

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

УТВЕРЖДАЮ
Зам. директора ИБРАЭ РАН


О. В. Паугулина
« 01 » ноября 2017

Руководство пользователя программного средства Программа для решения задач нестационарной теплогидравлики применительно к реакторным установкам и экспериментальным стендам с натриевым, свинцовым и свинцово-висмутовым теплоносителями. Версия 1.1 (HYDRA-IBRAE/LM/V1.1)

Москва, 2017

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

РК	– Расчётный код
РЯ	– Расчётная ячейка
ТВС	– Тепловыделяющая сборка
ТВЭЛ	– Тепловыделяющий элемент
ТГС	– Теплогидравлическая сеть
ТС	– Теплопроводящая структура

Список обозначений

A	– Проходное сечение, м ²
a	– Скорость звука, м/с
g	– Ускорение свободного падения, м/с ²
H _{nom}	– Номинальный напор насоса, Па
$H' = \frac{H}{H_{nom}}$	– Безразмерный напор насоса
J _{nom}	– Момент инерции ротора насоса, кг·м ²
$M' = \frac{M}{M_{nom}}$	– Безразмерный гидравлический момент сопротивления
M	– Гидравлический момент сопротивления
M _{fr}	– Момент сопротивления трения
P	– Давление, Па
φ _k	– Объёмная концентрация фаз
$\rho = \varphi_g \rho_g + \varphi_f \rho_f$	– Плотность теплоносителя, кг/м ³
ρ _k	– Плотность фазы, кг/м ³
V _k	– Скорость фазы k, м/с
T _w	– Температура стенки, К
T _s	– Температура насыщения, К

Нижние индексы

f	– параметры жидкой фазы
g	– параметры газовой фазы
i	– параметры на межфазной границе
k	– идентификатор фазы (f, g)
n	– параметры неконденсируемых газов
s	– параметры в состоянии насыщения
w	– параметры на стенку
v	– параметры пара

СОДЕРЖАНИЕ

Обозначения и сокращения.....	1
Введение	6
1 Установка и запуск.....	7
1.1 Общие сведения	7
1.2 Параметры командной строки.....	8
2 Общие сведения о входных и выходных файлах	9
2.1 Входные файлы.....	9
2.2 Выходные файлы	10
3 Краткое описание моделей.....	11
3.1 Канал.....	11
3.1.1 Общие сведения и геометрия.....	11
3.1.2 Карты режимов течения и теплообмена	12
3.1.2.1 Натриевый теплоноситель	12
3.1.2.2 Свинцовый теплоноситель.....	13
3.1.2.3 Водяной теплоноситель.....	13
3.1.2.4 Глицериновый теплоноситель	15
3.1.3 Уравнения состояния.....	15
3.1.4 Граничные условия	16
3.2 Теплопроводящая структура	17
3.2.1 Общие свойства и геометрия	17
3.2.2 Кризис теплоотдачи	18
3.2.3 Граничные условия	19
3.3 Камера.....	19
3.4 Насос	19
3.5 Клапан.....	22
3.6 Теплоноситель.....	23
4 Формат входных файлов.....	24
4.1 Структура файла исходных данных РК HYDRA.....	25
4.2 Инструкция Duplication.....	26
4.3 Общие особенности ввода элементов.....	30
4.3.1.1 Константные формулы	30
4.3.1.2 Формулы.....	30
4.3.1.3 Табличные функции	31
4.3.1.4 Задание граничных условий и источников, зависящих от времени	31
4.4 Структура входного файла.....	31
4.5 Список объектов ввода РК HYDRA.....	32
4.6 Ввод связей.....	34
4.7 Описание задания параметров, управляющих расчётом	35
4.7.1 Main – Задание управляющих параметров для расчёта	35
4.7.1.1 Блок тега TimeTable.....	36
4.7.1.2 Тег TimeControl.....	37
4.7.1.3 Запись элемента в XML- формате.....	38
4.7.2 TimeStep – Задание параметров интегрирования.....	39
4.7.3 PhysicalModels – Задание физических параметров для расчёта	39

4.7.3.1	Общее описание	39
4.7.3.2	Запись элемента в XML-формате	41
4.7.4	PlotOptions – Задание параметров для вывода в plot-файл	41
4.7.5	ControlParams – Задание параметров для замыкающих соотношений	41
4.7.5.1	Свойства элемента ParamBlock, если Name="Pb_WallHeatExch"	41
4.7.5.2	Свойства элемента ParamBlock, если Name="Pb_WFrictVary" или Name="Pb_WHeatVary"	43
4.7.6	Parallel – Задание параметров распараллеливания	44
4.8	Описание ввода сервисных объектов расчётного кода HYDRA	44
4.8.1	Coolant – Теплоноситель	44
4.8.1.1	Свойства элемента	44
4.8.1.2	Запись элемента в XML- формате	49
4.8.2	MatProp – Свойства материалов для теплопроводящих структур	50
4.8.2.1	Свойства элемента	50
4.8.2.2	Запись элемента в XML-формате	53
4.8.3	ControlFunc – контрольные функции	54
4.8.3.1	Свойства элемента	55
4.8.3.2	Использование контрольных функций для вывода в файл	57
4.8.3.3	Вывод элементов массива в файл	57
4.8.3.4	Многомерные аргументы контрольных функций	58
4.8.3.5	Список элементарных функций	59
4.8.3.6	Список элементарных операций	61
4.8.3.7	Свойства неконденсируемых газов	62
4.8.3.8	Использование констант	62
4.8.4	Table – табличные функции	63
4.8.4.1	Свойства элемента	63
4.8.4.2	Запись элемента в XML-формате	64
4.8.5	Loop – Петля	65
4.8.5.1	Свойства элемента	65
4.8.5.2	Запись элемента в XML-формате	66
4.8.6	BoundCell – Гидравлическое граничное условие	67
4.8.6.1	Разрешённые связи элемента	68
4.8.6.2	Свойства элемента	71
4.8.6.3	Запись элемента в XML - формате	84
4.8.7	HeatBound – Тепловое граничное условие	84
4.8.7.1	Разрешённые связи элемента	84
4.8.7.2	Свойства элемента	85
4.8.7.3	Запись элемента в XML-формате	93
4.9	Описание ввода модельных объектов РК HYDRA	94
4.9.1	Channel – Канал	95
4.9.1.1	Разрешённые связи элемента	95
4.9.1.2	Свойства элемента	100
4.9.1.3	LocalResistance – Местное сопротивление	113
4.9.1.4	Valve – Клапан	122
4.9.1.5	Tritium – Массоперенос трития и водорода	126
4.9.1.6	Запись элемента в XML- формате	129
4.9.2	Chamber – Камера	129
4.9.2.1	Разрешённые связи элемента	129
4.9.2.2	Свойства элемента	134
4.9.2.3	Запись элемента в XML - формате	137
4.9.3	MassSource – Источник массы	137
4.9.3.1	Разрешённые связи элемента	137

4.9.3.2	Свойства элемента	138
4.9.3.3	Запись элемента в XML - формате	145
4.9.4	WaterSodiumLeak – Течь вода-натрий в ПГ РУ БН	146
4.9.4.1	Разрешенные связи элемента	146
4.9.4.2	Свойства элемента	147
4.9.4.3	Запись элемента в XML-формате	148
4.9.5	HeatStruct – Теплопроводящая структура	149
4.9.5.1	Разрешенные связи элемента	150
4.9.5.2	Свойства элемента	155
4.9.5.3	Запись элемента в XML-формате	165
4.9.6	ChannelHeatSource – Энерговыведение в объеме теплоносителя	167
4.9.6.1	Разрешенные связи элемента	167
4.9.6.2	Свойства элемента	169
4.9.6.3	Запись элемента в XML-формате	173
4.9.7	Pump – насос	173
4.9.7.1	Разрешенные связи элемента	174
4.9.7.2	Свойства элемента	175
4.9.7.3	Задание четырехквadrантных характеристик	188
4.9.7.4	Запись элемента в XML-формате	194
4.9.8	Radiation – Теплообмен излучением	196
4.9.8.1	Радиальный перенос	196
4.9.8.2	Радиальный или аксиальный перенос в ТВС	196
4.9.8.3	Разрешенные связи элемента	196
4.9.8.4	Свойства элемента	196
4.9.8.5	Запись элемента в XML-формате	198
4.9.9	Pressurizer – Компенсатор давления	199
4.9.9.1	Разрешенные связи элемента	199
4.9.9.2	Свойства элемента	200
4.9.9.3	Запись элемента в XML - формате	206
4.9.10	Моделирование теплообмена между поверхностью расплава ТЖМТ и внутренней поверхностью верхней крышки РУ	206
4.10	Описание ввода инженерных объектов РК HYDRA	207
4.10.1	Core – Активная зона	207
4.10.1.1	Разрешенные связи элемента	209
4.10.1.2	Свойства элемента	211
4.10.1.3	Запись элемента в XML-формате	227
4.10.2	FuelAssembly – Тепловыделяющая сборка	231
4.10.2.1	Разрешенные связи элемента	231
4.10.2.2	Свойства элемента	233
4.10.2.3	Запись элемента в XML-формате	234
4.10.2.4	Запись элемента в XML-формате с тегом Radiation	244
4.11	Формат выходных файлов	244
4.11.1	Файлы выдачи динамических данных (плот файлы)	244
4.11.2	Файлы возобновления расчета (рестарт файлы)	244
4.11.3	Файлы диагностических сообщений	244
4.11.4	Файлы выдачи значений основных физических параметров	245
4.11.5	Файлы выдачи значений контрольных функций	245
5	Список плот-переменных и аргументов контрольных функций	246
5.1	Глобальные переменные	246
5.2	Модельные объекты	247
5.2.1	Переменные канала	247

5.2.2	Переменные камеры.....	253
5.2.3	Переменные гидравлического граничного условия	256
5.2.4	Переменные источника массы	257
5.2.5	Переменные теплопроводящей структуры.....	257
5.2.6	Переменные теплового граничного условия.....	260
5.2.7	Переменные для клапанов.....	261
5.2.8	Переменные для энерговыделений в объёме теплоносителя	261
5.2.9	Переменные для насосов	262
5.2.10	Переменные для теплообмена излучением	263
5.2.11	Переменные для местного сопротивления	263
5.2.12	Переменные элемента Компенсатор давления.....	264
5.3	Инженерные объекты	265
5.3.1	Переменные для активной зоны Core	265
5.3.2	Переменные для тепловыделяющей сборки FuelAssembly	266
5.4	Сервисные объекты	267
5.4.1	Переменные контрольных функций.....	267
5.4.2	Переменные для табличных функций.....	268
5.4.3	Переменные для петли.....	268
6	Примеры расчета	270
6.1	Пример 1. Моделирование стационарного течения свинцового теплоносителя в вертикальной круглой трубе при ламинарном и турбулентном режимах и сравнение с аналитическим расчетом	270
6.1.1	Постановка задачи	270
6.1.2	Построение нодализационной схемы.....	271
6.1.3	Файл входных данных	272
6.1.4	Выходные файлы и результаты расчета	276
6.2	Пример 2. Моделирование естественной циркуляции натриевого теплоносителя в замкнутом контуре и сравнение с аналитическим решением	279
6.2.1	Постановка задачи	279
6.2.2	Построение нодализационной схемы.....	280
6.2.3	Файл входных данных	282
6.2.4	Выходные файлы и результаты расчета	290

ВВЕДЕНИЕ

Программный комплекс HYDRA-IBRAE/LM/V1.1 (далее HYDRA) является расчётным кодом (ПК) улучшенной оценки и предназначен для расчётных анализов нестационарных теплогидравлических процессов в натриевых, свинцовых, свинцово-висмутовых, водяных, воздушных контурах ядерных энергетических установок с РУ с жидкометаллическим теплоносителем в нормальных, переходных и аварийных режимах.

Код HYDRA был разработан в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институт проблем безопасного развития атомной энергетики Российской академии наук (ИБРАЭ РАН). Основными характеристиками кода HYDRA являются:

- обеспечение возможности моделирования контуров с различными типами теплоносителя и рабочего тела (свинец – вода; натрий – вода и других комбинаций);
- использование усовершенствованных алгоритмов численного решения (метод прогонки на графах [1]);
- использование современного объектно-ориентированного программирования (при написании кода использовался язык C++);
- использование динамической аллокации памяти;
- параллелизация кода на основе технологии параллельного программирования для систем с общей памятью OpenMP.

Моделирование теплогидравлических процессов в ПК HYDRA осуществляется на основе неравновесной двухжидкостной модели (по три уравнения сохранения для водяной и паровой фаз) в одномерном приближении. В коде имеется возможность учёта поведения неконденсируемых газов. Для расширения функциональных возможностей ПК HYDRA снабжён набором специализированных программных модулей, с помощью которых осуществляется расчёт динамики отдельных элементов оборудования и различных процессов.

