|  |  |
| --- | --- |
|  | HS – Канал |
| в палитре |  |
|  |  |
| на схеме |  |

**Таблица 1. Свойства блока «HS - Канал»**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Свойство** | **Имя** | **Тип**  **данных** | **Интервал возможных значений** |
| Количество тепловых связей | Nheatport | Целое | >=0 |
| Количество расчётных элементов, м | N | Целое | >0 |
| Гидравлический диаметр, м | Dg | Массив | >0 |
| Проходное сечение, м2 | S | Массив | >0 |
| Длины элементов, м | L | Массив | >0 |
| Приращение высоты, м | Dz | Массив | Произвольное |
| Прямое местное сопротивление | KsiDir | Массив | >=0 |
| Обратное местное сопротивление | KsiRev | Массив | >=0 |
| Коэффициент интенсификации теплообмена | kAlfa | Массив | >=0 |
| Абсолютная шероховатость, м | Sh | Массив | >=0 |
| Объемное энерговыделение, Вт/м3 | qv | Массив | Произвольное |
| Тип геометрии | geom\_type | Перечисление | * Круглая труба * Пучок труб с треугольной упаковкой * Пучок труб с квадратной упаковкой * Пучок труб с треуг. упаковкой с дист. "проволока по оболочке" * Пучок труб с треуг. упаковкой с дист. "проволока по проволоке" * Пучок труб с квадр. упаковкой с дист. "проволока по оболочке" * Пучок труб с квадр. упаковкой с дист. "проволока по проволоке" |
| Относительный шаг труб в пучке | x\_rel | Вещественное | >=1 |
| Диаметр труб в пучке, м | d\_rod | Вещественное | >0 |
| Количество труб в пучке | N\_rod | Целое | >0 |
| Шаг навивки дистанцирующей проволоки, м | T\_wire | Вещественное | >0 |
| Диаметр дистанцирующей проволоки, м | d\_wire | Вещественное | >0 |
| Начальное давление, Па | P0 | Массив | >0 |
| Начальная энтальпия, Дж/кг | H0 | Массив | >0 |
| Начальный расход в канале, кг/с | G0 | Вещественное | >=0.0 |
| Характеристика жёсткости стенок канала dS/dP, м^2/Па | dSdP | Массив | >=0.0 |

**Таблица 2. Параметры блока «HS-Канал»**

**Физическая модель, реализованная в блоке «Канал»**

Канал является одним из базовых объектов теплогидравлического кода. Он представляет собой набор произвольного количества связанных между собой контрольных объёмов. Для контрольных объёмов решаются уравнения сохранения массы и энергии жидкости, а для связывающих контрольные объёмы гидравлических связей – уравнения сохранения импульса.

В теплогидравлическом коде рассматривается смещённая сетка. При этом скалярные характеристики теплоносителя (давление, энтальпия, концентрации пассивных примесей) находятся в центрах контрольных объёмов, а векторные характеристики теплоносителя (скорости, расходы) – на границах контрольных объёмов (в гидравлических связях).

Предполагается, что значения скалярных характеристик теплоносителя остаются постоянными в пределах контрольного объёма, и меняются скачком на границе ячеек, а значения векторных характеристик теплоносителя остаются постоянными в пределах левого и правого полуобъёмов, примыкающих к гидравлической связи, и меняются скачком в центрах ячеек. Запишем в общем виде, что значение скалярной величины на границе ячеек зависит от значений в соседних ячейках следующим образом:

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

где – значение величины на j-й границе;

– значение величины в (j-1)-ой расчётной ячейке (слева от j-й ГС);

– значение величины в j-ой расчётной ячейке (справа от j-й ГС);

– весовой множитель.

В случае реализации схемы аппроксимации конвективных членов «против потока» весовой множитель рассчитывается следующим образом:

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

но в общем случае это можно делать и по-другому.

Приведём основные уравнения сохранения, решаемые в теплогидравлическом коде.

**Уравнение сохранения массы**

Одномерное уравнение сохранения массы для канала с переменным поперечным сечением имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

где – плотность жидкости;

– скорость жидкости;

– площадь проходного сечения канала;

– время;

– пространственная координата.

