



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Проект НУГ № 21-04-039 «Динамическая оптимизация параметров контура управления киберфизической системы проветривания подземного горнодобывающего предприятия»

Разработка модели регулирования режимов работы главной вентиляторной установки с учетом действия общерудничной естественной тяги

В.А. Селиванов, ИАУП-19

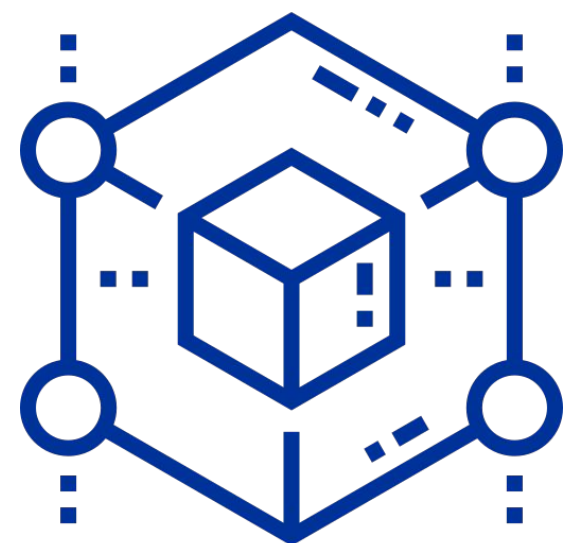
Пермь, 2021

Что такое цифровой двойник?

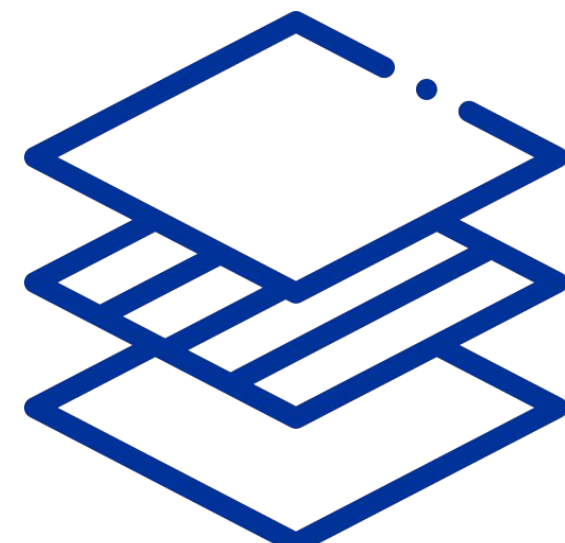
Цифровой двойник (digital twin) - виртуальный аналог реального объекта, компьютерная модель, которая в своих ключевых характеристиках дублирует его и способна воспроизводить его состояния при разных условиях



Содержание цифрового двойника



цифровая модель
изделия



спецификация
материалов



руководства и данные
по обслуживанию
изделия



информацию о
поведении изделия в
различных условиях

Классификация цифровых двойников

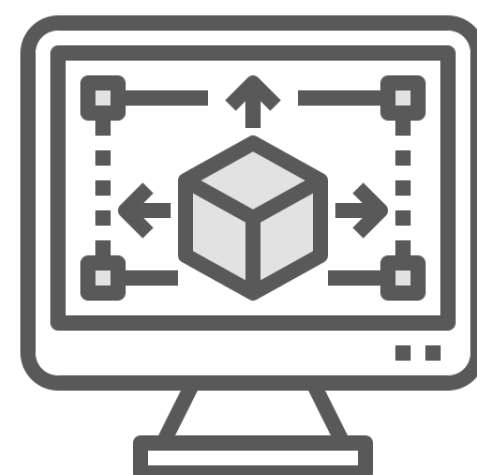
По Майклу Гривизу

Типы цифровых двойников



Прототип

Прототип физического объекта
Содержит информационные наборы требуемые для описания физической версии



Экземпляр

Описывает конкретный физический продукт
Содержит различные наборы данных в зависимости от сценариев использования

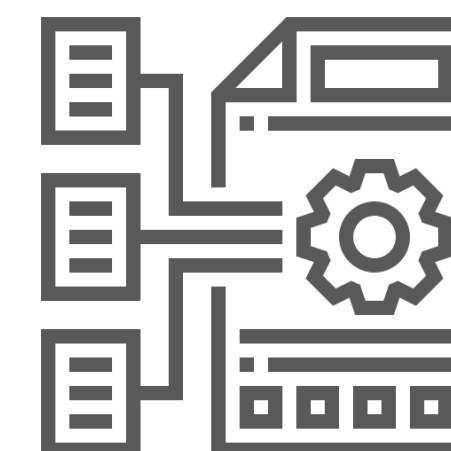


4



Агрегатор

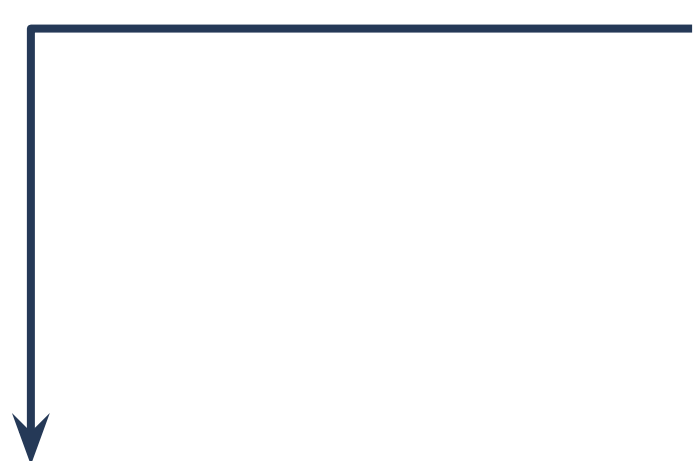
Объединяет другие виды двойников
Имеет доступ к виртуальным прототипам, мониторит показания датчиков