В текстовом виде входной файл кода HYDRA написан на основе стандарта языка XML [2], обладающего рядом преимуществ по сравнению с обычными текстовыми файлами, главным из которых в случае кода HYDRA является возможность задавать иерархию объектов во входном файле.

Для пост-процессинга в коде HYDRA используется оболочка Smart-Client, позволяющая в удобном виде отображать временные и пространственные зависимости. Кроме того, расчётный комплекс позволяет выводить набор переменных, заданных пользователем, в текстовый файл.

Данное Руководство пользователя включает описание установки и запуска кода, входных и выходных файлов. Детальное описание физических моделей HYDRA приведено в отдельном документе.

1 УСТАНОВКА И ЗАПУСК

1.1 Общие сведения

Для работы с автономной версией кода HYDRA необходимо создать директорию для исполняемых и вспомогательных файлов программы HYDRA на своём компьютере. Например, c:\HYDRA_Work\.

В этой директории создать папку HYDRA (c:\HYDRA_Work\HYDRA\), в которую поместить следующие вспомогательные файлы для расчётов термодинамических свойств воды, водяного пара, жидкометаллических теплоносителей, и локального сопротивления версией кода HYDRA:

- WaterProp_dat – термодинамические свойства воды и водяного пара;
- SmartDB.xml – файл базы данных материалов;
- PlotDef.xml – база данных по именам аргументов контрольных функций;
- NaProp_dat – термодинамические свойства Na;
- PbBiProp_dat – термодинамические свойства сплава свинец-висмут;
- PbProp_dat – термодинамические свойства свинца;
- Idelchik.xml – параметры для задания локального сопротивления.

В директорию пакета (c:\HYDRA_Work\.) поместить:

- Hydra_exe.exe – исполняемый файл ПК HYDRA;
- UniLib.dll – библиотека для работы с базой данных материалов;
- vcomp90d.dll – библиотека для работы кода на многоядерных вычислительных системах..

Создать рабочую папку, в которую будут помещаться входные файлы для кода HYDRA. Например, c:\HYDRA_Work\Tests\.

В этой папке необходимо создать подкаталоги для каждого из тестов. Например, c:\HYDRA_Work\Tests\MyTest. В каждый из подкаталогов помещается входной файл на языке XML, подготовленный в соответствии с правилами, описанными в данном руководстве: c:\HYDRA_Work\Tests\MyTest\MyTest.xml.

Для запуска ПК рекомендуется запустить командную строку из каталога теста (для каждого теста рекомендуется выделить отдельный подкаталог). Подробно параметры командной строки описаны в разделе 1.2 настоящего руководства. В этом случае процедура запуска расчётного кода HYDRA будет выглядеть следующим образом:

```
<путь к Hydra_exe.exe> -FN <имя файла теста>
```

Допускается использование как полного (абсолютного) пути, так и относительного пути к файлу. Если имена папок содержат пробелы или русские буквы, то всю строку пути надо заключать в кавычки. Для примера, приведённого выше, нужно перейти в каталог

```
c:\HYDRA_Work\Tests\MyTest
```

запустить командную строку и набрать команду (относительный путь):

```
..\Hydra_exe.exe -FN MyTest.xml
```

или

```
c:\HYDRA_Work\Hydra_exe.exe -FN MyTest.xml
```

В этом случае все выходные файлы данного теста будут располагаться в рабочем каталоге (c:\HYDRA_Work\Tests\MyTest).

Если имя файла исходных данных – “Hydra.xml” (равно имени «по умолчанию»), то в командной строке его можно опустить, оставив только путь к исполняемому файлу РК:

..\..\Hydra_exe.exe

или

c:\HYDRA_Work\Hydra_exe.exe

1.2 Параметры командной строки

В качестве параметров командной строки в коде HYDRA могут использоваться значения, описанные в Таблица 1.1.

Таблица 1.1– Параметры командной строки

Имя параметра	Значение	Тип значения	Описание	Значение по умолчанию
-FN	<filename >	CHAR	Имя входного файла	Hydra.xml
-NT	<p>	INT	Число нитей (threads в терминах ОС компьютера). Если <p> = 0 – значение будет определено автоматически и равно числу ядер процессоров компьютера	1
-?	_____	_____	Справка о параметрах командной строки	_____

Примеры

Задание имени входного файла

Задается только путь к exe файлу. Имя входного файла Hydra.xml – по умолчанию

..\..\Hydra_exe.exe

Задание имени входного файла

..\..\Hydra_exe.exe -FN MyTest.xml

Задание числа нитей

..\..\Hydra_exe.exe -NT 3

Задание имени входного файла и числа нитей – наиболее полная форма

..\..\Hydra_exe.exe -FN MyTest.xml -NT 3

2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ФАЙЛАХ

2.1 Входные файлы

Входной файл кода HYDRA должен быть подготовлен на языке XML. Для составления входного файла рекомендуется использовать редактор Altova XMLSpy. Если работа ведётся в другом редакторе, по завершении работы над входным файлом необходимо открыть его в Mozilla Firefox с целью диагностики ошибок формата XML-файла. Диагностика данных ошибок выполняется редакторами. Кодом HYDRA она не выполняется. Запуск задачи на счёт можно выполнять только после исправления всех ошибок, отображаемых программами Altova XMLSpy или Mozilla Firefox.

Язык XML был выбран исходя из следующих соображений:

- этот файл – текстовый и может редактироваться как стандартными текстовыми процессорами, так и специфическими XML-редакторами, обладающими дополнительными возможностями, такими как синтаксический контроль, «скрытие», «сворачивание» содержимого отдельных подблоков, табличное представление однотипных узлов, использование схем для контроля обязательности, типов и многие другие возможности;
- этот формат даёт возможность ввода иерархических данных;
- для основных языков программирования разработаны стандартные средства обработки этих файлов – запросы атрибутов, циклы по полям и т.п., что существенно упрощает обработку ввода исходных данных;
- этот формат является хорошей основой для разработки диалоговых систем ввода, передачи данных по сети.

Таким образом, как всякий стандарт, XML язык становится удобным средством обработки данных и имеет значительные сервисные возможности как для пользователей, так и для разработчиков программных продуктов.

Для расчётов код HYDRA использует базу данных по свойствам теплоносителя, записанную в определённом формате в двоичный файл с именем типа XXXProp_dat, где XXX – имя теплоносителя: Pb – свинец, Na – натрий, PbBi – свинец-висмут, Water – вода, Gly – глицерин. По умолчанию файл со свойствами при установке РК помещается в папку Hydra, созданную на одном уровне с исполняемым файлом Hydra.exe. Краткое описание входных файлов представлено в Таблица 2.1.

Таблица 2.1– Входные файлы кода HYDRA

Имя файла (по умолчанию)	Описание
Hydra.xml	Входной файл кода, в котором задаются элементы ТГС и их свойства. Задаётся пользователем.
WaterProp_dat	Двоичный файл со свойствами воды и водяного пара. Этот файл создаётся специальной программой-генератором. Входит в дистрибутив РК.
XXXProp_dat	Аналогичные файлы со свойствами других теплоносителей (Na, Pb, PbBi, Gly). Входят в дистрибутив РК.

Кроме того имеется возможность задания исходных данных для ПК HYDRA в графической оболочке пользователя. Описание и руководство пользователя графической оболочки помещено в отдельный документ.

2.2 Выходные файлы

По умолчанию код HYDRA формирует пять текстовых и два двоичных выходных файла, куда автоматически записываются с определённой скважностью по времени результаты расчётов. Скважность или шаги по времени, с которыми записываются результаты расчетов, задаются пользователем во входном файле.

Код HYDRA записывает двоичный рестарт-файл, для того, чтобы расчёт можно было продолжать с определённого записанного момента времени. Файл рестарта записывается в двоичном виде и недоступен для просмотра текстовым редактором. В файлах рестарта сохраняются все изменяемые в процессе расчёта величины, необходимые для продолжения расчёта: основные параметры теплоносителя, распределение температур в теплопроводящих структурах, некоторые переменные (номер шага, время, величина расчётного шага) и др.

Второй двоичный файл (плот-файл) пишется с заданной скважностью для пост-процессорной обработки и последующего отображения средствами графического редактора.

Также код HYDRA записывает текстовые диагностические файлы. В них печатаются основные события и ошибки, возникшие при работе кода. Набор лог файлов может включать в себя файлы четырёх типов – лог ошибок, лог диагностических сообщений, лог событий и лог информационных сообщений. Файлы открываются на добавление, содержимое, присутствующее в файлах с предыдущих расчетов, не очищается.

В процессе расчёта код HYDRA записывает значения основных физических параметров в общий выходной файл TestName_Hydraulics.out (Таблица 2.1).

Таблица 2.2– Выходные файлы кода HYDRA по умолчанию

Имя файла (по умолчанию)	Описание
TestName_Hydraulics.out	где TestName – имя входного файла кода в формате xml. Выходной текстовый файл кода.
TestName_restart.dat	Двоичный файл рестарта для продолжения или повторения расчёта.
TestName.plt	Выходной двоичный файл для контроля за процессом расчёта и графической обработки результатов расчётов.
OutFile	Набор файлов, заданных в атрибутах OutFile контрольных функций.
log_errors.txt	Сообщения об ошибках, критических для выполнения расчета.
log_warnings.txt	Диагностические сообщения, включает в себя сообщения об ошибках, содержащиеся в файле log_errors.txt, и сообщения-предупреждения, не препятствующих началу расчёта.
log_events.txt	Сообщения о физических событиях в моделируемой задаче, происходящих в процессе расчета.
log_info.txt	Весь протокол информационных сообщений, включая ошибки, диагностические сообщения, события, и информационные сообщения.
Snaps.dat	Содержит информацию о времени и номере временного шага, на котором был записан очередной шаг рестарта.

3 КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МОДЕЛЕЙ

В ПК HYDRA теплогидравлическая сеть строится из следующих элементов:

- канал;
- теплопроводящая структура;
- камера;
- насос;
- клапан.

Краткое описание каждого из элементов сети дано ниже. Подробное описание можно найти в Руководстве по моделям кода HYDRA.

3.1 Канал

3.1.1 Общие сведения и геометрия

Канал – основной элемент гидравлической сети, для которого рассчитываются параметры участка потока теплоносителя между точками ветвления или другими элементами нодализационной схемы в двухжидкостном одномерном приближении.

Одиночным элементом Канал можно описать поток в трубопроводе или технологическом канале ТВС активной зоны, входную кольцевую камеру реактора и т.п. Если разные участки реального канала имеют различные характеристики, то HYDRA позволяет моделировать такой канал с помощью системы элементов типа Канал. Например, можно описать верхнюю и нижнюю камеру смешения реактора, парогенератор по I или II контуру и т.п.

Расчётная область канала состоит из расчётных ячеек (РЯ) и соединений (см. Рисунок 3.1). В расчётных ячейках определяются давления, энтальпии, паросодержания и концентрации неконденсируемых газов, а в соединениях – скорости. Каждая РЯ характеризуется геометрическими и термодинамическими параметрами.

За положительное направление скорости принято направление, в котором нумерация узлов сетки (РЯ) возрастает.

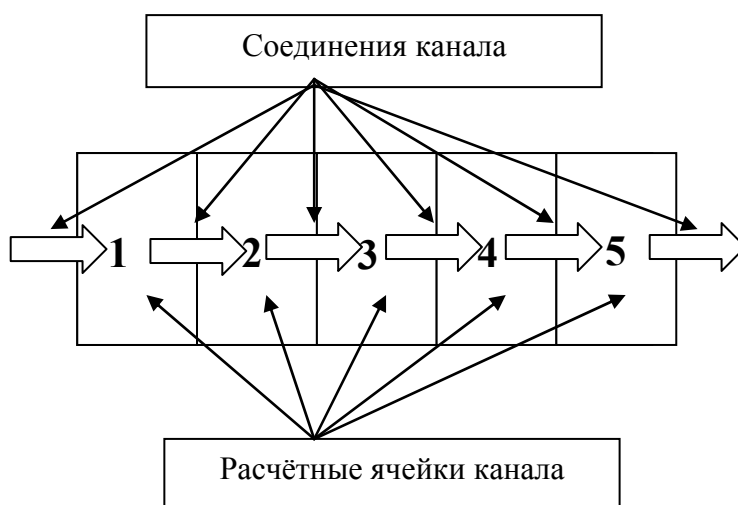


Рисунок 3.1 – Канал

Канал характеризуется:

- геометрическими параметрами, задаваемыми для расчётных ячеек и соединений
- для расчётных ячеек:
- площадь проходного сечения;
- гидравлический диаметр;
- длина;
- перепад высоты;
- тип геометрии сечения РЯ;
- шероховатость;
- параметры, определяющие термодинамическое состояние (давление в РЯ, температуры фаз в РЯ, паросодержание в РЯ).

В случае если перепад высоты РЯ не совпадает с её длиной, ячейка считается наклонной.

В канале могут быть определены:

- местные сопротивления (разные для каждой фазы, прямого и обратного течения);
- насосы;
- клапаны.

