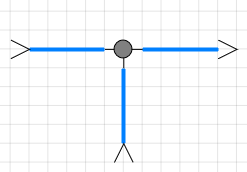
|  |  |
| --- | --- |
|  | **HS – Внутренний узел** |
| в палитре |  |
|  |  |
| на схеме |  |

Блок является одним из базовых блоков для построения расчетных схем теплогидравлических моделей.

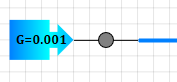
Внутренний узел моделирует участок (ячейку, контрольный объём, узел, точку) гидравлической сети с конечным объемом V, в пределах которого принимается допущение о том, что параметры теплоносителя одинаковы и являются усреднёнными по объёму, а именно: давление и энтальпия (температура), а также все остальные теплофизические свойства теплоносителя являются одинаковыми.

Внутренний узел используется для моделирования тройников, разветвлений и слияний трубопроводов, либо для моделирования «глухих» окончаний труб, а также для моделирования граничного условия типа G (массовый расход). Это граничное условия моделируется совокупностью двух блоков: внутренний узел и блок типа подпитка. Также внутренним узлом можно моделировать и большие объемы (баки, помещения и т.п.) в тех случаях, когда распределением параметров в пределах объема можно пренебречь и считать по усредненному давлению и температуре.

В наиболее простом случае внутренний узел организует модель тройника, как показано на рисунке:



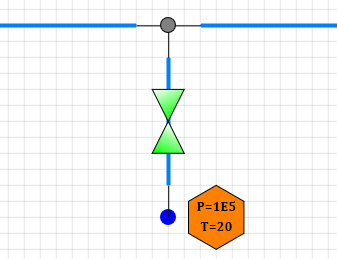
Пример организации граничного условия типа G:



Количество подключаемых каналов (или трубопроводов) к узлу не ограничено и определяется моделируемой системой. Хотя каналы могут подключаться непосредственно друг к другу, часто внутренним узлом разделяют каналы с разными параметрами (например, с разными гидравлическими диаметрами) чтобы подчеркнуть границу одной трубы и начало другой.

В некоторых случаях (при моделировании отказов типа течей, например), постановка внутреннего узла в середине трубопровода является необходимостью. В этом случае внутренний узел будет являться как бы одним из элементов трубопровода.

Пример использования внутреннего узла для моделирования отказа типа «разрыв трубопровода» (в процессе моделирования ручная задвижка всё время закрыта, а в момент ввода отказа задвижка скачком открывается на требуемый уровень от 0 до 100% и теплоноситель начинает истечение из трубы в атмосферу, параметры теплоносителя в трубе снижаются):



Геометрические и начальные параметры узла необходимо выставлять в соответствии с подключенными каналами (по крайней мере, избегать сильных рассогласований по диаметру, проходному сечению и объему), чтобы контрольный объем, моделируемый внутренним узлом, не отличался кардинально от контрольных объемов участков подключенных каналов.

**Свойства блока «HS – Внутренний узел»**

|  |  |
| --- | --- |
| * Начальное давление, Па | P0 |
| * Начальная энтальпия, Дж/кг | H0 |
| * Начальная температура, °С | T0 |
| * Определяющий параметр | DefineParam |
| * Объем узла, м³ | V |
| * Гидравлический диаметр, м | Dg |
| * Проходное сечение, м² | S |
| * Высотная отметка, м | Z |
| * Теплоноситель | coolant |
| * Объемное энерговыделение, Вт/м³ | qv |
| * Концентрация пассивных примесей, кг/кг | C\_passive\_tracer\_0 |
| * Характеристика жёсткости стенок узла dV/dP, м³/Па | dVdP |
| * Объёмный источник пассивной примеси, кг/(м³\*с) | Cv\_source |

Свойство блока DefineParam определяет, по какому из двух (H0 или T0) свойств будут определены начальные параметры теплоносителя в пределах объема узла V. Начальное давление задается свойством P0.

Объем узла является постоянной величиной в процессе моделирования. Характеристика жёсткости стенок узла dVdP учитывается только если она ненулевая, и если в параметрах расчета включена опция «Учитывать жёсткость стенок каналов и узлов dS/dP?». Свойство dVdP является экспериментальным.

В процессе расчета на каждом шаге для узла вычисляются параметры теплоносителя: \_p, \_h, \_t, \_v и \_rho=1/\_v. Расходы по веткам показывают входящие (или исходящие) расходы по подключенным к узлу каналам, расход подпитки в узел \_gp – отображает по сути сумму всех входящих и выходящих расходов, с учетом блока типа «HS – Подпитка» (при его наличии). В стационарных процессах \_gp стремится к нулю.

