**Расчётный теплогидравлический код HS**

Расчётный теплогидравлический код предназначен для расчёта динамики поведения основных параметров сжимаемого и несжимаемого теплоносителя в теплогидравлических контурах с произвольной топологией.

В расчётном коде HS (от англ. Hydro Solver) решаются уравнения сохранения массы, импульса и энергии для жидкости (в одномерном односкоростном приближении), а также нестационарные уравнения теплопроводности для тепловых структур (стенок каналов), в том числе с учётом теплового излучения между цилиндрическими стенками. Основой является одномерная нестационарная гомогенная модель течения несжимаемой или сжимаемой жидкости.

**О коде HS и подходе к моделированию**

Расчетный код HS относится к классу одномерных (1-D) однокомпонентных теплогидравлических (термогидродинамических) кодов. Предназначен для расчета динамических (переходных) и стационарных процессов, протекающих в гидравлических контурах произвольной топологии с учетом работы типового оборудования (насосы, задвижки, регулирующие клапана и т.п.) в тех случаях, когда можно пренебречь пространственным распределением параметров теплоносителя в направлениях, перпендикулярных основному направлению течения потока.

Априори предполагается также, что в пределах одного связного гидравлического контура находится один теплоноситель, т.е. одна среда, имеющая строго определенные теплофизические свойства, зависящие от давления и энтальпии. Например, теплоносителем может быть вода, или воздух, или керосин, или аргон и т.п. Возможен фазовый переход (кипение и конденсация) выбранного для контура теплоносителя, но невозможен расчет многокомпонентных теплоносителей (смесей) и/или химических реакций между разными теплоносителями. Есть только возможность расчета массопереноса по гидравлическому контуру «пассивных» примесей, т.е. веществ с относительно малой концентрацией и таких, которые не влияют на теплофизические свойства основного выбранного теплоносителя.

**Основные расчетные элементы: узлы и каналы**

Основными расчетными элементами кода и расчетной схемы для кода HS являются: внутренние и граничные узлы (контрольные объемы, изображающиеся точками) и каналы (канал - набор последовательно расположенных контрольных объемов расчетной схемы, изображающийся полилинией). Совокупность узлов и каналов, соединяющихся между собой гидравлическими линиями связи, образует основную часть расчетной схемы, визуально очень похожую на принципиальную технологическую схему моделируемой системы.

Под контрольным объемом подразумевается следующее понятие: реальная гидравлическая система, точнее её проточная часть, заполненная теплоносителем, условно разделяется на конечное число малых элементов – объёмов, в пределах каждого из которых параметры теплоносителя (давление и энтальпия, а следовательно и все другие параметры) можно усреднить. Другое название такой математической модели: камера смешения, или модель мгновенного перемешивания. Предполагается, что весь контур и, следовательно, каждый контрольный объем полностью заполнен теплоносителем. Если в контрольный объём поступает какое-то количество теплоносителя с другой энтальпией, например, с более высокой, то происходит «мгновенное перемешивание» и теплоноситель данного контрольного объема нагревается, его энтальпия повышается, причем сразу у всего теплоносителя контрольного объема. Расход, выходящий из контрольного объема, имеет энтальпию этого контрольного объема.

«Соседние» контрольные объемы соединяются между собой гидравлическими линиями связи, и в процессе расчета на каждом шаге выполняется три стадии вычисления: для контрольных объемов вычисляется давление теплоносителя (определяется поле давления для всего контура), затем происходит вычисление расходов теплоносителя вдоль каждой гидравлической линии связи, и на третьем этапе вычисляются новые значения для внутренней энергии (энтальпии) теплоносителя в каждом контрольном объеме.

Гидравлическая линия связи соединяет попарно контрольные объемы между собой, задавая топологию расчетной схемы. Задача пользователя – провести линии связи между узлами и каналами, ранее расположенными на схеме. Линии связи между контрольными объемами канала уже «проведены» по умолчанию.