Местные сопротивления РК HYDRA предназначены для учета локальных возмущений потока, приводящих к необратимым потерям давления.

Для задания подвода тепла к фазам или отвода тепла от фаз теплоносителя используется элемент Энерговыведение в объёме теплоносителя (см. 4.9.6) или элемент Теплопроводящая структура (см. 4.9.5).

3.1.2 Карты режимов течения и теплообмена

3.1.2.1 Натриевый теплоноситель

В РК HYDRA при вынужденном течении натрия используется карта с 6 режимами течения, два из которых отвечают режиму течения однофазной жидкости и газа, а оставшиеся 4 – двухфазному течению, среди которых пузырьковый, переходный, кольцевой и закризисный. Эта карта режимов приведена на Рисунок 3.2. Здесь φ – содержание паров натрия.

<i>Область однофазной жидкости</i>	<i>Пузырьковый режим</i>	<i>Переходный режим</i>	<i>Кольцевой режим</i>	<i>Закризисный режим</i>	<i>Область однофазного пара</i>
$\varphi = 0$	$0 < \varphi \leq 0,3$	$0,3 < \varphi < 0,7$	$0,7 \leq \varphi < 0,957$	$0,957 \leq \varphi \leq 1$	$\varphi = 1$

Рисунок 3.2 – Карта режимов для натриевого теплоносителя

3.1.2.2 Свинцовый теплоноситель

Свинцовый теплоноситель в достаточно широком диапазоне давлений и температур можно рассматривать в однофазном виде. Поэтому при вынужденном течении свинца используется один режим – режим однофазной жидкости.

3.1.2.3 Водяной теплоноситель

Для расчёта течения двухфазной среды должны быть определены модели межфазных взаимодействий и модели взаимодействия фаз со стенками каналов, которые в значительной мере зависят от величины межфазной поверхности, характерных размеров регулярных структур (пузырьки, капли, пленка и др.) и поверхности контакта фаз со стенкой. Все эти величины в ПК HYDRA определяются по так называемым картам режимов течения и теплообмена.

Многочисленные исследования карт режимов течения воды и водяного пара в вертикальных и горизонтальных каналах показывают, что все такие карты режимов практически равноценны. Небольшие отличия в границах режимов нивелируются применением сглаживания на границах. После сравнительного анализа для кода HYDRA были выбраны карты режимов, используемые в коде КОРСАР.

В коде используются две карты режимов течения: для горизонтальных (Рисунок 3.3) и для вертикальных (Рисунок 3.4) каналов, а также отдельная карта режимов для теплообмена (Рисунок 3.5). В промежуточных состояниях необходимые параметры определяются интерполяцией между значениями на границе базовых режимов. Карта режимов для горизонтальных каналов используется для каналов с углом наклона к горизонтали θ таким, что $\frac{dh}{L} = \sin(\theta) < 0,174$ (здесь dh это перепад высот между входом и выходом канала, L – длина канала), для остальных углов используется карта режимов для вертикальных каналов.

Карта режимов течения воды и водяного пара для горизонтальных каналов представлена в координатах (φ, Fr) (здесь φ – паросодержание, Fr – число Фруда, см. Рисунок 3.3). Число Фруда определяет условие возникновения расслоённого режима течения в горизонтальном трубопроводе (3.1)

$$Fr = \frac{\left| j_g - \frac{1.5j_f}{X^{0.85}} \right|}{\sqrt{gD}} \sqrt{\frac{\rho_g}{\rho_f - \rho_g}}, \quad (3.1)$$

где X – параметр Локкарта-Мартинелли.

Fr_{cr} – критическое число Фруда, определяющее границу области существования расслоённого режима.

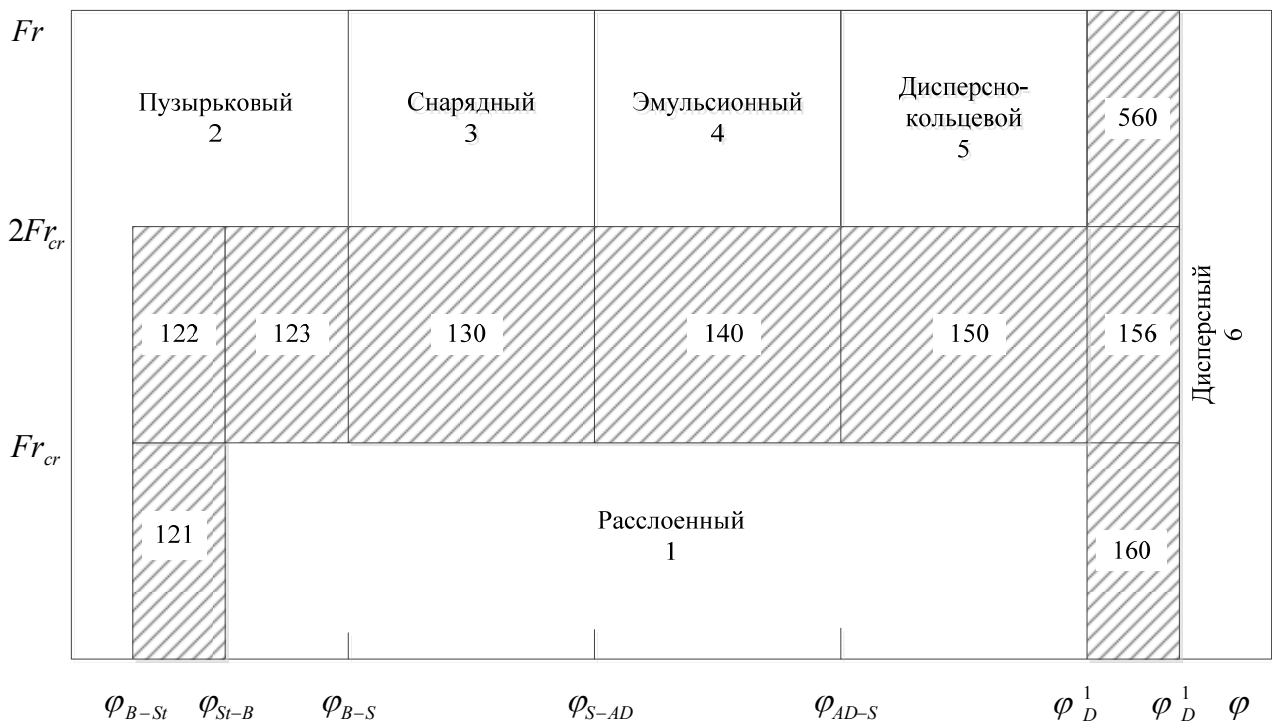


Рисунок 3.3 – Карта режимов течения в горизонтальном канале

Карта режимов течения воды и водяного пара для вертикальных каналов представлена на Рисунок 3.4.

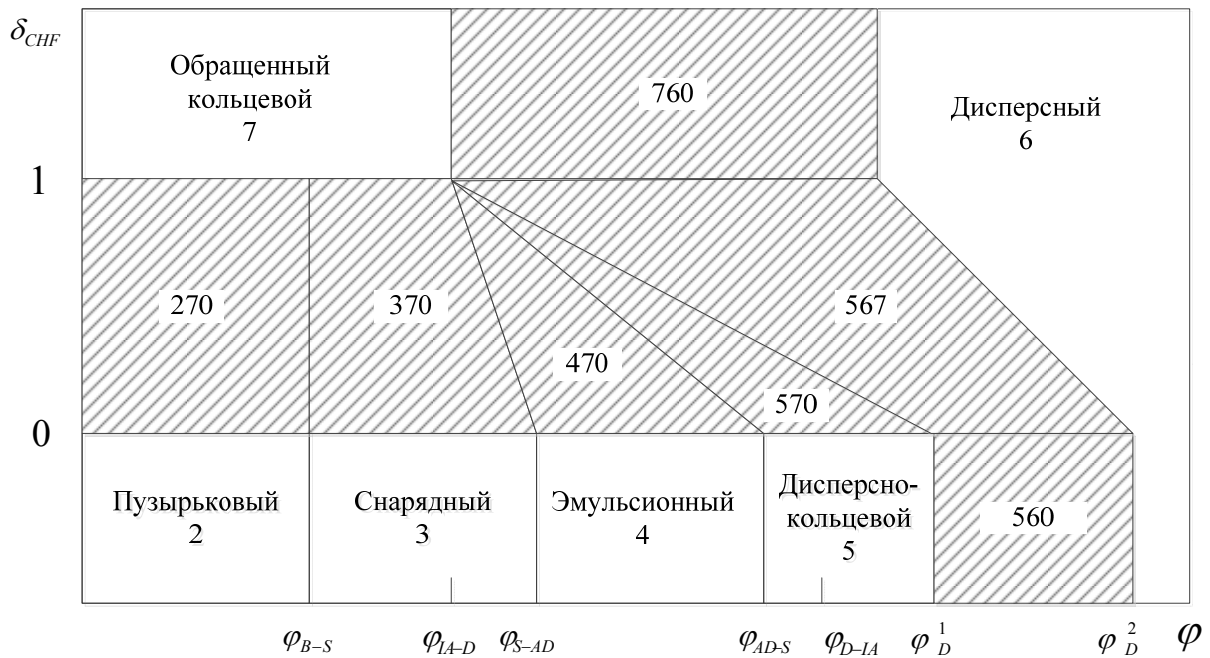


Рисунок 3.4 – Карта режимов течения в вертикальном канале

Карта режимов течения для вертикальных каналов представлена на Рисунок 3.4 в координатах (φ, δ_{CHF}) , где δ_{CHF} – критерий перехода к закризисным по теплообмену режимам течения

$$\delta_{\text{CHF}} = \frac{T_w - T_{cr}}{T_{\text{min}} - T_{cr}}, \quad (3.2)$$

где T_{cr} , T_{min} – температуры соответственно, критическая (соответствующая критическому тепловому потоку) и минимальная устойчивого плёночного кипения.

Карта режимов теплообмена со стенкой канала представлена на Рисунок 3.5 в координатах (φ, T_w) . Карты режимов течения и теплообмена согласованы между собой по граничным объёмным газосодержаниям.

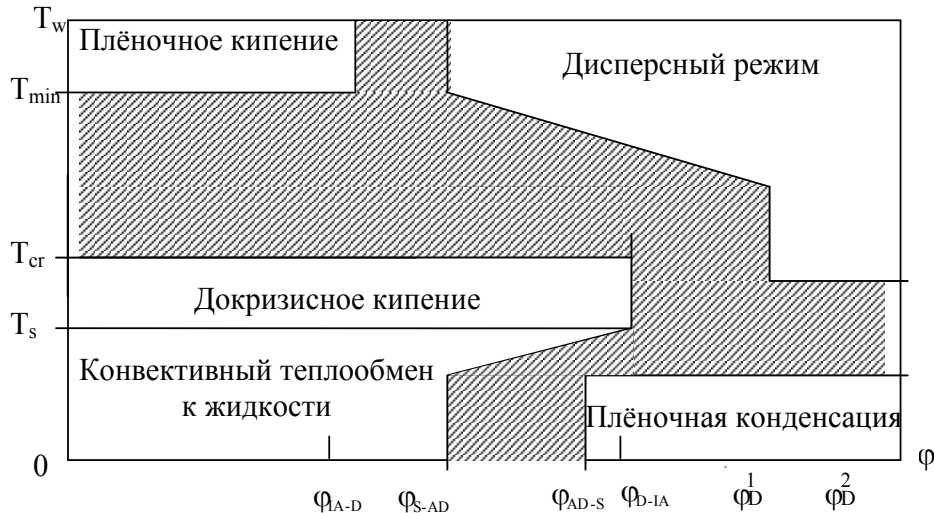


Рисунок 3.5 – Карта режимов теплообмена со стенкой

На Рисунок 3.3 – Рисунок 3.5 φ_{B-Sl} , φ_{Sl-B} , φ_{B-S} , φ_{S-AD} , φ_{AD-S} , φ_D^1 , φ_D^2 , φ_{IA-D} , φ_{D-IA} – граничные объёмные паросодержания, при которых происходит переход от одного режима к другому.

3.1.2.4 Глицериновый теплоноситель

В РК HYDRA для глицеринового теплоносителя реализован режим однофазной жидкости. Для расчета гидродинамики и теплообмена при течении глицерина используются те же замыкающие соотношения, что и для водяного теплоносителя в состоянии жидкости.

3.1.3 Уравнения состояния

В качестве составной части РК HYDRA разработана подпрограмма расчёта таблиц свойств воды и водяного пара и их производных на основе Международной системы уравнений IAPWS-IF97 [7]. Значения производных насчитываются по разностным формулам, то есть численным дифференцированием. Все необходимые свойства рассчитаны на квазиравномерной (для быстроты поиска положения) сетке по температуре и давлению и записаны в отдельный двоичный файл.

Расчёт конкретных свойств состоит в определении положения точки запроса в таблице и использовании простой билинейной интерполяции. Кроме эффективности расчёта свойств теплоносителя это упрощает замену теплоносителя (использование других таблиц), а также использование нескольких теплоносителей (например, в разных контурах).