Классификация цифровых двойников

По области построения

Типы цифровых двойников



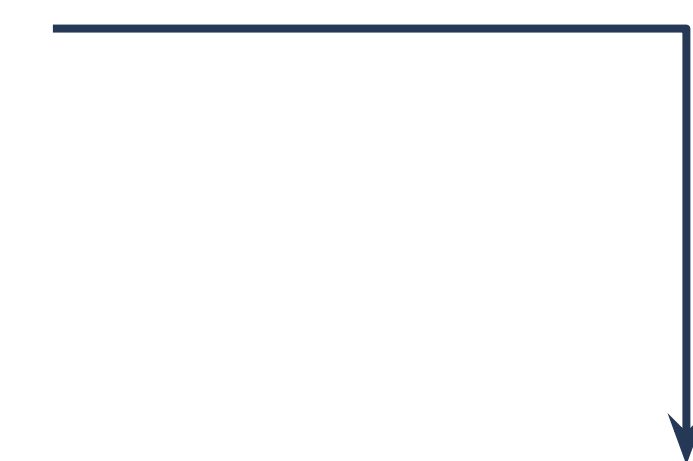
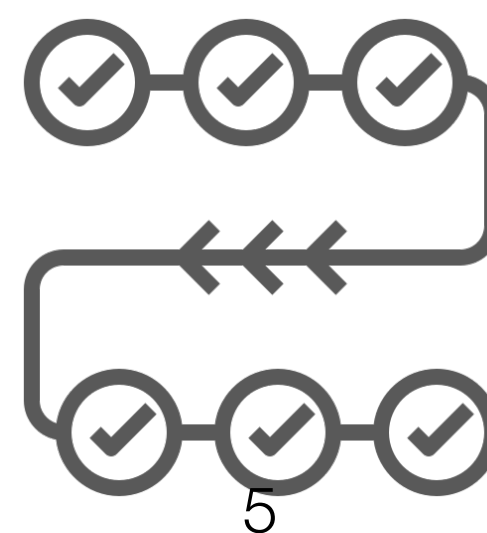
ЦД продукта

Используется перед настройкой производственной линии. Позволяет создавать более эффективный продукт



ЦД процесса

Имитирование производственных процессов. Позволяет разрабатывать эффективную методику производства



ЦД системы

Модели заводов, фабрик и т.д. Работают с большими объемами данных



OpenModelica

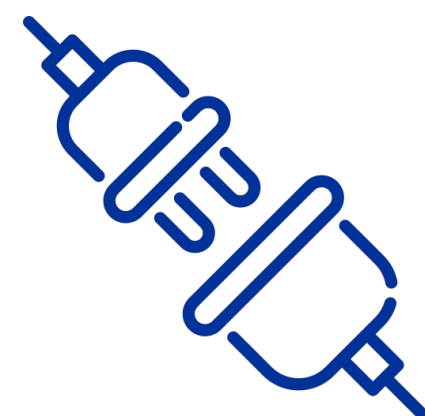
— свободное открытое программное обеспечение для моделирования, симуляции, оптимизации и анализа сложных динамических систем. Основано на языке Modelica.

Содержит блоки

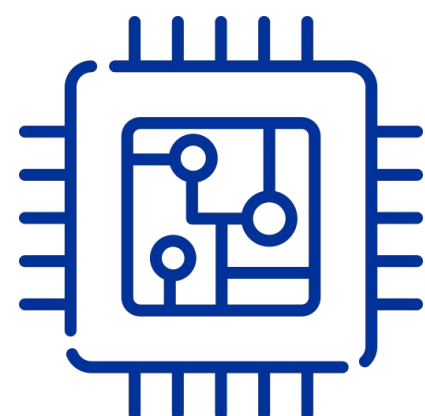
механики



электрики



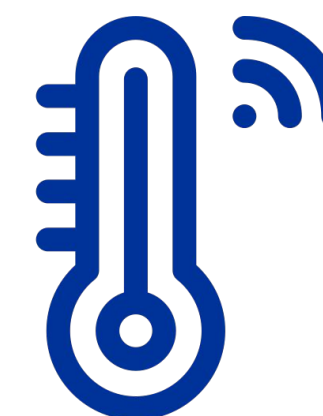
электроники



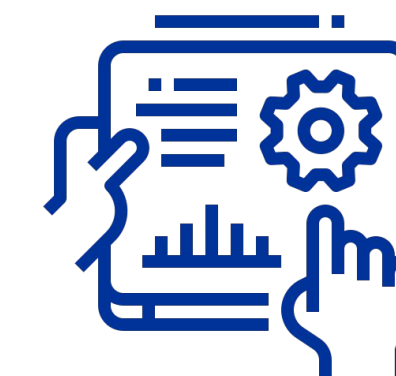
гидравлики



термодинамики



элементы
управления





Инструменты среды OpenModelica

OpenModelica Compiler

Компилятор

транслирует код Modelica в код на языке C, включает интерпретатор Modelica для интерактивного использования и вычисления выражений