Заменяя скорость на массовый расход, а производную плотности по времени расписывая через частные производные плотности по давлению и по энтальпии, приходим к следующему виду уравнения (3):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

где – давление жидкости;

– удельная энтальпия жидкости;

– массовый расход жидкости;

– частная производная плотности жидкости по давлению при постоянной энтальпии;

– частная производная плотности жидкости по энтальпии при постоянном давлении.

В результате интегрирования уравнения (4) по длине контрольного объёма получаем уравнение сохранения массы в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

где – объём расчётной ячейки;

– массовый расход жидкости в левой гидравлической связи;

– массовый расход жидкости в правой гидравлической связи;

– приведённая характеристика жёсткости стенок канала – частная производная площади поперечного сечения по давлению жидкости.

**Уравнение сохранения импульса**

Общее уравнение движения жидкой среды в одномерном приближении при учёте в составе массовых сил только силы тяжести имеет вид

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

где – ускорение свободного падения;

– угол между осью канала и направлением вектора силы тяжести;

– коэффициент трения на стенке канала;

– источник импульса.

Интегрируя уравнение (6) в пределах левого и правого полуобъёмов, примыкающих к рассматриваемой гидравлической связи, получим уравнение сохранения импульса в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

где – инерционный коэффициент гидравлической связи;

– длина расчётной ячейки;

– коэффициент, при помощи которого аппроксимируется значение расхода в центре j-й расчётной ячейки;

– коэффициент, при помощи которого аппроксимируется площадь проходного сечения в j-й гидравлической связи.

**Уравнение сохранения энергии**

Исходное дифференциальное уравнение сохранения энергии для элементарного объёма имеет вид

|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

где – удельная внутренняя энергия

– мощность объёмных источников энерговыделения;

– массовая сила;

– вектор плотности теплового потока, выходящего из рассматриваемого объёма.

Переходя от удельной внутренней энергии к удельной энтальпии, подставляя массовые силы, выраженные из уравнения сохранения импульса, переходя от скоростей к массовому расходу, заменяя производную плотности по времени согласно уравнению сохранения массы и представляя тепловой поток в виде продольной и поперечной составляющих, получим уравнение сохранения энергии в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

Интегрируя уравнение (9) по длине контрольного объёма, получаем уравнение сохранения энергии в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (10) |

где – объёмное энерговыделение;

– осевой тепловой поток;

– тепловой поток на стенке канала.

**Уравнение сохранения массы пассивной примеси**

Исходное дифференциальное уравнение для концентрации пассивной примеси в канале переменного поперечного сечения имеет вид:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (11) |

где – концентрация пассивной примеси (масса пассивной примеси на единицу массы жидкости).

Раскрывая производные и подставляя вместо производной плотности по времени её выражение из уравнения сохранения массы, а также добавляя отрицательный источник экспоненциального распада пассивной примеси и произвольный объёмный источник, получим уравнение сохранения массы пассивной примеси в следующем виде:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (12) |

где – постоянная распада примеси;

– объёмный источник примеси.

Интегрируя (12) по длине контрольного объёма, получаем следующее уравнение сохранения массы примеси:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (13) |

Полученные аналоги уравнений сохранения переписываются через приращения неизвестных величина на текущем слое по времени (при этом производные неизвестных величин по времени заменяются через приращения с использование формулы дифференцирования назад) и решаются итерационным методом Ньютона-Рафсона. При этом используется идея разделения по физическим процессам, в соответствии с которой первоначально определяются поля давлений и расходов в контуре, затем поле энтальпий, и, наконец, поле концентраций пассивных примесей.

Произвольное количество каналов, расположенных между двумя внутренними или граничными узлами, образует основной расчётный объект теплогидравлического кода – ребро (это название происходит из теории графов, поскольку в коде теплогидравлический контуре представляется в виде произвольного ориентированного графа, рёбрами которого являются каналы между узлами). Уравнения сохранения вида (5), (7), (10) и (13) решаются для всех гидравлических связей и расчётных ячеек всех рёбер схемы.