В программе-генераторе таблиц можно учесть расширение диапазонов давлений и температур (приближение идеального газа при малых давлениях, закритическую область,

перегрев-недогрев). Также задание нужной частоты расчётных сеток регулирует компромисс «точность-время».

3.1.4 Граничные условия

Для учёта теплообмена со стенками канала, РЯ можно соединять с одной или несколькими ячейками элемента Теплопроводящая структура (HeatStruct), который будет описан ниже. Если расчётная ячейка канала не имеет подобных связей, условия течения считаются адиабатическими (Рисунок 3.6).

Соединение расчётных ячеек канала можно связать с элементом типа Насос (Pump). При этом в уравнении количества движения фаз для граничного соединения данной расчётной ячейки, в сторону которого направлен напор насоса, будет добавляться напор насоса, а в самой ячейке будет учитываться тепло, выделяемое при диссипации энергии насоса. Тепло диссипации распределяется по фазам пропорционально теплоёмкости фаз.

Граничное условие можно задавать с помощью элемента типа Гидравлическое граничное условие (BoundCell), предназначенного для изменения по известному закону давления, энтальпии и объёмных долей фаз, которые используются в качестве граничных условий для контурной теплогидравлики, или для задания расходных характеристик при втекании теплоносителя, или для задания условия тупикового объёма для входа или выхода канала.

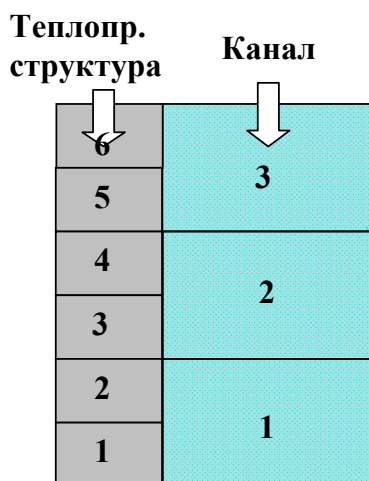


Рисунок 3.6 – Соединение расчётных ячеек канала с расчётными ячейками теплопроводящей структуры

Гидравлическое граничное условие (BoundCell) также можно использовать для решения "обратной" задачи - определения граничного давления при заданном суммарном расходе фаз и паросодержании. В этом случае можно оценить влияние входного сопротивления на давление.

Для задания источников – расхода и энтальпий фаз среды, подаваемой в или забираемой из РЯ канала, можно использовать элемент Источник массы (MassSource).

Кроме того, канал может быть связан с элементом Камера (Chamber), который будет описан ниже.

3.2 Теплопроводящая структура

3.2.1 Общие свойства и геометрия

Элемент Теплопроводящая структура предназначен для расчёта распределения поля температур в твёрдом теле с заданными граничными условиями по теплообмену на поверхностях тела и возможностью задания источников энерговыделения в объёме тела. С помощью теплопроводящих структур моделируются твэлы, стенки каналов, межканальные стенки.

Геометрия теплопроводящей структуры задаётся с помощью разбиения расчётной области на расчётные ячейки. Каждая ячейка определяется координатами расчётных узлов по оси X и Y в случае плоской геометрии и R и Z в случае цилиндрической геометрии. Значения температуры рассчитываются на гранях расчётных ячеек в полуцелых узлах по оси ординат (см. Рисунок 3.7).

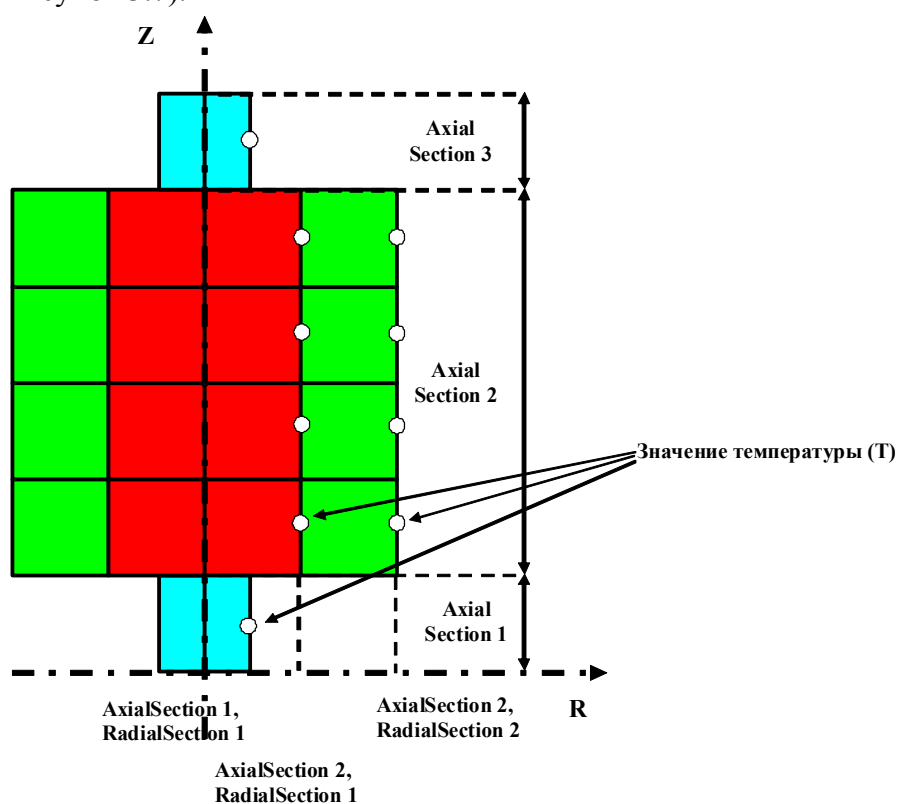


Рисунок 3.7 – Теплопроводящая структура

Перенос тепла в теплопроводящих структурах рассчитывается в одномерном или двумерном приближении по выбору пользователя. На границах могут быть заданы граничные условия 1, 2 или 3 рода.

В текущей версии РК возможно задание двух типов геометрии теплопроводящей структуры – цилиндрической (в осесимметричном приближении) и плоской. Теплопроводящая структура имеет две поверхности теплообмена. Для плоской геометрии обозначение поверхностей выбирается пользователем произвольно. При задании цилиндрической геометрии поверхность 1 соответствует внутренней поверхности, а поверхность 2 – наружной поверхности цилиндрической конструкции. Для сплошного цилиндра внутренняя поверхность вырождается в ось (см.

Рисунок 3.8).

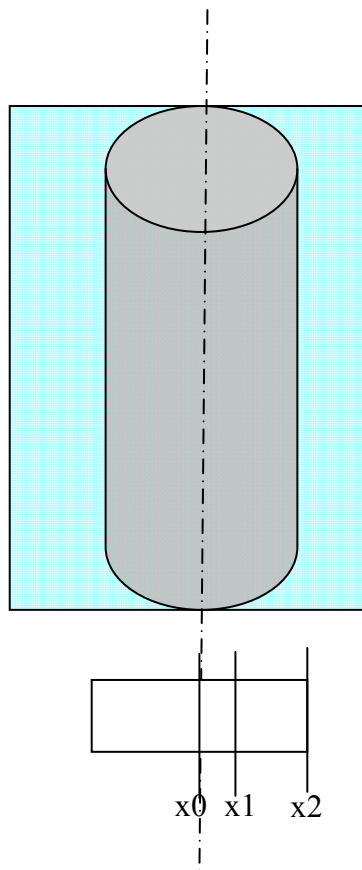


Рисунок 3.8 – Цилиндрическая геометрия теплопроводящей структуры

Если теплопроводящая структура моделирует стенки канала, то он должен быть разбит в продольном направлении таким образом, чтобы одной РЯ канала по каждой поверхности соответствовали одна или несколько расчётных ячеек теплопроводящей структуры. Разбиение, при котором одна поверхность расчётной ячейки ТС связывается более чем с одной РЯ канала, недопустимо.

Тепловыделение в теплопроводящих структурах может быть задано табличной зависимостью от времени или в формульном виде.

3.2.2 Кризис теплоотдачи

Критический тепловой поток с поверхности теплопроводящей структуры на границе с потоком теплоносителя определяется по методике, принятой в кодах RELAP5/MOD3 [6] и SATHARE. Эта методика основана на применении подхода Гроенвельда, суть которого заключается в использовании табличных данных по величине критического теплового потока в зависимости от трёх переменных: массового потока (G), давления (P) и балансового паросодержания (X). Эти таблицы обобщают большое количество экспериментальных данных, полученных в условиях течения воды в круглых трубах диаметром 8 мм. Значения критического теплового потока при промежуточных значениях независимых переменных (P , G , X) находятся путём линейной интерполяции. Таблица покрывает следующий диапазон параметров: давления $P = 0,1 - 20$ МПа, массовые скорости: $G = 0,0 - 7500$ кг/м²с, балансовые паросодержания: $X = -0,5 - 1,0$.

3.2.3 Граничные условия

Для задания условий теплообмена 1-го, 2-го или 3-го рода на поверхности теплового элемента используется тепловое граничное условие (HeatBound).

3.3 Камера

Элемент гидравлической сети Камера предназначен для расчёта параметров теплоносителя в объёме, имеющем более двух соединений с контуром. Соединение объёма камеры с контуром осуществляется с помощью каналов.

Уравнение количества движения для камеры не рассчитывается; скорости фаз теплоносителя в камере, необходимые для расчёта замыкающих соотношений, получаются усреднением скоростей фаз, рассчитываемых в связанных с камерой каналах и вырожденных каналах.

Вместе с тем камера является полноправной ячейкой как и ячейки канала и для камеры решаются уравнения сохранения масс и энергий фаз ровно так же как и для ячеек канала.

Уравнения импульса в соединениях канала, граничащих с камерой решаются точно так же как и во внутренних соединениях канала. Различия здесь только в определении характерной длины (длины трения), величина которой зависят от положения точки подсоединения канала к камере.

Перепада высот считается как разность высотных отметок середины прилегающей ячейки и середины камеры и этот перепад нужно принимать во внимание при проектировании контуров. Длина трения определяется как сумма половины длины прилегающей ячейки и длины от точки подсоединения до центра камеры.

Простейшая модель – точечной камеры, реализуется при задании точки подсоединения канала к середине камеры (режим умолчания при незаданной во вводе точки подсоединения). В этом случае нет вклада камеры в гидростатический перепад давления и в силу трения со стенкой.

В камере могут быть заданы источники:

- неконденсируемых газов;
- жидкой примеси;
- тепловыделения в теплоносителе;
- источник теплоносителя.

3.4 Насос

В программе предусмотрены четыре типа насосов:

- PressureHead – заданный перепад давления,
- MassFluxExternal – заданный поток массы;
- FourQuadrant – четырёхквadrантные характеристики.
- HeadRatePerformance – насос с напорно-расходной характеристикой (характеристика задаётся или таблично, или в виде квадратичной зависимости напора от расхода).

В случае задания насоса типа PressureHead пользователь должен определить дополнительный к перепаду давления в ячейке канала перепад давления, который будет добавлен в правую часть уравнений сохранения импульса. Дополнительный перепад давления может иметь положительное или отрицательное значение. Положительное – совпадает с положительным направлением канала.

В случае задания насоса типа MassFluxExternal пользователь должен определить навязанный массовый расход (q_m), через который определяется скорость (3.3):

$$v_{2,ph} = \frac{q_{m,2,ph}}{\rho_{2,ph} \cdot S} \quad (3.3)$$

Предполагается, что скорости жидкости и пара равны.

Навязанный расход может иметь положительное или отрицательное значение. Положительное – совпадает с положительным направлением канала.

В случае задания насоса типа HeadRatePerformance пользователь должен задать временную зависимость угловой скорости вращения (ω) от времени. Эта модель используется, если известна напорно-расходная характеристика насоса.

Для насоса типа HeadRatePerformance с квадратично заданной зависимостью напора от расхода (PerformanceType="Squared") объёмный расход (q_v , м³/с) определяется из решения уравнения (3.4):

$$K_t \frac{dq_v}{dt} = -\Delta P - K_Q |q_v| q_v + K_m \omega^2 \quad (3.4)$$

Коэффициенты K_t , K_Q , K_m , определяются по гидравлическим характеристикам насоса и должны быть заданы пользователем.

В случае задания насоса типа HeadRatePerformance с таблично заданной напорно-расходной характеристикой (Type="Table"), характеристика задается в "номинальных" координатах, при этом обязательным является задание номинальной частоты вращения насоса (OmegaNom).

Напорно-расходная характеристика преобразуется по следующему закону:

$$\begin{aligned} \Delta p &\rightarrow \omega^2 \cdot \Delta p_n \\ Q &\rightarrow \omega \cdot Q_n \end{aligned} \quad (3.5),$$

где $\omega = \omega_{\text{текущие}} / \omega_{\text{номинальные}}$ - частота вращения насоса относительно номинального значения частоты вращения. Т.к. в закон преобразования частота входит как относительная величина, то единица измерения частоты может быть выбрана любой (к примеру, в виде процентов от номинальной частоты, в этом случае OmegaNom="100.0").

