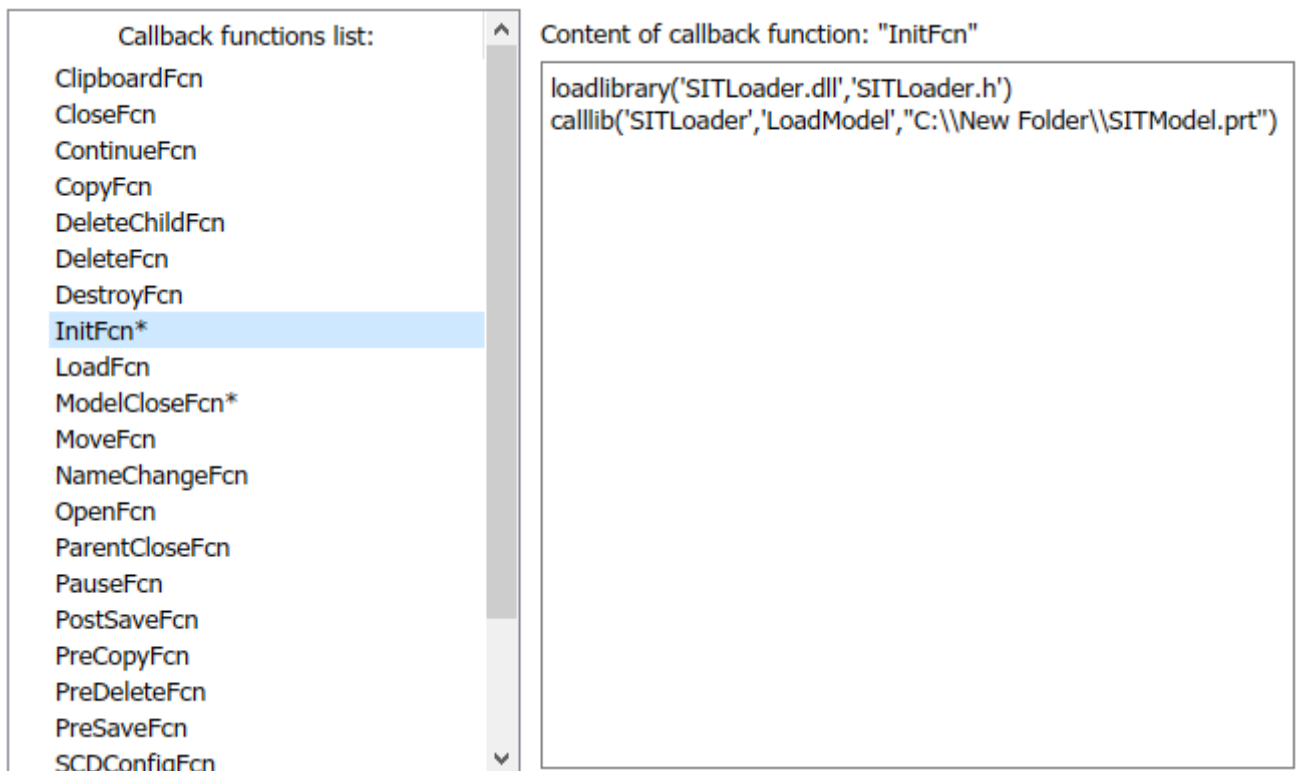


Рисунок 2

- 7) Аналогичным образом создать для блока функцию “StopFcn”, вызываемую при останове расчета модели, прописав в теле функции следующую строку:

```
calllib('SITLoader','UnloadModel')
```

При выполнении данного кода выгружается dll-библиотека “SITLoader.dll”.

- 8) Применить изменение свойств блока и закрыть соответствующее окно.

На следующем этапе необходимо описать функцию, которая будет выполняться на каждом шаге расчета. Для вызова редактора тела функции следует выполнить двойной щелчок левой кнопкой мыши непосредственно по блоку “MATLAB function”, расположенному на схемном окне модели.