OpenModelica Connection Editor

Редактор

редактор для создания, правки и симуляции моделей, отображения результатов в графическом виде

OpenModelica Shell

Командная строка

парсит и интерпретирует команды и выражения для вычисления, симуляции, построения графиков и т.д.

OpenModelica Notebook

Записная книжка

аналог OMEdit, используется для оформления документации и обучения, можно производить вычисления, симуляцию и построение графиков

OpenModelica Python Interface

Python интерфейс

предоставляет возможность проведения вычислений динамических систем на языке Python



Концепции языка Modelica

Функции

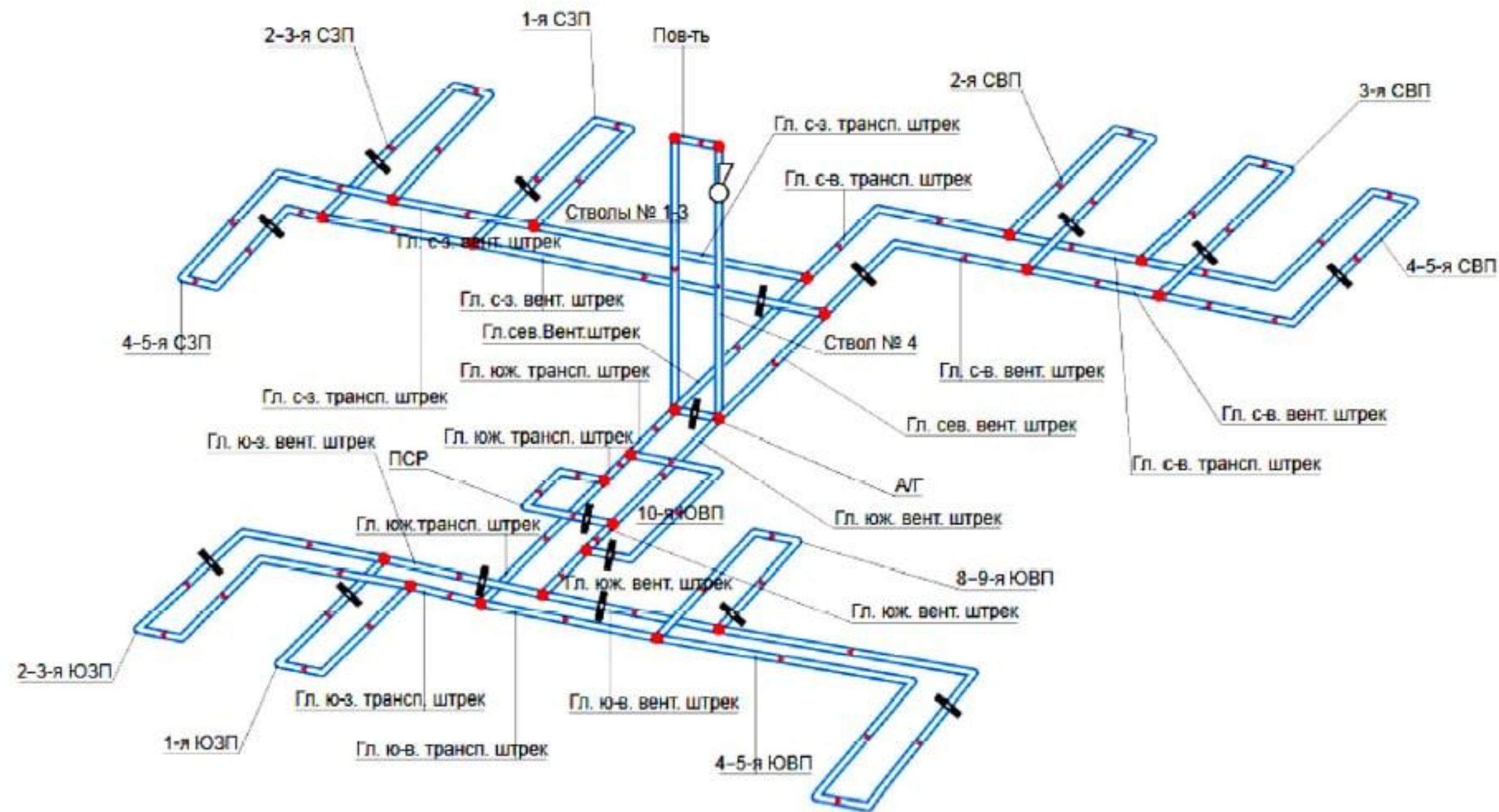
Основа моделирования - классы

Поля - константа, параметр, переменная

Уравнения - связывают переменные друг с другом

**Основное правило Modelica — количество уравнений для переменных должно соответствовать количеству переменных.
Не больше и не меньше.**

Упрощенная сеть



Русаков Ю.А.