Уравнение насоса в случае таблично заданной характеристики принимает следующий вид:

$$-\Delta p = K_t \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right) - \Delta p_\omega(q), \quad (3.6)$$

где Δp – вычисляемый перепад давления на насосе, $\Delta p_\omega(q)$ – табличная напорно-расходная характеристика, $K_t \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right)$ – член, который определяет инерционность насоса при изменении расхода.

Номинальные значения частоты вращения насоса должны быть заданы пользователем

- В случае использования насоса типа FourQuadrant – четырёхквadrантные
- характеристики моделируется изменение угловой скорости насоса.

Угловая скорость вращения определяется согласно теореме об изменении моментов количества движения, то (3.7)

$$J \frac{d\omega}{dt} = \sum Mom, \quad (3.7)$$

где J – момент инерции мотора. Правая часть выражения ($\sum Mom$) определяет сумму моментов внешних сил, действующих на систему. Она складывается из момента сил тяжести (который равен нулю, так как плечо сил равно нулю (они проходят через ось вращения колеса)), момента сил давления в расчётных сечениях (который также равен нулю по той же причине), момента сил трения, момента динамического воздействия рабочего колеса на протекающую через него жидкость и внутреннего момента насоса. Таким образом (3.8) (3.9):

$$\sum Mom = M_{TorqueMotor} - M_{TorqueFriction} - M_{TorquePump}. \quad (3.8)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{TorqueMotor} - M_{TorqueFriction} - M_{TorquePump}. \quad (3.9)$$

Величины J , $M_{TorqueMotor}$, $M_{TorqueFriction}$, входящие в уравнение (3.24), должны быть заданы в виде табличной функции или функциональной зависимости.

Задание четырёхквadrантных характеристик.

В случае задания четырёхквadrантных характеристик насоса (перепада давления и внутреннего момента насоса $M_{TorquePump}$) в уравнении (3.24) они задаются в виде табличных

зависимостей от $\frac{\omega}{q_v}$. Диапазон изменения аргумента $\frac{\omega}{q_v}$ – от минус бесконечности до плюс бесконечности. На каждую характеристику, задаваемую четырёхквadrантными характеристиками, должно быть задано по 4 однофазные таблицы плюс 4 деградационные (кавитационные, двухфазные) таблицы (Рисунок 3.9).

Характеристики насоса в относительных координатах имеют одинаковые значения при перекачке однофазной среды, независимо от того, вода это или пар, при этом рассчитываемый напор насоса соответствует давлению столба перекачиваемой среды. Двухфазность среды приводит к деградации относительных характеристик, которые для этого случая должны сниматься отдельно. Учёт влияния двухфазности на характеристики насоса производится введением корректирующих коэффициентов, зависящих от паросодержания α . Для дополнительного перепада давления (напора) насоса и внутреннего момента насоса (3.10), (3.11):

$$\frac{\Delta p}{a^2} = \frac{\Delta p_1}{a^2} - Kp(\alpha) \cdot \left(\frac{\Delta p_1}{a^2} - \frac{\Delta p_2}{a^2} \right); \quad (3.10)$$

$$\frac{M_{TorquePump}}{a^2} = \frac{M_{TorquePump1}}{a^2} - Km(\alpha) \cdot \left(\frac{M_{TorquePump1}}{a^2} - \frac{M_{TorquePump2}}{a^2} \right). \quad (3.11)$$

Здесь a обозначает отношения объёмного расхода q_v к угловой скорости вращения ω (или наоборот, в зависимости от того, на каком участке рассматриваются функции внутреннего момента насоса или дополнительного перепада давления), а индексы 1 и 2 относятся к однофазной и двухфазной характеристикам насоса, соответственно. Корректирующие коэффициенты Kp и Km принимают нулевое значение при $\alpha = 0$ и $\alpha = 1$ и равны единице в широком диапазоне промежуточных значений паросодержаний. Естественно, что если $Kp = Km = 0$ независимо от паросодержания, учёт влияния двухфазности исключается.

Таким образом, для полного определения двухфазных характеристик насоса необходимо задать:

- значения однофазной характеристики;
- значения разности однофазной и двухфазной характеристик (для перепада давления $-\Delta p_1 - \Delta p_2$ и для внутреннего момента насоса $M_{TorquePump1} - M_{TorquePump2}$);
- значения функций $Kp(\alpha)$ и $Km(\alpha)$.

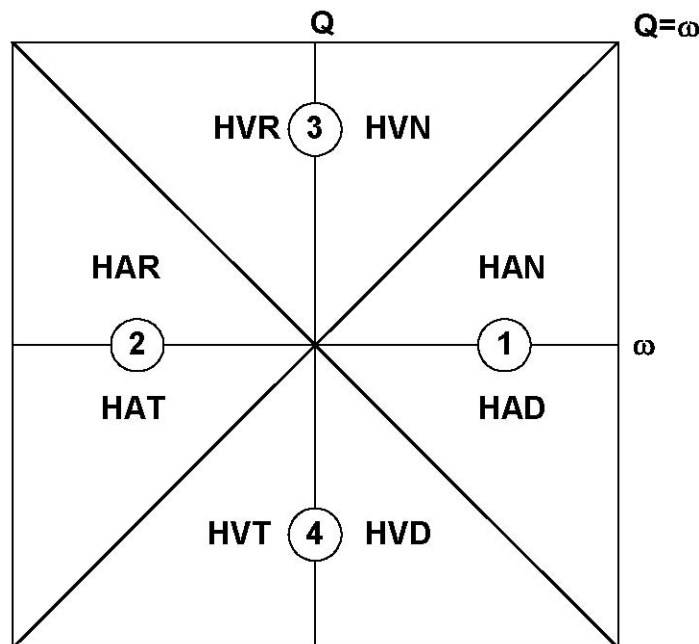


Рисунок 3.9 – Соответствие таблиц HYDRA и RELAP.
Таблицы HYDRA обозначены цифрами

Для всех типов насосов возможно задание выбега (останова) насоса. Для задания выбега необходимо задать условие начала выбега (останова) насоса и профиль постепенного останова насоса. В момент времени, соответствующий началу выбега насоса, запоминается значение управляющего параметра (для разных типов насосов – разное: массовый расход, перепад давления, угловая скорость, напор мотора). Профиль предполагается изменяемым от 1 до 0 и по времени начинается с времени начала останова. Если условие и профиль начала выбега не заданы, то останов считается мгновенным.

3.5 Клапан

Объект Клапан теплогидравлического кода HYDRA предназначен для учёта гидравлического сопротивления задвижек и клапанов. Может быть задан в объекте Канал. Клапан характеризуется прямым и обратным направлением: прямое направление соответствует положительному знаку скорости жидкой фазы теплоносителя, обратное – отрицательному. В текущей версии расчётного кода реализовано 3 модели клапанов:

- стандартный клапан – характеризуется относительными долями открытия клапана Q_S в прямом и обратном направлениях, задаваемых пользователем с помощью аппарата контрольных или табличных функций, или с помощью константных выражений.

Доля открытия клапана Q_S принимает значения от 0 до 1. Нулевое значение соответствует полностью закрытому клапану, 1 – полностью открытому клапану.

Клапан типа стандартный действует через коэффициент локального сопротивления в месте задания клапана. Коэффициент локального сопротивления ξ_s , соответствующий некоторому значению доли открытия клапана Q_s , рассчитывается следующим образом:

$$\xi_s = \xi_1 / (q_s)^2, \quad (3.12)$$

где $q_s = \max(Q_s, 1.E-15)$, ξ_1 – коэффициент сопротивления при полном открытии, определяемый в соответствующем блоке Местное сопротивление (LocalResistance). Локальное сопротивление должно быть задано в том же месте (положении относительно канала), что и клапан.

- обратный клапан – пропускает жидкую или газовую фазу только в одном направлении. Для такого клапана определяется перепад давления открытия ($DpOpen$), перепад давления закрытия ($DpClose$), время закрытия ($DtClose$), время открытия ($DtOpen$) и направление течения, в котором клапан открыт. При промежуточных перепадах давления проходное сечение клапана не меняется. Модели клапанов такого типа могут моделировать обратные клапаны, предохранительные клапаны и др.

Клапан открыт при $\Delta P \geq DpOpen$ и закрыт при $\Delta P \leq DpClose$, где $\Delta P = P_i - P_{i+1} - \rho \cdot g \cdot h$ (в случае, если клапан открыт в прямом направлении) и $\Delta P = P_{i+1} - P_i + \rho \cdot g \cdot h$ (в случае, если клапан открыт в обратном направлении), P_{i+1} – давление в $(i+1)$ -й расчётной ячейке канала (справа от клапана); P_i – давление в (i) -й расчётной ячейке канала (слева от клапана), h – перепад высот между $(i+1)$ -й и (i) -й расчётными ячейками. Замечание: при задании перепадов давлений необходимо, чтобы выполнялось следующее условие $DpClose \leq DpOpen$.

- управляемый клапан – клапан, управляемый внешними сигналами. Для клапана такого типа напрямую задается проходное сечение канала в месте клапана. Все параметры могут определяться с помощью констант, табличных или контрольных функций.

Для клапанов всех типов необходимо задавать значения локального сопротивления через тег LocalResistance в объекте канал или вырожденный канал в том же положении, относительно канала, что и клапан.

3.6 Теплоноситель

Теплоноситель в коде HYDRA может содержать две фазы (жидкую и газообразную), которые описываются в двухжидкостном приближении. Газообразная фаза может включать как пары теплоносителя, так и несколько (без формального ограничения числа с программной точки зрения) неконденсируемых газов. Жидкая фаза в общем случае может представлять собой смесь жидкой фазы теплоносителя с жидкой примесью (раствором).

Жидкая примесь может представлять собой раствор твёрдого вещества в жидкой фазе теплоносителя. Если концентрация такого вещества в жидкой фазе теплоносителя превышает равновесную, вещество осаждается на стенках каналов и уменьшает проходное сечение. При снижении концентрации ниже равновесной осажденное ранее вещество растворяется в жидкой фазе теплоносителя.

4 ФОРМАТ ВХОДНЫХ ФАЙЛОВ

Прежде чем переходить к описанию формата XML-файла кода HYDRA, кратко остановимся на основных понятиях и терминах, используемых в стандарте XML 1.0.

Рассмотрим пример XML-файла, показанный на Рисунок 4.1.

```
<?xml version="1.0" ?>
<Task Title="MyExample">
  <Main>....</Main>
  <!--Так в XML пишутся комментарии-->
  <Hydraulics>....</ Hydraulics >
</ Task >
```

Рисунок 4.1

Все XML-файлы состоят из XML-элементов, которые должны быть заключены в теги. Теги начинаются символом < и обязательно должны заканчиваться символом >. Теги должны быть именованы. В свою очередь теги содержат атрибуты. Атрибут – это пара «имя="значение"», позволяющие определить дополнительные данные для данного элемента. Значение заключается в двойные (или одинарные) кавычки.

Головная инструкция XML начинается с <? и заканчиваются символом ?> (смотреть Рисунок 4.2).

```
<?xml version="1.0" ?>
```

Рисунок 4.2

Текст XML-документа, исключая инструкции по обработке, следует заключить внутрь так называемого корневого элемента (в данном случае элемент Task). Элемент начинается с открывающегося тега <Task...> и заканчивается закрывающимся тегом </Task>. Элемент Task содержит атрибут с именем Title, который имеет значение: - произвольная строка, содержащая, как правило, краткое название целевого назначения входного файла Task содержит ещё два элемента: Main и Hydraulics. Элемент Main содержит параметры, управляющие расчетом и скважностью вывода информации. Элемент Hydraulics содержит описание всех остальных элементов ПК HYDRA. Для этого элемента можно задать атрибут PlotOrder, используемый для задания сортировки, которая будет использована при показе результатов в оболочке Smart-Client. Поддерживается два вида сортировки: по переменным (значение атрибута "Variables", т.е. корневым узлом каждой ветки дерева результатов является переменная (температура, давление и т.д.), а подузлами этой ветки - объекты (каналы, камеры и т.д.) и по объектам (значение атрибута "Objects", когда корневым узлом каждой ветки дерева результатов является объект (канал, камера и т.д.), а подузлами этой ветки – переменные (температура, давление и т.д.). Если атрибут PlotOrder не задан, будет использована сортировка по переменным. Кроме этого, может быть задан атрибут Version, указывающий версию интегрирующей оболочки, которая используется для проведения интегральных расчетов (с использованием нескольких модулей).

Комментарии, находящиеся в XML-документе начинаются с символа <!-- и заканчиваются символом -->.

Этих кратких сведений вполне достаточно, чтобы приступить к описанию входного файла РК HYDRA.