**Расчетные элементы кода**

Кроме узлов и каналов, которыми задается только геометрия и топология течения теплоносителя (без учета стенок и конструкционных материалов!), расчетный код содержит другие элементы, а именно: модели местного гидравлического сопротивления (дроссель, сужение, расширение, отвод потока и т.п.), тепловые структуры для организации расчета теплообмена, модели основных типов турбонасосных агрегатов: несколько моделей насоса, ступень турбины, ступень компрессора, модель инерции вращающегося вала (ротора), модель электрогенератора.

**Баки**

Баки – расчетные элементы кода, в которых присутствует тем или иным образом модель «внешней» среды (возможно, с другим видом теплоносителя) и «уровень» теплоносителя (узлы и каналы заполнены теплоносителем полностью всегда). Расчетный код содержит несколько моделей баков, а именно:

* модель открытого бака – бак со свободным уровнем теплоносителя, с давлением внешней среды (например, атмосферы);
* модель закрытого бака – герметичный бак, в начальный момент времени заполненный каким-то количеством теплоносителя, остальной объём бака заполнен идеальным неконденсирующимся газом. В процессе расчета давление в баке определяется по уравнению состояния для газа;
* модель бака типа «пароводяной компенсатор давления» – бак типа закрытого бака, используется только в контурах с водой, в данной модели происходит расчет испарения (кипения) воды и конденсации пара. Один из объемов бака содержит воду, по параметрам близкую к линии насыщения, другой объем бака содержит пар, также близкий к линии насыщения; допустимо подключение термоэлектронагревателей и спринклерных устройств.
* модель «расширительного» бака, в которой возможно подключение к баку двух контуров с разными теплоносителями (жидкость и газ), при этом давление в баке определяется по уравнению состояния для газа, а уровень – по количеству жидкости в баке.

Подключение бака к гидравлическому контуру организовано специальным блоком - узлом бака, который моделирует контрольный объём теплоносителя, занимаемый отверстием в стенке бака.

**Местные гидравлические сопротивления и арматура**

Расчетный элемент типа «местное гидравлическое сопротивление» моделирует какую-либо особенность трубопровода, затрудняющую течение теплоносителя (заужение, изгиб и т.п.). На расчетной схеме такой блок должен быть поставлен на канал, т.е. блок-сопротивление должен стать «дочерним» по отношению к каналу, и в свойствах блока должно быть указано, к какому элементу канала (к какому именно контрольному объему канала, точнее к какой гидравлической связи канала) применяется задаваемое местное гидравлическое сопротивление.

Блоки, моделирующие задвижки, клапаны и другую арматуру, аналогично местному гидравлическому сопротивлению должны устанавливаться на блок-канал, на определенный элемент канала. При этом задвижка имеет свою характеристику (зависимость сопротивления от степени открытия задвижки, задаваемую в файле) и на каждом шаге расчета задаёт местное гидравлическое сопротивление в данном элементе канала в зависимости от степени открытия.

**Тепловые структуры**

Под тепловыми структурами подразумеваются модели стенок трубопроводов и материалы других конструкций с моделью теплообмена (теплопереноса). Используются при моделировании стенок трубопроводов, элементов теплообменников и т.п. Во всех тепловых структурах реализована одномерная модель теплопроводности, направление теплового потока перпендикулярно течению теплоносителя. Подключение тепловой структуры возможно к каналам и бакам расчетной схемы, при этом надо соблюдать одинаковое количество элементов в канале (баке) и тепловой структуре, а также равные длины соответствующих участков. Также, следить за корректностью задания радиусов и других свойств блоков. В расчетный код встроен ряд проверок на корректность задания исходных данных по геометрии, но не на все возможные случаи. При подключении цилиндрической стенки к каналу формируется модель стенки трубопровода, при подключении цилиндрической стенки к баку – модель стенки бака.

Подключение тепловой структуры к каналу (баку) осуществляется специальными тепловыми линиями связи.

Многослойные стенки (из разных конструкционных материалов) можно формировать чередованием блоков стенка-зазор-стенка.

**Граничные условия**

Зачастую требуется создать модель какой-либо небольшой части реальной системы. Или, при создании большой модели её создают по частям, иногда – коллективом разработчиков. Во многих моделях требуется организовать взаимодействие с внешней средой (атмосферой).