**Параметры блока «HS – Внутренний узел»**

|  |  |
| --- | --- |
| * Давление, Па | \_p |
| * Энтальпия, Дж/кг | \_h |
| * Температура, °С | \_t |
| * Удельный объём, м³/кг | \_v |
| * Плотность, кг/м³ | \_rho |
| * Расходы по веткам, кг/с | \_g |
| * Расход подпитки в узел, кг/с | \_gp |
| * Концентрации пассивных примесей, кг/кг | \_c\_passive\_tracer |

Внутренний узел может быть соединен посредством гидравлических связей со следующими блоками:

* «HS – Канал»;
* «HS - Труба»;
* «HS – Кольцевой зазор»;
* «HS – Подпитка»;
* «HS – Критическое истечение»;
* «HS – Порт входа»;
* «HS – Порт выхода»;
* «HS – В память»;
* «HS – Из памяти».

**Физическая модель, реализованная в блоке «Внутренний узел»**

Внутренний узел является одним из базовых объектов теплогидравлического кода. Он служит для связи между собой каналов и рёбер теплогидравлической схемы. С каждым узлом может быть связано произвольное количество каналов. Во внутренних узлах решаются уравнения сохранения массы и энергии жидкости, а также уравнение сохранения массы пассивной примеси.

Уравнение сохранения массы для внутреннего узла выглядит следующим образом:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где – плотность жидкости;

– объём узла;

– количество входящих в узел расходов;

– количество выходящих из узла расходов;

– давление жидкости в узле;

- удельная энтальпия жидкости в узле;

- частная производная плотности жидкости по давлению при постоянной энтальпии;

– частная производная плотности жидкости по энтальпии при постоянном давлении.

Уравнение сохранения энергии для внутреннего узла имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

где – удельная энтальпия в последних расчётных ячейках входящих каналов или в первых расчётных ячейках выходящих каналов;

– объёмное энерговыделение в узле.

При решении общей системы уравнений сохранения массы и импульса для определения поля давлений и расходов на следующем слое по времени используется так называемый безытерационный алгоритм, основная идея которого состоит в следующем:

- для всех внутренних узлов записываются уравнения сохранения импульса для последних гидравлических связей входящих рёбер и для первых гидравлических связей выходящих рёбер. Эти уравнения содержат давления в узлах и в последних расчётных ячейках входящих рёбер и в первых расчётных ячейках выходящих рёбер;

- для всех внутренних узлов вместо давлений в первых и в последних расчётных ячейках рёбер подставляются их выражения согласно уравнениям, связывающим давления в расчётных ячейках рёбер с давлениями в ограничивающих рёбра узлах. В результате в уравнениях сохранения импульса для крайних гидравлических связей рёбер остаются только расходы в этих гидравлических связях и давления в узлах;

- из полученных уравнений сохранения импульса выражаются расходы в крайних гидравлических связях рёбер через давления в узлах;

- эти расходы подставляются в уравнения сохранения массы для узлов вида (1). В результате этой подстановки для узлов получаются уравнения, содержащие давления в данном узле и всех связанных с ним рёбрами узлах. Решение полученной системы методами линейной алгебры позволяет найти давления в узлах схемы на следующем шаге по времени. После этого обратной прогонкой находятся давления в расчётных ячейках всех каналов схемы, а по найденному полю давлений рассчитываются расходы в гидравлических связях на следующем слое по времени.

Аналогичная идея используется при расчёте поля энтальпий на следующем слое по времени.

Уравнение сохранения массы пассивной примеси выглядит аналогично уравнению (2). В теплогидравлическом коде предусмотрен расчёт произвольного количества пассивных примесей. Их количество определяется на этапе инициализации расчётной схемы, исходя из размерностей массивов концентраций C\_passive\_tracer, заданных в узлах схемы. При анализе топологии схемы для каждого связного контуре теплогидравлической схемы рассчитывается количество концентраций пассивных примесей, соответствующее максимальной размерности массива C\_passive\_tracer в этом контуре. Концентрации пассивных примесей в ячейках каналов в начале расчёта распределяются линейно между значениями, заданными в узлах.

Внутренний узел является тем блоком теплогидравлического кода, в котором при помощи блока «Подпитка» возможно задание притока или стока массы жидкости и/или массы пассивной примеси в теплогидравлической схеме.