4.1 Структура файла исходных данных РК HYDRA

В соответствии со стандартом XML ввод учитывает регистр. Соответственно при разборе входного файла во всех служебных полях заглавные и строчные буквы различаются.

Как всякий XML файл, файл исходных данных кода HYDRA (по умолчанию Hydra.xml в рабочем каталоге) начинается идентифицирующим XML тегом (смотреть Рисунок 4.2).

Это инструкция по обработке XML-файла, которая объявляет использование версии 1.0 языка XML.

Далее на верхнем уровне иерархии расположен корневой элемент задачи "Task", начинающийся с открывающегося тега и заканчивающийся закрывающимся (смотреть Рисунок 4.3).

```
<Task Title="ТеплоHydr_Example">  
. . .  
</Task>
```

Рисунок 4.3

Task блок состоит из тегов-подблоков (порядок их в файле произволен, но в программе обработки он фиксирован) (смотреть Рисунок 4.4). Здесь и далее в руководстве «тег», «блок», «узел» – синонимы описания XML-элемента, заключенного между соответствующими открывающим и закрывающим тегами в терминах XML-синтаксиса)

```
<!-- 1. основные параметры задачи:  
шаг DT, частоты печати, сохранения и т.п. -->  
<Main >  
. . .  
</Main>  
(на любом уровне, но не внутри можно использовать блоки-комментарии <!-- . . . -->  
<!--2. Блок для описание элементов РК, в котором будет находиться описание  
каналов, тепловых структур, теплоносителя и т.д.-->  
<Hydraulics >  
. . .  
</ Hydraulics >  
<!-- 2.1 Теплоноситель и его параметры-->  
<Coolant Pressure="1.e5" Tfluid="638."  
Tgas="SAT" Void="0.0"/>  
  
<!-- 2.2 Список и свойства материалов -->  
<MatProp>  
. . .  
</MatProp>  
  
<!-- 2.3 Список и свойства газов NCG -->  
<NCG>  
. . .  
</NCG>
```

Аналогично вводятся блоки основных элементов теплогидравлической сети:
<Chamber>. . . </ Chamber>
<Channel>. . . </Channel>
<HeatStruct>. . . </HeatStruct>
и т.д. и т.п.

Рисунок 4.4

Возможен и ввод списка более сложных элементов, в свою очередь состоящих из каналов, теплопроводящих структур и т.п. Пример – ввод ТВС, активная зона.

```
<FuelAssembly>. . . </FuelAssembly>  
<Core>. . . </Core>
```

Отметим, что вовсе не обязательно вводить все однотипные элементы (например, каналы) сразу все и друг за другом, иногда более удобен ввод по частям, например:

```
<HeatStruct>. . . </HeatStruct>    теплопроводящая структура  
<MatProp>. . . </ MatProp>        свойства материалов в ней
```

Такой порядок удобен и для группировки элементов, например, по петлям сети.

Подробное описание ввода каждого элемента будет приведено ниже.

Часто при написании файла ввода входных данных удобно использовать одни и те же константы или константные выражения в различных объектах: например, геометрические размеры твэла, через которые рассчитываются площадь поперечного сечения канала и площадь поверхности теплопроводящей структуры, и т.д. Эти выражения полезно задавать один раз и использовать во всех необходимых местах файла ввода входных данных в виде идентификатора, а не числового выражения или значения, что избавит от ошибок несогласованности при модификациях и, кроме того, такая параметризация предоставляет возможность использования библиотек объектов из внешних файлов (в текущей версии не реализовано).

Набор констант и константных выражений задается в последовательности тегов верхнего уровня с двумя обязательными атрибутами – Name и Value, например:

```
<Constant Name="Qext" Value="5.e5" /> тепловклад  
<Constant Name="Rhole" Value="6e-4" /> внутр. радиус таблетки
```

Отметим, что при задании очередной константы можно использовать формульное представление и выше определенные константы.

Подробное описание Constant представлено далее в разделе «Использование констант» 4.8.3.

4.2 Инструкция Duplication

Ещё один полезный сервис – использование инструкции Duplication во входном файле, которая позволяет включить в основной входной файл информацию из отдельных внешних файлов (далее – include-файлов). Это даёт возможность располагать некоторые куски ввода (например, источники, граничные условия или целые объекты) в отдельных файлах. Для того, чтобы включить содержимое include-файла, пользователю необходимо с новой строки задать следующий тег:

```
<Duplication Name = "Комментарий" FileName = "Имя файла" />
```

Значение атрибута «Имя файла» определяет имя и путь к include-файлу относительно основного входного файла для кода HYDRA. Если Include-файл расположен в одной директории с основным файлом кода HYDRA, достаточно задать только имя файла.

Значение необязательного атрибута «Name» является уникальным именем текущей инструкции Duplication. Оно может использоваться для разделения обращений к одному и тому же Include-файлу с разными параметрами, а так же в качестве поля комментария для данных вставок.

По инструкции Duplication содержимое include-файла с именем «Имя файла» помещается в исходный файл в место расположения инструкции.

Разработанный механизм использования констант можно использовать и в инструкциях Duplicate, например:

```
<Constant Name="NNN" Value="3" />  
<Duplication Name = "inc" FileName = "inc.xml" Count="NNN">
```

В силу рекурсий (препроцессорного текстового формирования входного файла и возможности однократного прохода) производится прямая замена буквенной константы на ее числовое значение, потому в настоящее время наложены следующие ограничения при использовании констант (см. пример выше) :

- константы можно использовать только в атрибутах Count
- константа должна быть определена в инструкции “<Constant” до ее использования
- в качестве Value инструкции “<Constant” можно использовать только целое число, нельзя использовать выражения.

Ограничения при использовании include-файлов.

- 1) Хотя вставка делается механически, как текст, без всяких преобразований и контроля, рекомендуется вставлять «правильный» XML фрагмент, например, целиком узел. Это даёт возможность в XML редакторах прятать подузлы, пользоваться возможностями контроля и прочими удобными сервисами, что значительно помогает при поиске ошибок.
- 2) Duplication-вставка, как и основной XML файл должна набираться в кодировке utf-8 (или с помощью стандартных редакторов перекодирована). Это дает возможность например использовать в вставках русские комментарии.
- 3) В имени include-файла можно использовать только английские буквы. Путь к файлу можно задать в виде относительного или абсолютного пути. Внутри кавычек вместо “\” нужно использовать “\\”. Файл должен присутствовать по этому пути. В названиях каталогов и файлов можно использовать пробелы, кроме начала и конца.
- 4) Уровень вложения инструкций не ограничен, то есть вкладываемый файл в свою очередь может содержать вложения и так далее.
- 5) Вставка работает в любом месте, где с начала строки встретилась инструкция, в том числе и внутри комментариев. Правильность сформированного файла будет проверена при стандартной обработке ввода.
- 6) Предполагается стандартное ограничение числа символов строк входного файла – 1024.

Использование этой формы Duplication приведено в QA в тесте CheckInput.

Вместе с прямым использованием инструкции Duplication также разработана и внедрена дополнительная форма инструкции. Ее назначение - "размножение" вставляемого блока с возможностью модификации имен и числовых параметров. Это полезно, когда блоки входного файла многократно повторяются с небольшими модификациями, как, например, трубки парогенератора. Для использования новых возможностей в инструкцию введены дополнительные параметры и подузлы.

В инструкции Duplication добавлен необязательный параметр Count с умолчанием в случае отсутствия Count="1".

Для модификации имен (сохранения их уникальности) добавляются подузлы Replace с обязательным строковым полем Mask и с необязательными целыми полями Start и Step с умолчаниями, по 1. Mask определяет уникальное имя, которые при "размножении" вставляемого блока будет последовательно заменяться на Start, Start+Step, и т.д.

Для модификации при вставке значений некоторых параметров в подузле Replace также указывается Mask и в поле NumArray="имя1, имя2, имяCount" через запятую перечисляются заменяемые имена вместо Mask. Это могут быть и числа, и константные выражения, т.е. все что разрешено в основном инпут-файле.

Замечание.

При рекурсивном (вложенном) использовании Duplicate нужно помнить, что если используются замены, то их нужно вставлять и на более глубоких уровнях, например:

Основной файл:

```
<Duplication Name = "inc " FileName = "inc.xml" Count="3">
  <Replace Mask="$k$" Start="2"/>
</Duplication>
```

Файл первого уровня (здесь "inc.xml"):

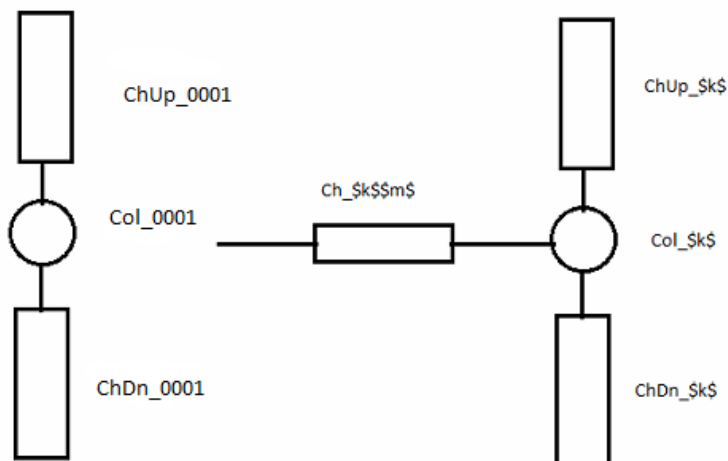
```
<Duplication Name = "inc-inc" FileName = "inc-inc.xml" Count="2">
  <Replace Mask="$i$" Start="2"/>
</Duplication>
```

Файл второго уровня вложения (здесь "inc-inc.xml"):

```
<BoundCell Name="i_$i$_$k$" Type="Pressure" Void="0.1"/>
```

Обращаем внимание что он содержит замены обеих уровней вложения (здесь "i_\$i\$_\$k\$")

Ниже приведено описание примера использования такой Duplication в тесте из QA с именем Include..



Необходимо блок справа повторить 3 раза, т.е. сделать 3 копии блока с изменением \$k\$=2,3,4 и \$m\$=1,2,3. Кроме этого, длины каналов ChUp_\$k\$ требуется в каждой копии задать разными - \$s\$ = 1.7,1.8,1.9.

Левый блок (каналы ChUp_0001,ChDn_0001, камера Col_0001) задается в основном файле (Test_include.xml)

Вставляемый файл inc.xml содержит один экземпляр блока:

```
<NodalizationScheme>
  <Connection NameFrom="ChDn_$k$" TypeFrom="Channel" InOut="In"
```

```

    NameTo="Plug" TypeTo="BoundCell"/>
    <Connection NameFrom="ChDn_$$k$" TypeFrom="Channel" InOut="Out"
    NameTo="Col_$$k$" TypeTo="Chamber"/>
    <Connection NameFrom="ChUp_$$k$" TypeFrom="Channel" InOut="In"
    NameTo="Col_$$k$" TypeTo="Chamber"/>
    <Connection NameFrom="ChUp_$$k$" TypeFrom="Channel" InOut="Out"
    NameTo="BVOL1" TypeTo="BoundCell"/>
    <Connection NameFrom="Ch_$$k$$m$" TypeFrom="Channel" InOut="Out"
    NameTo="Col_$$k$" TypeTo="Chamber"/>
    <Connection NameFrom="Ch_$$k$$m$" TypeFrom="Channel" InOut="In"
    NameTo="Col_$$m$" TypeTo="Chamber"/>
</NodalizationScheme>

<ControlFunc Name="rasxod_$$k$" OutFile="rasxod_$$k$.dat" Func="0."
Formula="ro">
    <Arg ShortName="ro" LongName="Channel(ChUp_$$k$).MassFlux(1:5)"/>
</ControlFunc>

<Chamber Name="Col_$$k$" TypeCrossSection="Circle"
    Orientation="Horizontal" >
    <Section Length=".5" Deqv="4.2e-2" Area="pi*2.1e-2*2.1e-2">
    </Section>
</Chamber>

<Channel Name="ChUp_$$k$" >
    <Section CellNumber="18" Length="%%s%" Perimeter="0.0280537"
Area="2.1555767478e-05"
    TypeCrossSection="Circle" Dh="1.7"
    />
</Channel>
<Channel Name="ChDn_$$k$" CopyOf="ChUp_$$k$" >
    <Section CellNumber="18" />
</Channel>
<Channel Name="Ch_$$k$$m$" CopyOf="ChUp_$$k$" >
    <Section CellNumber="18" />
</Channel>

```

В основном файле (Test_include.xml) include-блок задается в этом случае так:

```

<Duplication Name="inc" FileName="inc.xml" Count="3">
    <Replace Mask="$$k$" Start="2"/>
    <Replace Mask="$$m$" Start="1"/>
    <Replace Mask="$$s$" NumArray="1.7,1.8,1.9"/>
</Duplication>

```

В Duplication-блоке задается имя файла-блока (Name = "inc"), файл с текстом вставок (FileName = "inc.xml"), количество копий (Count="3"). Каждая строка Replace задает заменяемый образ (Mask="\$\$k\$") и начальное значение замены (Start="2"). Для замены чисел задаются заменяемый образ (Mask="\$\$s\$") и массив чисел -

NumArray="1.7,1.8,1.9" разделенных запятыми и по количеству - Count.