Для таких ситуаций, для моделирования внешних условий в расчетном коде разработаны специальные блоки – граничные условия. Граничные условия для гидравлической части представлены двумя блоками: граничный узел Р и подпитка G в узле. Граничный узел Р аналогичен внутреннему узлу (то есть это тоже контрольный объём), за исключением того что давление в этом узле не вычисляется, а задается пользователем и, как правило, не меняется в процессе расчета. Энтальпия этого узла остается постоянной (заданной пользователем перед расчетом) в случае направления потока теплоносителя от узла и вычисляется как для внутреннего узла если поток направлен к узлу. Физически это соответствует ситуации, когда трубопровод подключен к относительно большому резервуару (баку), содержащему теплоноситель в неограниченном количестве с постоянными параметрами, а сам узел является объемом, занимающим «отверстие» в подобный резервуар.

Другое граничное условие – подпитка в узел с заданным расходом, точнее совокупность двух блоков – внутреннего узла и подпитки в узел. При этом пользователь задаёт принудительно величину расхода через данный узел (и соответственно трубопровод, канал, подключенный к данному узлу). Такое граничное условие используется в ситуациях отладки гидравлической системы, когда известно распределение давления вдоль тракта и требуется подобрать сопротивления участков тракта и/или размещенного оборудования таким образом, чтобы модель была адекватна реальной системе. Граничное условие типа G как бы «зажимает» расход по тракту в заданную величину и далее, меняя характеристики элементов вдоль тракта происходит отладка модели.

Тепловые граничные условия представлены тремя блоками: заданный тепловой поток на стенке, стенка с заданной температурой и граничное условие типа «канал с заданными параметрами». Последний блок служит граничным условием для тепловых структур.

**Турбонасосное оборудование**

Специальные расчетные блоки моделируют ряд типового оборудования: насос, электродвигатель, ступени турбины и компрессора, электрогенератор, ротор.

Все модели насосов, ступени турбины и компрессора – устанавливаются на канал (аналогично арматуре и местным сопротивлениям), на какой-то конкретный элемент канала, и воздействуют на соответствующий контрольный объём / гидравлическую линию связи, а именно: насос добавляет напор (перепад давления), ступень турбины отбирает энергию (понижает параметры – давление и энтальпию) потока, ступень компрессора – наоборот, поднимает параметры теплоносителя.

Ротор – представляет собой модель инерции вращающегося вала, на котором одновременно могут быть размещены: 1) насос, 2) ступени турбины, 3) ступени компрессора, 4) электродвигатель, 5) электрогенератор, в произвольных комбинациях. При этом расчетный элемент типа ротора вычисляет частоту вращения и передает её размещенным на нём элементам оборудования, а оборудование в зависимости от текущей частоты вращения и других факторов, влияющих на них со стороны теплоносителя или электрической сети, вычисляют свои моменты сопротивления и передают их ротору, где решается уравнение моментов. В роторе учитывается также момент от силы трения и сила трения покоя (момент «страгивания»).

Модели насосов представлены тремя основными типами:

* простейшая модель насоса – заданный напор, который просто добавляет постоянный перепад давления на указанный элемент канала (на который размещен элемент типа «заданный напор насоса»);
* насос с полиномными характеристиками – насос, расходно-напорная характеристика которого задаётся в виде параболы по трём точкам – в точке при нулевом расходе, в точке при максимальном расходе (т.е. при нулевом напоре), и рабочей точкой с номинальным расходом и напором;
* насос с таблично-заданными характеристиками – насос, характеристики которого (расходно-напорная, для КПД и для мощности) задаются в табличном виде по сколотым точкам и хранятся в отдельном файле (для насоса каждого типа – свой файл). Эта модель позволяет максимально точно задать характеристику насоса.

Блоки типа «ступень турбины» и «ступень компрессора» по использованию похожи на насос третьего типа – характеристики задаются в отдельном файле, а блоки должны быть обязательно подключены к ротору.

Блоки насосов, в отличие от турбины и компрессора, могут быть не подключены к ротору, тогда частота вращения насоса задается через свойство блока. Если же блок типа насоса подключен к ротору, то частота вращения насоса будет такая же, как и у ротора.