Заголовок функции должен быть записан в следующем формате:

```
function [<Имя выходной переменной 1>, <Имя выходной переменной 2>, ...] = <Имя функции> (<Имя входной переменной 1>, <Имя входной переменной 2>, ...)
```

Далее следует запретить генерацию кода для ряда используемых функций:

```
coder.extrinsic('calllib','get_param','bdroot');
```

Для выполнения синхронизации расчетов в SimInTech и MATLAB Simulink необходимо получить текущее значение модельного времени для обеих систем:

```
simintech_time = 0;
```

```
simintech_time = calllib('SITLoader','GetModelTime');
```

```
simulink_time = 0;
```

```
simulink_time = get_param(bdroot, 'SimulationTime');
```

Затем при помощи цикла “while” обеспечить непосредственно синхронизацию модельного времени:

```
while simintech_time <= simulink_time

    simintech_time = calllib('SITLoader', 'GetModelTime');

    calllib('SITLoader', 'MakeStep');

end
```

На завершающем этапе при помощи функций “GetSignalValue” и “SetSignalValue” можно прочитать и записать значения переменных из базы данных SimInTech:

```
% Прочитать

<Имя переменной> = 0;

<Имя переменной> = calllib('SITLoader', 'GetSignalValue', '<Имя переменной из
базы данных SimInTech>');

% Записать

calllib('SITLoader', 'SetSignalValue', '<Имя переменной из базы данных
SimInTech>', <Имя переменной>);
```

В конце следует поставить ключевое слово “end”, сигнализирующее о завершении описания тела функции.

Демо-пример, посвященный организации совместного моделирования, располагается в директории “...\SimInTech\source\MATLAB-SimInTech Co-Simulation\Demo\”. Суть примера заключается в совместном моделировании теплогидравлической модели, выполненной в SimInTech, и системы управления, реализованной в MATLAB Simulink, с синхронизацией модельного времени обменом данными.

Простейшая теплогидравлическая модель, выполненная в SimInTech, представлена на рисунке 3.

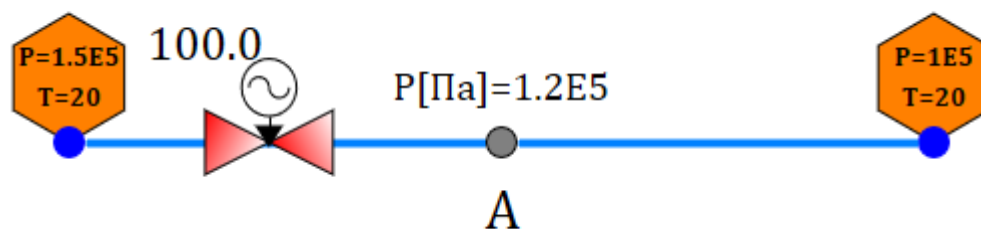


Рисунок 3

Задачей системы управления является поддержание заданного давления в узле А за счет воздействия на регулирующий клапан. Входным параметром для случая реализации простейшей системы управления будет являться величина давления в узле А, а выходным – положение регулирующего клапана. Таким образом, необходимо организовать обмен этими двумя параметрами с MATLAB Simulink. На первом шаге следует создать в базе сигналов SimInTech две переменные: “Node_1_P” и “Valve_1_State” (Рисунок 4, 5). Далее в скрипте модели организовать запись значения давления в узле А в переменную “Node_1_P” (Рисунок 6). Осталось переменную “Valve_1_State” задать в качестве свойства “Степень открытия, %” для блока типа “HS - Задвижка” (Рисунок 7).

№	Категории	№	Группы сигналов	Группа	Сводная	№	Имя	Название	Тип данных	Формула	Значение	Способ расчёта
0	Датчики	1	Node_1	1	P	Давление в узле, Па	Вещественное				120481.45	Переменная

Фильтр имени групп сигналов: По умолчанию (*)

Имя сигнала фильтрации:

Поле сигнала фильтрации: Значение

Фильтр категорий:

Значение поля сигнала филь:

Объединить по: И

Фильтр имени сигналов: По умолчанию (*)

Фильтр названия сигналов: По умолчанию (*)

☒ Обновлять текущие значения

Справка Ок

Рисунок 4

№	Категории	№	Группы сигналов	Группа	Сводная	№	Имя	Название	Тип данных	Формула	Значение	Способ расчёта
0	Датчики	1	Valve_1	1	State	Положение клапана, %	Вещественное				100	Переменная

Фильтр имени групп сигналов: По умолчанию (*)

Имя сигнала фильтрации:

Поле сигнала фильтрации: Значение

Фильтр категорий:

Значение поля сигнала филь:

Объединить по: И

Фильтр имени сигналов: По умолчанию (*)

Фильтр названия сигналов: По умолчанию (*)