Библиотека Fluid

- предоставляет базовые компоненты и интерфейсы для моделирования потоков воды/пара в трубах
- позволяет решать такие проблемы как соединение, реверсирование потока воздуха и его инициация

System свойства системы и значения по умолчанию (окружающая среда, направление потока, инициализация)

Vessels устройства для хранения воды/пара

Pipes устройства для транспортировки воды/пара

Machines устройства для преобразования воды/пара в механическую энергию

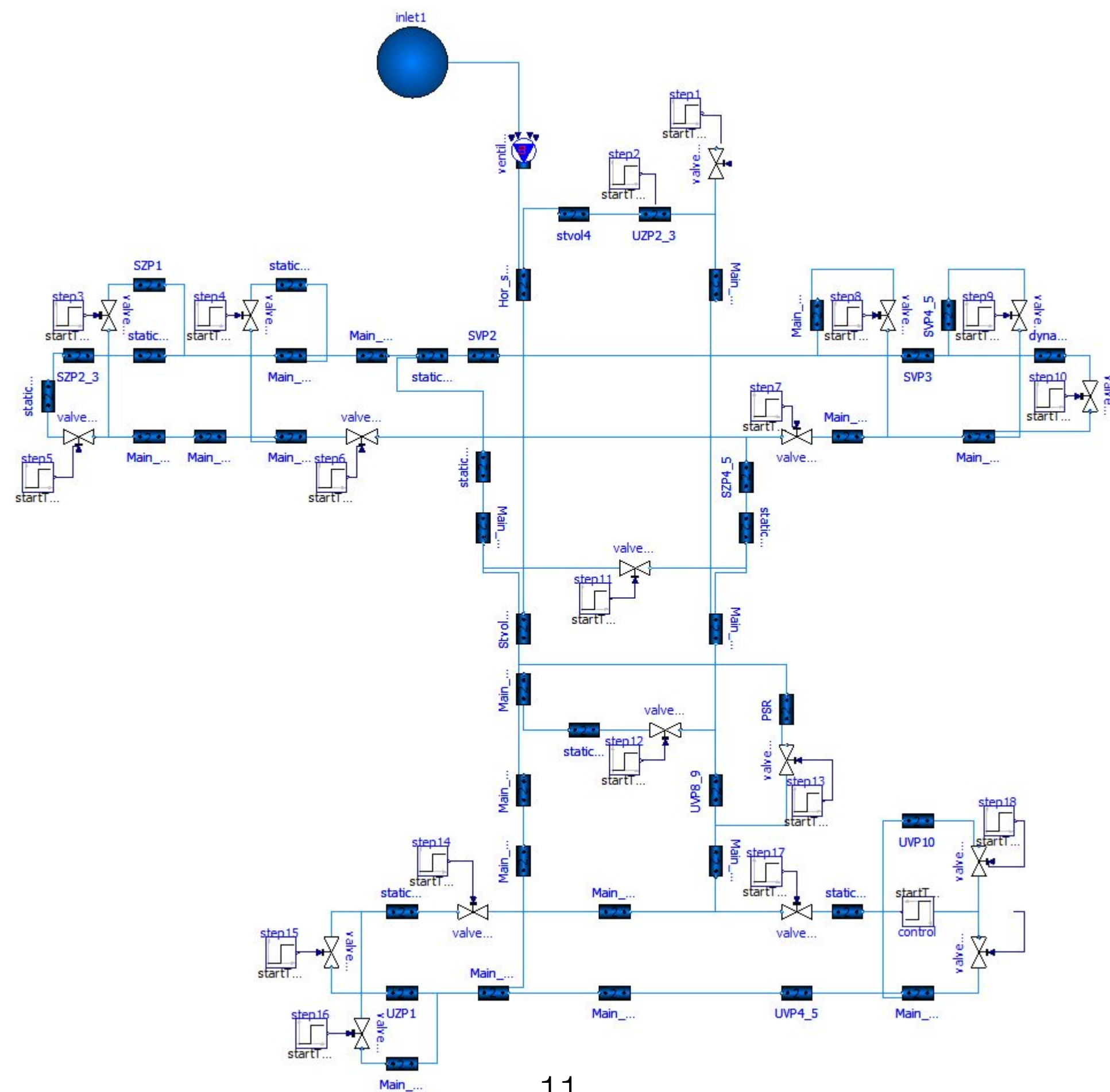
Valves компоненты для регулирования и контроля потока воды/пара

Fittings адаптеры для подключения компонентов воды/пара и регулирования расхода жидкости

