**Уравнение сохранения массы пассивной примеси**

Предположим, что в теплоносителе содержится пассивная примесь с концентрацией , размерность которой есть [кг/кг] (то есть это количество примеси, содержащееся в единице массы теплоносителя). Рассмотрим канал с изменяющейся по длине площадью поперечного сечения. Выделим в канале двумя сечениями с координатами и элементарный объём. Тогда изменение массы пассивной примеси в этом объёме за время будет равняться:

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

С другой стороны, с учётом втекания и вытекания теплоносителя через боковые поверхности выделенного объёма, изменение массы можно записать в виде:

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

Приравнивая (70) и (71), получим исходное дифференциальное уравнение для концентрации пассивной примеси в канале переменного поперечного сечения:

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

Раскроем производные и подставим вместо её выражение из уравнения сохранения массы:

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

Раскрывая скобки и приводя подобные слагаемые, получим следующее уравнение:

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

Добавим ещё в правую часть уменьшение концентрации, вызванное экспоненциальным распадом примеси:

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

Кроме того, добавим в правую часть объёмный источник или сток примеси с размерностью [кг/кг/с]. Тогда уравнение для концентрации примет вид:

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

Проинтегрируем полученное уравнение в пределах контрольного объёма:

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

Рассмотрим второй член:

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

Представляем концентрации на границах контрольного объёма через концентрации в соседних ячейках:

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

Подставляем (10) в (9) и получаем:

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

Получаем тогда интеграл (8) в следующем виде:

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

Оставим в левой части член с производной концентрации по времени и получим окончательно уравнение для концентрации пассивной примеси в ячейке в виде:

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

**Преобразование уравнения к конечно-разностному виду**

**Уравнение сохранения массы пассивной примеси (трёхточечное уравнение)**

Концентрации пассивных примесей на следующем шаге по времени рассчитываются после определения полей давлений, расходов и энтальпий на следующем шаге по времени (расщепление по физическим процессам). Для нахождения конечно-разностного уравнения для концентраций рассмотрим уравнение в форме (13):

|  |  |
| --- | --- |
|  | (14) |

Запишем относительно неизвестных приращений концентрации пассивной примеси:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (15) |

Запишем через коэффициенты:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (16) |

где ;

;

;

.

Получаем уравнение для приращений концентраций в методе Ньютона-Рафсона:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (17) |

где .

**Моделирование влажного воздуха**

Будем моделировать перенос влажности при помощи первых двух пассивных примесей. Основной теплоноситель при этом – сухой воздух.

Обозначим индексом g концентрацию водяного пара в воздухе, а индексом f – концентрацию жидкой фазы в воздухе. Будем считать, что водяной пар в воздухе подчиняется уравнению состояния идеального газа. Тогда если в воздухе при температуре находится пар на линии насыщения, то масса его в ячейке объёмом составит

|  |  |
| --- | --- |
|  | (18) |

где – давление на линии насыщения при температуре ;

= 18 г/моль – молярная масса воды;

= 8,314 Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная.

Эта масса соответствует максимально возможной влажности в воздухе при данной температуре (т.е. при такой массе пара температуре соответствует точка росы).

Будем считать, что если масса пара в ячейке больше этой максимальной массы, т.е. , то часть пара должна сконденсировать и перейти в жидкую фазу. В этом случае объёмные источники примеси в уравнении (17) [кг/кг/с] составит:

|  |  |
| --- | --- |
| – для пара;  – для жидкости, | (19) |

где – плотность основного теплоносителя (сухого воздуха), которую мы считаем независящей от влажности;

– шаг по времени.

Такое значение источников соответствует «мгновенной» (за шаг по времени) конденсации всего «избытка» пара (т.е. не учитывается кинетика процесса конденсации).

Если же в рассматриваемой ячейке , то при наличии в ячейке жидкости часть её испаряется, чтобы количество пара соответствовало 100 %-й влажности. Однако если количество жидкости в ячейке недостаточное, то испаряется вся имеющаяся жидкость.

Тогда объёмные источники примесей равны:

|  |  |
| --- | --- |
| – для пара;  – для жидкости, | (20) |

где

|  |  |
| --- | --- |
|  | (21) |