☒ Обновлять текущие значения

Справка Ок

Рисунок 5

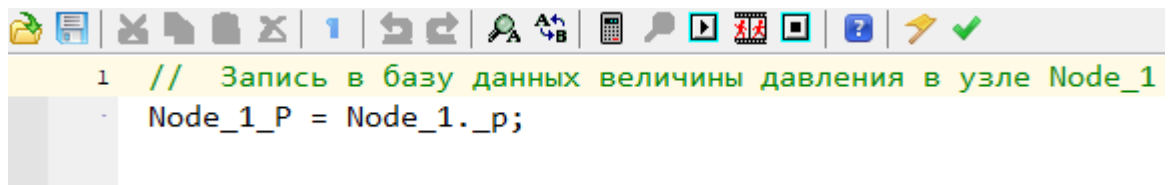


Рисунок 6

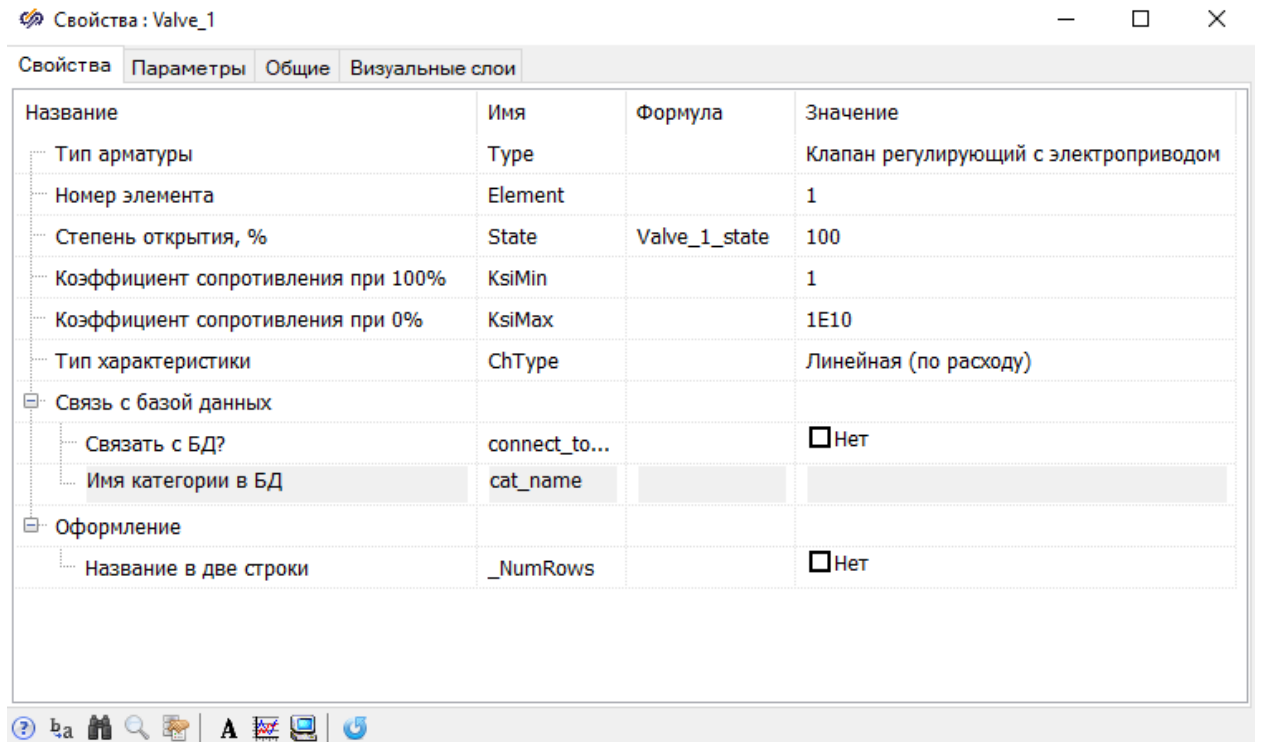


Рисунок 7

На этом работа по организации совместного моделирования со стороны SimInTech окончена:

- разработана математическая модель;
- в базе данных сигналов созданы переменные для взаимодействия с MATLAB Simulink;
- созданные переменные подключены к модели.

Простейшая система управления, выполненная в MATLAB Simulink, формирующая на выходе текущее положение регулирующего клапана в зависимости от текущего значения давления в узле А и уставки, представлена на рисунке 8.