Sources источники

Sensors датчики

Модель OpenModelica



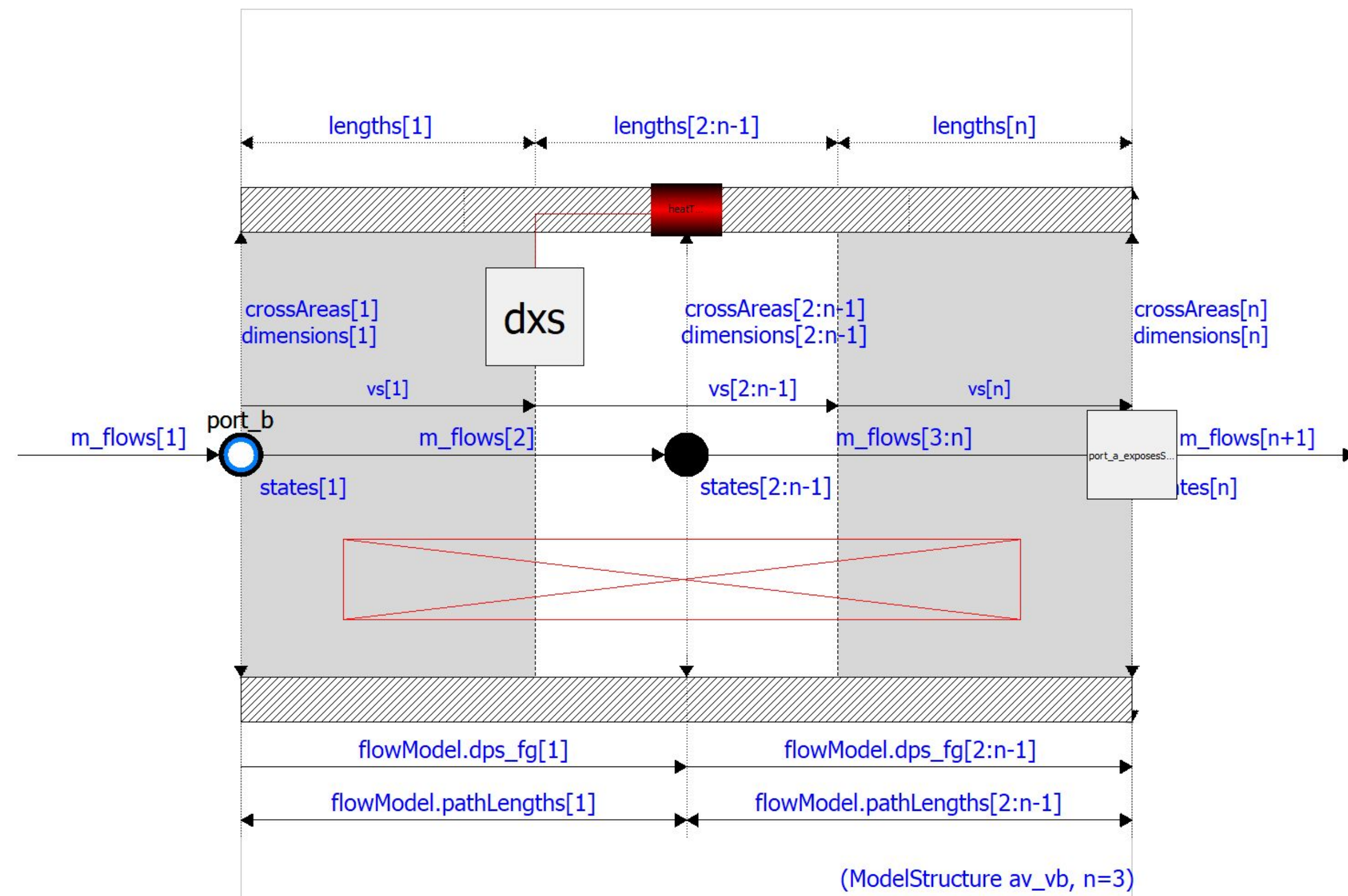
Элементы модели: Modelica.Fluid.Pipes.DynamicPipe



Горизонтальная труба



Вертикальная труба

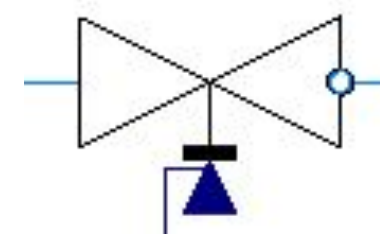




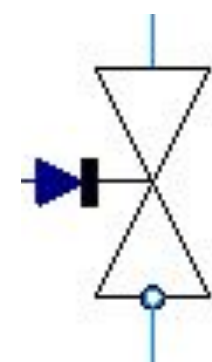
Элементы модели: Modelica.Fluid.Pipes.DynamicPipe

allowFlowReversal	"true" - разрешить изменение направления потока, "false" ограничивает направление проектирования (port_a -> port_b)
nParallel	Количество одинаковых параллельных труб
length	Длина [м]
isCircular	"true", если рассматривается площадь поперечного сечения круглой трубы, "false" - в иных случаях
diameter	Диаметр круглой трубы [м]
crossArea	Площадь внутреннего сечения [м ²]
perimeter	Внутренний периметр [м]
roughness	Средняя высота неровностей поверхности (по умолчанию: гладкая стальная труба) [м / мм]
height_ab	Высота (port_b) - Высота (port_a) [м]
energyDynamics	Составление энергетических балансов
use_T_start	Использование "T_start", если "true", иначе использование "h_start"
m_flows.start	Массовые расходы жидкости через границы сегмента
flowModel	Модель потока. Трение о стенку, гравитация, импульсный поток

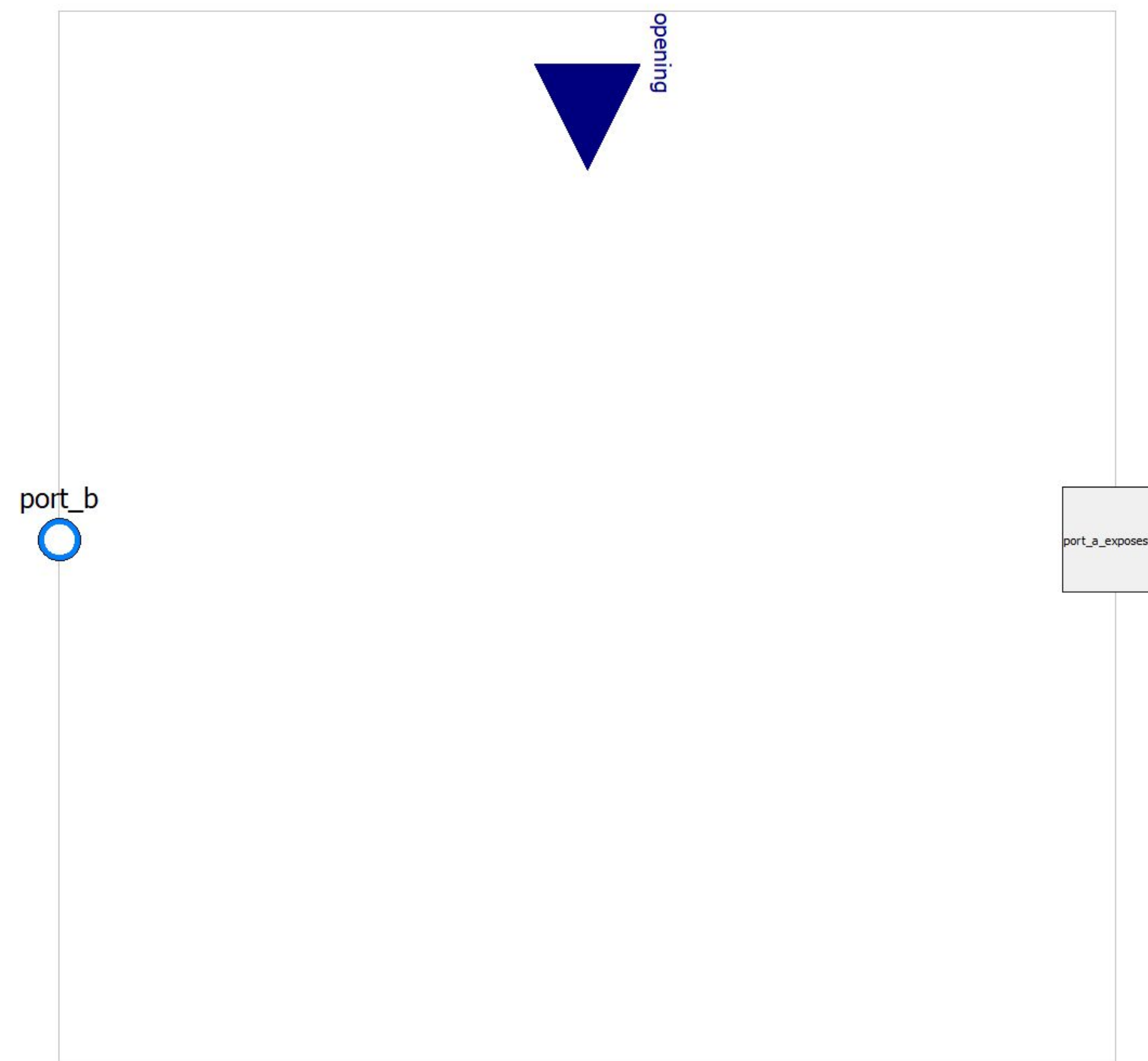
Элементы модели: Modelica.Fluid.Valves.ValveLinear