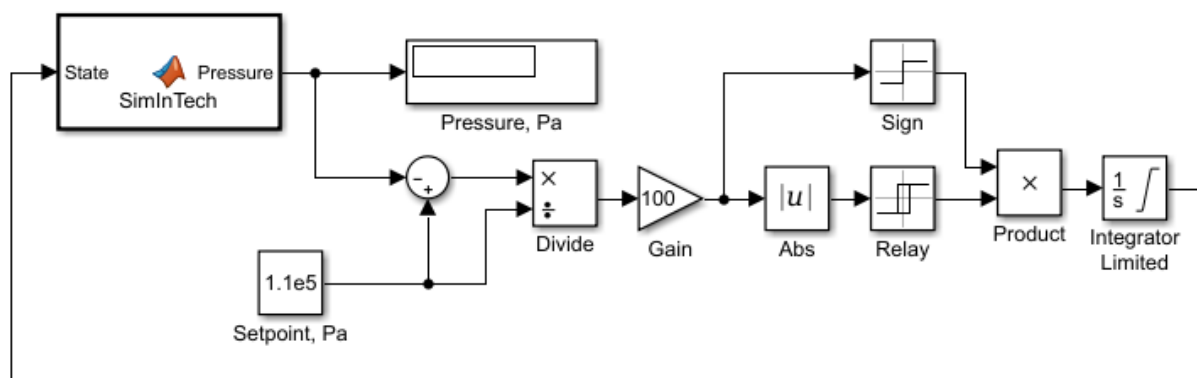


Рисунок 8

Как видно из рисунка 8 математическая модель объекта управления (теплогидравлическая модель в SimInTech) представлена в виде «черного ящика», имеющего один входной порт, предназначенный для передачи в SimInTech текущего значения положения регулирующего клапана, и один выходной – для получения из SimInTech значения давления в узле А.

Ниже представлено описание функции инициализации для блока “MATLAB function”:

```
loadlibrary('SITLoader.dll','SITLoader.h')

cd ..

cd 'SimInTech model'

path=[pwd '\thermohydraulics.prt']

strrep(path, '\', '\\')

calllib('SITLoader','LoadModel',path)
```

Таким образом, при инициализации модели MATLAB Simulink загрузит dll-библиотеку “SITLoader.dll” с заголовочным файлом “SITLoader.h”. Для корректной загрузки библиотеки и правильного формирования пути к подгружаемой модели директория расположения вышеуказанных файлов должна быть выбрана в качестве текущей в MATLAB. Далее происходит формирование пути к подгружаемой модели и вызов функции “LoadModel” dll-библиотеки “SITLoader.dll” с указанием сформированного пути в качестве аргумента. В более простом случае можно указывать статический путь к модели:

```
calllib('SITLoader','LoadModel','C:\\SimInTech\\source\\MATLAB-SimInTech Co-
Simulation\\Demo\\SimInTech model\\thermohydraulics.prt')
```

Функция останова для блока выглядит следующим образом:

```
calllib('SITLoader','UnloadModel')
```

Ниже представлена реализация функции, выполняемой на каждом расчетном шаге:

```
function Pressure = SimInTech(State)

% Запретить генерацию кода для функций 'calllib','get_param','bdroot'
coder.extrinsic('calllib','get_param','bdroot');

% Получить текущее модельное время в SimInTech и Simulink
simintech_time = 0;

simintech_time = calllib('SITLoader','GetModelTime');

simulink_time = 0;

simulink_time = get_param(bdroot,'SimulationTime');

% Обеспечить синхронизацию модельного времени в SimInTech и Simulink
while simulink_time <= simulink_time

    simintech_time = calllib('SITLoader','GetModelTime');

    calllib('SITLoader','MakeStep');

end

% Получить из модели в SimInTech значения требуемых переменных

Pressure = 0;

Pressure = calllib('SITLoader','GetSignalValue','Node_1_P');

% Записать в модель в SimInTech требуемые значения требуемых переменных
calllib('SITLoader','SetSignalValue','Valve_1_State',State);

end
```

Таким образом, после включения блока в расчетную схему при нажатии кнопки “Run” автоматически запустится симулятор (программный комплекс SimInTech), откроется модель объекта управления и начнется совместное моделирование выполненных в MATLAB Simulink и SimInTech моделей с синхронизацией модельного времени и обменом

данными (Рисунок 9). При этом переменной “Pressure”, которая является выходом блока, на каждом шаге расчета будет присваиваться значение сигнала “Node_1_P” из базы данных SimInTech. В то же время переменной “Valve_1_State” из базы данных SimInTech будет присваиваться значение входа блока “State”.