Горизонтальная задвижка



Вертикальная задвижка

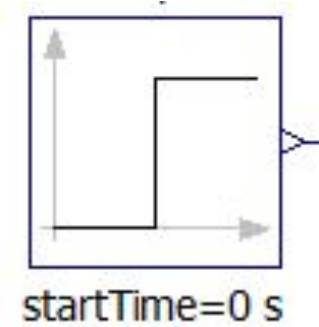




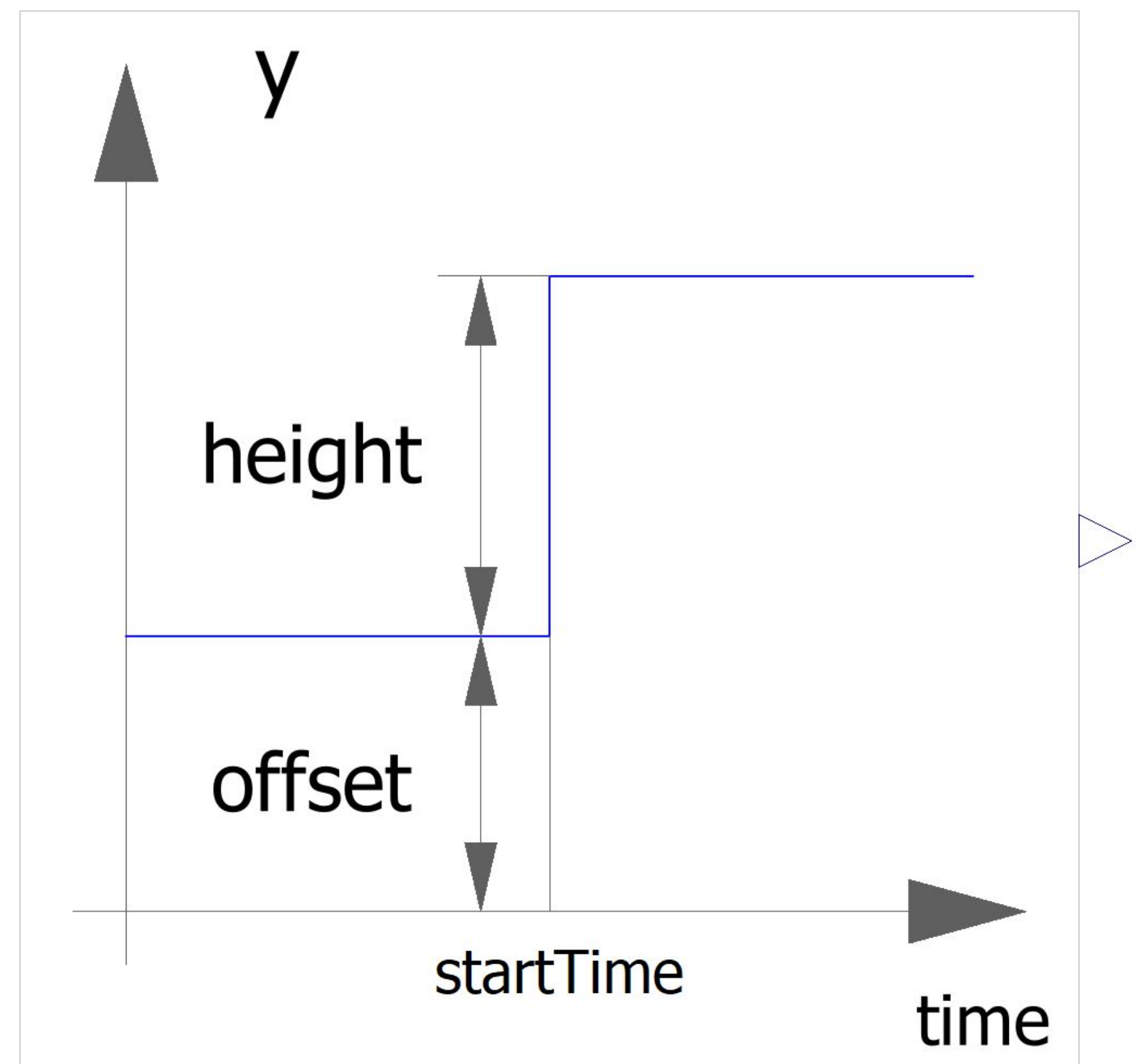
Элементы модели: Modelica.Fluid.Valves.ValveLinear

m_flow_nominal	Номинальный массовый расход при полном открытии
allowFlowReversal	"true", чтобы разрешить изменение направления потока, "false" ограничивает направление проектирования (port_a -> port_b)
m_flow_start	Массовый расход в расчетном направлении потока
dp_start	Разница давлений между port_a и port_b (= port_a.p - port_b.p)
dp_nominal	Номинальное падение давления при полном открытии

Элементы модели: Modelica.Blocks.Sources.Step



Элемент управления





Элементы модели: Modelica.Blocks.Sources.Step

height Высота ступени

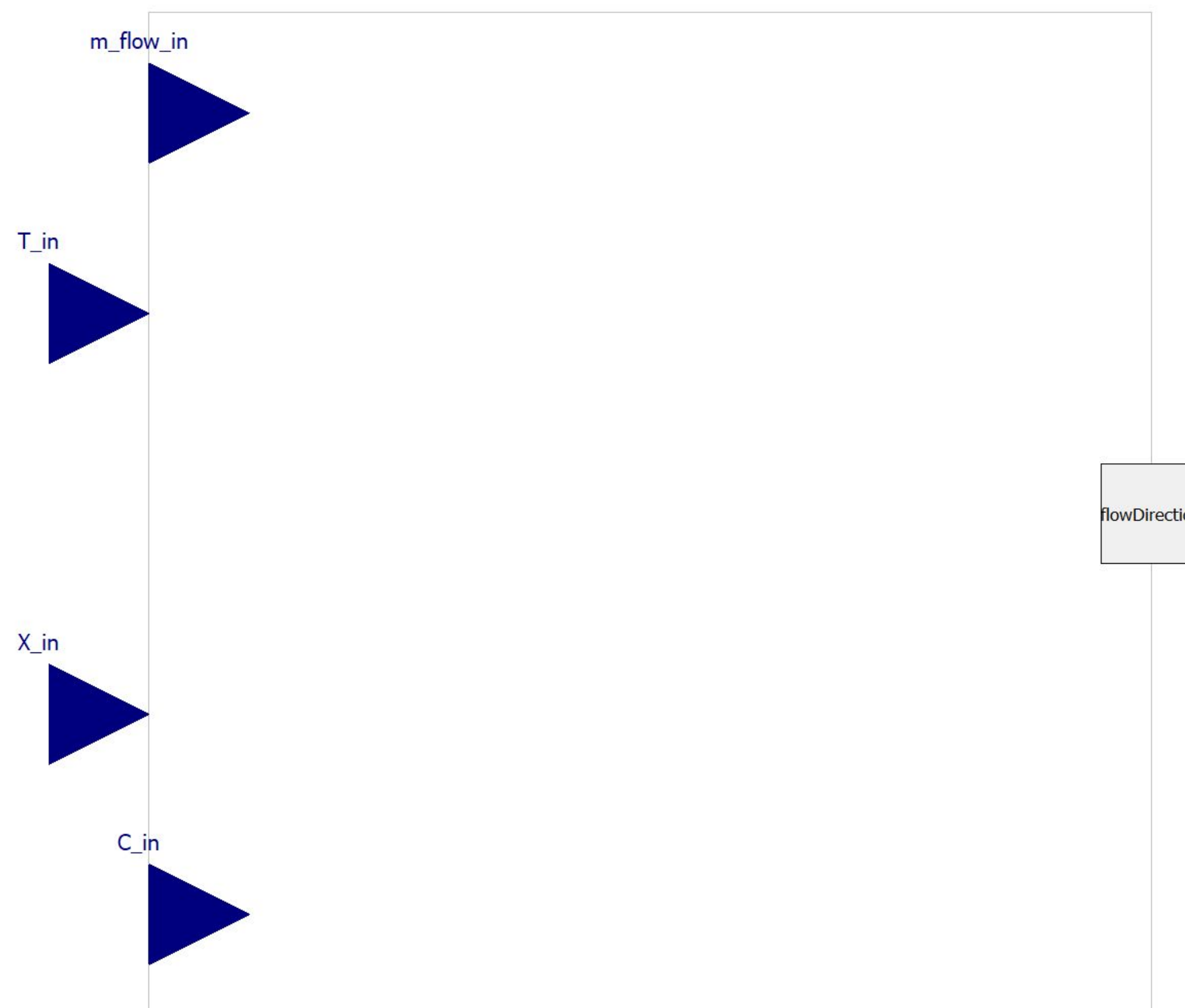
offset Смещение выходного сигнала y

startTime (s) Выходные данные $y =$ смещение для времени $<startTime$

Элементы модели: Modelica.Fluid.Sources.MassFlowSource_T



Элемент вентилятор

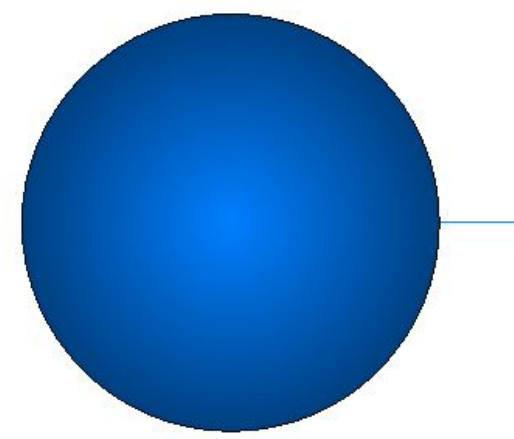




Элементы модели: Modelica.Fluid.Sources.MassFlowSource_T

<code>use_m_flow_in</code>	Средняя модель в источнике
<code>use_T_in</code>	Получение температуры от входного разъема
<code>use_X_in</code>	Получение композицию от входного разъема
<code>use_C_in</code>	Получение микроэлементы из входного разъема
<code>m_flow</code>	Фиксированный массовый расход на выходе из порта для жидкости
<code>T</code>	Фиксированное значение температуры
<code>X</code>	Фиксированное значение композиции
<code>C</code>	Фиксированные значения микропримесей

Элементы модели: Modelica.Fluid.Sources.FixedBoundary



Источник воздуха





Элементы модели: Modelica.Fluid.Valves.ValveLinear

use_p	выберите p (граничное давление) или d (граничная плотность)
p	Граничное давление
d	Граничная плотность
use_T	Выбор T (граничная температура) или h (удельная энтальпия)
T	Граничная температура
h	Граничная удельная энтальпия
X	Граничные массовые доли m_i/m
C	Граничные следы веществ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