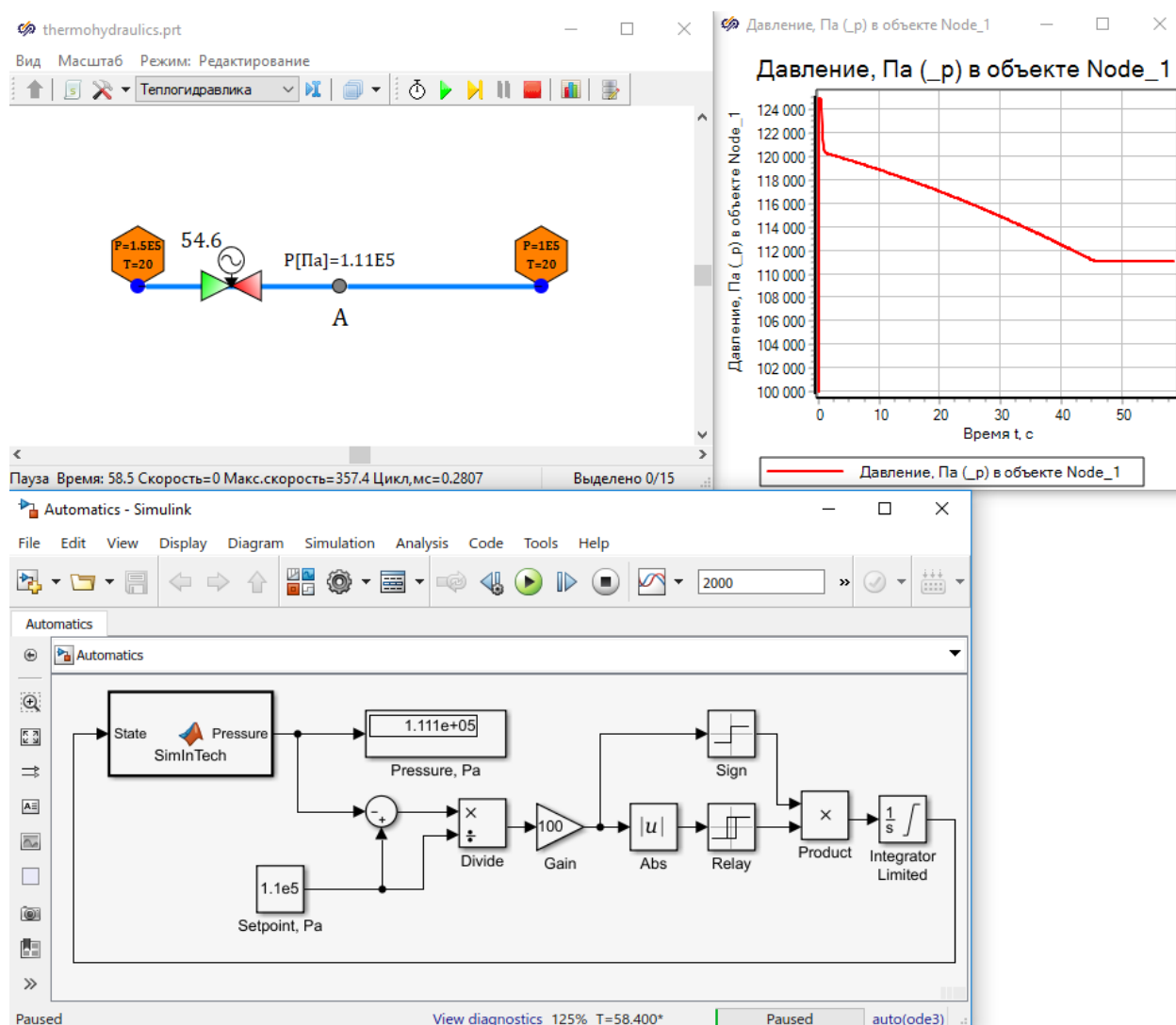


Рисунок 9

Примечание: разработанный метод совместного моделирования следует применять при расчете модели в MATLAB Simulink с использованием постоянного шага интегрирования.