В каждой следующей копии значение замены увеличивается на Step (умолчание = 1).

Замечание.

Duplication-блок имеет формат "похожий" на xml, но на самом деле имеет более строгий фиксированный формат - строки `<Duplication, <Replace, </Duplication>` должны быть на разных строках файла, как в примере, хотя поля (`Name, FileName, Count, Mask, Start, Step, ...`) могут задаваться в произвольном порядке. Xml формат нельзя использовать, т.к. ведется построчная препроцессорная обработка файла для вставки в нужном месте, но выбран формат "похожий" на xml, чтоб Duplication-блок не портил формат основного файла.

4.3 Общие особенности ввода элементов

Следующим уровнем блока Task будет уровень поэлементного ввода всех элементов ТГС. На Рисунок 4.5 показан пример на базе элемента Chamber.

```
<Chamber Name="Chamber1" . . . > . . . </Chamber>
```

Рисунок 4.5

Каждый элемент ТГС должен иметь имя (которое задаётся в виде значения обязательного атрибута Name).

Общие данные для всех подузлов вводятся в атрибутах (в примере для узла-объекта Coolant – это атрибуты Pressure, Tfluid, Tgas, Void, как показано на Рисунок 4.6).

```
<Coolant Pressure="12.5e6" Tfluid="293.15" Tgas="293.15" Void="1.0">  
</Coolant>
```

Рисунок 4.6

4.3.1.1 Константные формулы

Константные формулы – это формулы, которые содержат только численные константы, функции от них, описанные в разделе 4.8.3.5, операции с ними, описанные в разделе 4.8.3.6, и константы, описанные в разделе 4.8.3.8.

Например, площадь проходного сечения удобно задавать в формульном виде, используя диаметр (в примере ниже диаметр $d = 0,001$ м):

$$\text{Area} = \text{“}\pi * 0.001^2 / 4\text{”}$$

Во всех случаях, когда требуется ввод константы можно использовать константные формулы. В константных формулах можно использовать константные идентификаторы, определенные в тегах `<Constant>`.

4.3.1.2 Формулы

Для задания ряда переменных (в текущей версии РК – при задании Гидравлического и Теплового граничных условий, а также Источника массы и энерговыделения в Теплопроводящей структуре) можно использовать формулы. Их отличие от константных формул в том, что в качестве аргументов можно использовать рассчитываемые в задаче величины. Список аргументов формул приведён в разделе 5.

Для величин, которые допускают задание в формульном виде, пользовательский ввод состоит из пары:

1. $\text{TypeX} = \text{“CF”}$, где X – имя переменной;

2. $X = \text{"NameCF"}$, где NameCF – имя функции, описанной в разделе контрольных функций (см. п. 4.8.3).

4.3.1.3 Табличные функции

Для задания ряда переменных (в текущей версии РК – при задании Гидравлического и Теплового граничных условий, а также Источника массы и Энерговыделения в теплопроводящей структуре) можно использовать табличные функции со временем в качестве аргумента.

Для величин, которые допускают задание в табличном виде, пользовательский ввод состоит из пары:

1. $\text{TypeX} = \text{"TF"}$, где X – имя переменной;
2. $X = \text{"NameTF"}$, где NameTF – имя функции, описанной в разделе табличных функций (см. п. 4.8.4).

4.3.1.4 Задание граничных условий и источников, зависящих от времени

При использовании контрольных функций (ControlFunc), табличных функций (Table) или констант (Const) в качестве граничных условий или источников везде, кроме вывода в файл, процедура задания однотипна и заключается во вводе двух атрибутов и их значений: $\text{Type}\langle\text{имя аргумента}\rangle = \text{"CF/TF/Const"}$ и $\langle\text{имя аргумента}\rangle = \langle\text{имя контрольной или табличной функции или значение константы}\rangle$.

Например, если в качестве граничного условия пользователь хочет задать массовый расход жидкой фазы, определяемый контрольной функцией с именем Mz1, то ввод будет иметь вид, показанный на Рисунок 4.7.

```
<BoundCell Name="BoundZ1" Type="MassFlux" Pressure="2.3e5" Void="0."  
  TypeMassFluxFluid="CF" MassFluxFluid="Mz1"  
  MassFluxGas="0.0" />
```

Рисунок 4.7 – Задание массового расхода жидкой фазы с помощью контрольной функции Mz1

Отметим, что если имя не используется одновременно и для контрольной функции и для табличной функции, то тип (CF/TF/Const) можно не указывать, поскольку он однозначно определяется именем, и программа обработает ввод автоматически.

На Рисунке 4.8 приведён пример задания массового расхода жидкой фазы с помощью константной формулы. Для данного примера задание атрибута $\text{Type}\langle\text{имя аргумента}\rangle$ можно опустить, оно будет определено по умолчанию и присвоено равным Const.

```
<BoundCell Name="BoundZ1" Type="MassFlux" Pressure="2.3e5" Void="0."  
  MassFluxFluid="1.e7*pi/264"  
  MassFluxGas="0.0" />
```

Рисунок 4.8 – Задание массового расхода жидкой фазы с помощью константной формулы

4.4 Структура входного файла

Входной файл состоит из двух логических частей: из блока Main и блока Hydraulics, которые должны находиться внутри корневого элемента Task. На Рисунок 4.9 приведен пример входного файла.

В блоке Main располагаются параметры, управляющие расчетом, комментарии к задаче, временные параметры задачи и список переменных, значения которых могут быть показаны в оболочке Smart-Client. Остальные управляющие параметры (PhysicalModels, ControlParams) и объекты ПК HYDRA должны находится внутри тега Hydraulics. Тэг Hydraulics содержит атрибут PlotOrder для задания сортировки вывода результатов в оболочке Smart-Client, а также атрибут Version, в котором указывается версия расчетного модуля.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<Task Title="ISPRA_9KW" Version="3.1">
<Main>
....
</Main>
<Hydraulics >
....
</Hydraulics>
</Task>
```

Рисунок 4.9 – Структура входного файла

4.5 Список объектов ввода ПК HYDRA

При разработке кода HYDRA используется объектно-ориентированный иерархический подход. Это относится не только к программной реализации расчётного кода, но и к заданию информации во входном файле. Объекты теплогидравлического расчётного кода можно разбить на 3 группы:

- модельные объекты;
- инженерные объекты;
- сервисные объекты.

Программа расчета теплогидравлических процессов в РУ предполагает разбиение моделируемой области на сеточные элементы – каналы, камеры и другие. За каждым из этих элементов стоит определённая физико-математическая модель: например, в канале решается одномерная система уравнений теплогидравлики с определёнными моделями межфазных взаимодействий и взаимодействия фаз со стенками каналов, зависящих от режима течения.

Полный список модельных объектов ПК HYDRA приведён в Таблица 4.1. Для них предусмотрен ввод информации во входном файле (необязательные блоки могут отсутствовать).

Вводимые данные почти для всех модельных объектов являются подузлами верхнего уровня <Hydraulics>. Среди исключений, например, модельный объект <LocalResistance>, ввод которого локализован внутри объекта <Channel>.

Таблица 4.1 – Список модельных объектов ввода ПК HYDRA

Имя блока	Описание блока
Channel	Канал.
Chamber	Камера.
MassSource	Заданный источник массы.
HeatStruct	Теплопроводящая структура.
ChannelHeatSource	Энерговыведение в объёме теплоносителя.
Pump	Насос.

Имя блока	Описание блока
Radiation	Теплообмен излучением.
LocalResistance	Локальное сопротивление в соединениях канала.

Инженерные объекты являются следующим, обобщающим уровнем иерархии после модельных объектов, и обладают следующими характеристиками:

- состоят из набора модельных объектов;
- ввод для этих объектов не повторяет полный ввод нодализационной схемы и её составляющих, а включает небольшое число основных параметров, на основании которых автоматически формируется состав необходимых модельных объектов и их взаимосвязей (таких объектов могут быть тысячи и более, и модельный ввод их становится практически нереальным или состоит из множества повторений).

Таким образом, инженерный ввод – следующий шаг по направлению к реальным объектам. Модельные объекты можно рассматривать как некий базовый набор, а инженерный – набор более сложных элементов, состоящих из базовых.

Полный список инженерных объектов РК HYDRA приведён в Таблица 4.2. Для них предусмотрен ввод информации во входном файле (необязательные блоки могут отсутствовать).

Таблица 4.2 – Список инженерных объектов ввода РК HYDRA

Имя блока	Описание блока
FuelAssembly	Тепловыделяющая сборка.
Core	Активная зона.

Кроме модельных и инженерных, во вводе могут быть заданы сервисные объекты. Они выполняют вспомогательную роль:

- отвечают за свойства теплоносителей и материалов (твердых и газообразных);
- отвечают за вывод информации в файлы в удобном для пользователя виде;
- позволяют моделировать автоматизированные системы контроля и управления.
- позволяют задавать граничные условия (одни и те же граничные условия могут использоваться для нескольких модельных объектов).

Список сервисных объектов РК HYDRA приведён в Таблица 4.3.

Таблица 4.3 – Список сервисных объектов ввода РК HYDRA

Имя блока	Описание блока
Coolant	Теплоноситель.
MatProp	Свойства материалов.
ControlFunc	Контрольные функции.
Table	Табличные функции.
Loop	Петля.
BoundCell	Гидравлическое граничное условие.
HeatBound	Тепловое граничное условие.

4.6 Ввод связей

Для задания связей элементов теплогидравлической сети используется блок NodalizationScheme, который, в свою очередь, состоит из подтегов Connection, определяющих связь двух объектов.

Два объекта участвуют в связи несимметрично. Объекты “From” вместе с заданным набором дополнительных атрибутов не могут повторяться – либо сам объект, либо атрибуты должны различаться в разных связях (Connection). Примерами этого являются концы каналов, границы (внешняя, внутренняя, верхняя, нижняя) теплопроводящих структур и другие. Объекты “To” в связях можно использовать неоднократно, как, например, граничные условия (одно и то же граничное условие можно использовать в разных каналах) и т.п.

Таким образом, объект “From” – активный, он использует данные или модифицирует в объекте “To”. На основании вышесказанного, полное, подробное описание связи в настоящем документе будет сделано лишь при описании объекта “From”, при описании объекта “To”, связь будет просто перечислена в таблице связей со ссылкой на подробное описание к объекту “From”.

Обязательные атрибуты тега Connection описаны в Таблица 4.4.

Таблица 4.4 – Обязательные атрибуты тега Connection

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeFrom	CHAR	Тип первого из связуемых объектов Один из элементов ТГС РК HYDRA, описанных в данном руководстве. Обязательный атрибут.	См. следующие разделы «Разрешенные связи элемента» руководства пользователя	_____
NameFrom	CHAR	Имя первого объекта Обязательный атрибут.	Любое имя из заданных значений атрибута Name соответствующих объектов	_____
TypeTo	CHAR	Тип второго из связуемых объектов Один из элементов ТГС РК HYDRA, описанных в данном руководстве. Обязательный атрибут.	См. следующие разделы «Разрешенные связи элемента» руководства пользователя	_____
NameTo	CHAR	Имя второго объекта Обязательный атрибут.	Любое имя из заданных значений атрибута Name соответствующих объектов	_____

В зависимости от типа связуемых объектов, тег Connection может включать в себя дополнительные атрибуты, которые будут описаны ниже для каждого конкретного случая.

4.7 Описание задания параметров, управляющих расчётом

4.7.1 Main – Задание управляющих параметров для расчёта

Для задания параметров, управляющих расчетом, во входном файле должен присутствовать блок Main. В нем задаются параметры счета, имя модуля (в данном случае HYDRA), управление необязательными диагностиками, а также текстовое описание задачи. Атрибуты тега Main представлены в Таблица 4.5.

Таблица 4.5 – Атрибуты тега Main

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
PlotFileName	CHAR	Имя двоичного файла. Необязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	"Имя входного файла".plt
RestartFileName	CHAR	Имя рестарт-файла. Необязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	"Имя входного файла".rst
Events	CHAR	Включение диагностики пересчета шага (Fallback) и/или дробления расчетного шага по времени	1 – диагностика Fallback 2 – диагностика дробления шага 1,2 – обе диагностики. Остальные значения (например 0) – отсутствие диагностики	Отключение диагностики: «0»

Примеры атрибута Events:

- 1) Events = "1 – диагностика Fallback, т.е. пересчета шага с уменьшением расчетного шага по времени (при превышении изменения за шаг максимальных предопределенных величин изменения скорости, давления или энтальпии):
- 2) Events = "2" – диагностика дробления шага, т.е. уменьшения следующего (без пересчета текущего) расчетного шага по времени (при превышении изменения за шаг минимальных предопределенных величин изменения скорости, давления или энтальпии):
- 3) Events = "1,2" – обе диагностики пп.1 и 2.

Внутри тег должен содержать подтеги Description, ModuleList, TimeTable и PlotList, которые должны располагаться в порядке, описанном выше. Описание подтегов представлено в Таблица 4.6.

Таблица 4.6 – Описание подтегов тега Main

Имя подтега	Описание подтега
Description	Текстовое описание задачи (комментарий).
ModuleList	Содержит имя модуля HYDRA.
TimeTable	Содержит временные параметры задачи и таблицы скважностей вывода.
PlotList	Содержит список plot-переменных.

Внутри тега ModuleList должен содержать следующее:

```
<ModuleList>
  <Module Name="Hydra"/>
</ModuleList>
```

Рисунок 4.10 – Обязательное содержание для тега ModuleList

4.7.1.1 Блок тега TimeTable

В блоке тега TimeTable задаются параметры, управляющие расчётом – частота записи информации в выходной файл, время расчёта, шаг записи рестарт-файла и т.д. Два атрибута введены для контроля - это формирование и запись в рабочий каталог файла "xml_with_includes.xml" в результате вставок по инструкциям "Duplication" и аналогичная запись файла "BaseZ.txt" с базовыми высотными отметками объектов для контроля замкнутых контуров. Подробное описание атрибутов помещено в Таблица 4.7.

В процессе расчёта код HYDRA с шагом DtRestart, заданным пользователем, записывает информацию в рестарт-файл (файл сохранения состояния задачи). В результате в диагностическом файле кода генерируется сообщение «Restart written: NSTEP = 1120 Time = 1.000160e+01», «Restart written: NSTEP = 90303 Time = 2.100008e+02» и т.д. Пользователь с любого момента времени Time или NSTEP, в который была записана информация, может возобновить расчёт, используя параметры RestartNSTEP или RestartTime (одновременное задание обоих параметров запрещено), описанные в Таблица 4.7.

Таблица 4.7 – Атрибуты тега TimeTable

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
RestartNstep	INT	Номер записи, соответствующий шагу Nstep расчёта, записанному в диагностический файл. Если RestartNstep >= Nstep, записанному в файл сохранения состояний задачи, то будет взят Nstep <= RestartNstep. Если RestartNstep <= 0 (умолчание, сделано для многократных расчетов коротких задач) – расчёт задачи начинается с исходного состояния. Если задано число, большее последней записи Nstep в файл сохранения состояния задачи, то расчет продолжается с последней записи. Может быть задан только один из атрибутов RestartNstep или RestartTime. Необязательный атрибут.	[-1.E7, 1.E7]	0
RestartTime	REAL	Аналогично RestartNstep, только определяет запись, соответствующую, времени Time, а не шагу Nstep, с Может быть задан только один из атрибутов RestartNstep или RestartTime. Необязательный атрибут.	[-1e15, 1.e15]	0

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
StartTime	REAL	Время начала расчёта задачи, с Обязательный атрибут.	[-1.e35, 1.e35]	_____
EndTime	REAL	Конечное время расчёта задачи, с Обязательный атрибут.	[-1.e35, 1.e35]	_____
DtStart	REAL	Начальный шаг по времени, с. По умолчанию в 10 раз меньше значения параметра DtMax из первого тега TimeControl. Необязательный атрибут.	[1.E-10, 1.e35]	0.1*DtMax
BaseZ	CHAR	Запись в рабочий каталог файла "BaseZ.txt" с базовыми высотными отметками объектов для контроля замкнутых контуров. Необязательный атрибут.	Yes / No	No
Includes	CHAR	Формирование и запись в рабочий каталог файла "xml_with_includes.xml" в результате вставок по инструкциям "Duplication" Необязательный атрибут.	Yes / No	No

4.7.1.2 Тег TimeControl

Некоторые параметры могут меняться в зависимости от времени расчёта и задаются в табличном виде в тегах TimeControl, которые, в свою очередь, входят в тег TimeTable. Каждый тег TimeControl содержит атрибуты, перечисленные в Таблица 4.8, а также атрибуты, перечисленные в Таблица 4.9 (кроме атрибута dKtimer).

Сквозности вывода в файлы DtOutput, DtCF, DtRestart, DtPlot на каждом интервале от Start данного интервала до Start следующего определяют времена вывода, кратные соответствующему Dt, например, если на интервале от Start = 15.5 с до Start = 39 с задан DtCF = 10 с, то выводы будут на времена 20 с и 30 с, а не на времена 15.5, 25.5, 35,5 с.

Таблица 4.8 – Атрибуты тега TimeControl (см. также Таблица 4.9)

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Start	REAL	Время расчёта, до которого действуют остальные атрибуты блока TimeControl, с Обязательный атрибут.	[-1.e35, 1.e35]	_____
DtOutput	REAL	Интервал вывода в файл результатов расчёта, с Если задан равным 0, то вывод будет производиться каждый шаг. Если задан меньше 0, то вывод будет отключен. Обязательный атрибут.	[0.0, 1.E35], [-1.E35,0.0] – если вывод нужно отключить	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
DtCF	REAL	Интервал вывода в текстовые выходные файлы, заданные через контрольные функции (имена файлов задаются атрибутом OutFile, смотреть Таблица 4.23). Если задан равным 0, то выдается каждый шаг. Если задан меньше 0, то вывод будет отключен. Необязательный атрибут.	[0.0, 1.E35], [-1.E35,0.0] – если вывод нужно отключить	DtOutput
DtMax	REAL	Максимальный шаг интегрирования по времени, с. Задаёт ограничение сверху для алгоритма автоматического выбора шага интегрирования. Обязательный атрибут.	[10 ⁻⁷ ; 1.e+6]	_____
DtMin	REAL	Минимальный шаг интегрирования по времени, с. Задаёт ограничение снизу для алгоритма автоматического выбора шага интегрирования. Необязательный атрибут.	[10 ⁻¹⁰ ; DtMax]	10 ⁻⁵
DtRestart	REAL	Интервал вывода в рестарт-файл, с. Если DtRestart =0 (умолчание), вывод в рестарт-файл отключается. Необязательный атрибут.	[0.0, 1.e35]	0.0
DtPlot	REAL	Интервал вывода в plot-файл, с. Если DtPlot =0, вывод в plot-файл происходит на каждом шаге по времени. По умолчанию DtPlot = -1 – вывод в plot-файл не производится. Необязательный атрибут.	[0.0, 1.e35] [-1.E35,0.0) – если вывод нужно отключить	-1.0

4.7.1.3 Запись элемента в XML- формате

В блоке тега PlotList задаются переменные, значения которых будут записываться в выходной plot-файл. Этот тег используется при интегральных расчетах. Для автономной версии этот тэг пустой, что означает, что в выходной файл будут записаны все переменные, которые может вывести РК.

Пример ввода блока Main показан на Рисунок 4.11. На Рисунок 4.12 показан пример ввода блока TimeTable для вычислений с заданного шага рестарта.

```
<Main>
  <Description>ISPRA 9 KW EXPERIMENT </Description>

  <ModuleList>
    <Module Name="Hydra"/>
  </ModuleList>
```

```

<TimeTable StartTime="0" EndTime="250." DtStart="0.0001" >
  <TimeControl Start="0.0" DtMin="1.e-10" DtMax="1.e-2" DtOutput="-10."
DtCF="1."/>
</TimeTable>
<PlotList>
</PlotList>
</Main>

```

Рисунок 4.11 – Пример ввода блока Main

```

<TimeTable RestartNstep="53904813" EndTime="12860." DtStart="1.0e-6">
  <TimeControl Start="0" DtOutput="1.0" DtCF="1.0" DtMax="0.001" DtMin="1e-
06" DtRestart="100.0" DtPlot="1.0"/>
</TimeTable>

```

Рисунок 4.12 – Пример блока TimeTable для запуска с рестарта

4.7.2 TimeStep – Задание параметров интегрирования

В необязательном теге TimeStep определяются управляющие параметры интегрирования по времени. Атрибуты тега содержит Таблица 4.9.

Таблица 4.9 – Атрибуты тега TimeStep

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Tup	REAL	Параметр управления шагом по времени. Коэффициент увеличения шага в случае если фолбека не требуется.	[1.0,10.0]	1.1
Tdown	REAL	Параметр управления шагом по времени. Коэффициент уменьшения шага в случае фолбека.	[1.0,10.0]	1.5

4.7.3 PhysicalModels – Задание физических параметров для расчета

4.7.3.1 Общее описание

В блоке PhysicalModels задаются параметры физических моделей – межфазный теплообмен, трение и т.д. Подробное описание атрибутов помещено в Таблица 4.10.

Таблица 4.10 – Атрибуты тега PhysicalModels

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
HydroStaticEquilibrium	CHAR	Активация приближенного расчета гидростатического распределения параметров в начале расчёта: On – моделируется, Off – отсутствует. Необязательный атрибут. Info – моделируется, выводится output и plot файлы для контроля и на счет не идет	On/ Off/ Info	Если в задаче задан один теплоноситель, то: On для свинца (Pb); Off – для всех остальных теплоносителей. Если в задаче задано несколько теплоносителей, то по умолчанию Off.
LocalResistance	CHAR	Потери на локальных сопротивлениях On – моделируются, Off – отсутствуют. Позволяет отдельно от параметра Friction включать/выключать расчет потерь на локальных сопротивлениях. Если параметр не задан, он совпадает с параметром Friction или его значением по умолчанию. Необязательный атрибут.	On/Off	Friction
ArtificialViscosity	CHAR	Опция для учёта искусственной вязкости. Необязательный атрибут.	On/Off	Off
WallHeatModel	CHAR	Задание данного атрибута возможно только для натриевого теплоносителя! Выбор модели для расчета теплообмена теплоносителя со стенкой. Stable – модель теплообмена со стенкой при стабилизированном кипении натрия; Unstable – модель теплообмена натрия со стенкой без стабилизации кипения. Необязательный атрибут.	Stable/Unstable	Unstable

Механизм HydroStaticEquilibrium позволяет получить в некоторых случаях «хорошее» начальное приближение для расчета моделируемого течения. Тем самым, позволяет в некоторых случаях сократить время расчета задачи, или даже повлиять на устойчивость задачи.

4.7.3.2 Запись элемента в XML-формате

Пример ввода блока PhysicalModels показан на Рисунок 4.13.

```
<PhysicalModels HydroStaticEquilibrium="Off" />
```

Рисунок 4.13 – Пример ввода блока PhysicalModels

4.7.4 PlotOptions – Задание параметров для вывода в plot-файл

Перечень всех возможных значений атрибута PlotOptions и краткое описание, что определяет данная группа параметров, представлено в Таблица 4.11.

Таблица 4.11 – Атрибуты тега PlotOptions

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
MaxVolumesNumber	INT	Задаёт максимальное количество газовых объёмов для вывода в plot-файл. Необязательный атрибут.	[1, 10]	1

4.7.5 ControlParams – Задание параметров для замыкающих соотношений

В коде есть возможность задать блок ControlParams. Он не является обязательным, однако при его отсутствии код выдает информацию об этом. Блок ControlParams представляет собой последовательность тегов ParamBlock, в каждом из которых задаются управляющие параметры, коэффициенты для различных замыкающих соотношений. Например, если атрибут Name для ParamBlock равен "Pb_WallHeatExch", то в этом блоке параметров задаются коэффициенты для замыкающих соотношений, определяющих теплообмен со стенкой для свинцового теплоносителя. Перечень всех возможных значений атрибута Name для ParamBlock и краткое описание, что определяет данная группа параметров, представлено в Таблица 4.12.

Таблица 4.12 – Список возможных значений атрибута Name в теге ParamBlock

Значение атрибута Name в теге ParamBlock	Комментарий
Pb_WallHeatExch	Коэффициенты для замыкающих соотношений, определяющих теплообмен со стенкой для свинцового теплоносителя.
Pb_WFrictVary	Параметры для варьирования коэффициента трения в разных замыкающих соотношениях для свинцового теплоносителя.
Pb_WHeatVary	Параметры для варьирования теплообмена со стенкой в разных замыкающих соотношениях для свинцового теплоносителя.

4.7.5.1 Свойства элемента ParamBlock, если Name="Pb_WallHeatExch"

В блоке ParamBlock, если Name="Pb_WallHeatExch" задаются параметры для замыкающих соотношений теплообмена со стенкой в случае свинцового теплоносителя. Подробное описание атрибутов помещено в Таблица 4.13.

Таблица 4.13 – Атрибуты тега ParamBlock, если Name="Pb_WallHeatExch"

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя, описывающее тип замыкающих соотношений. Pb_WallHeatExch – параметры теплообмена со стенкой для свинца. Обязательный атрибут.	[Pb_WallHeatExch]	_____
TypeCrossSection	CHAR	Тип геометрии для замыкающих соотношений. Annular – кольцевой канал, Circle – круглый канал. Обязательный атрибут.	[Annular, Circle]	_____

Следующим уровнем иерархии является тег Surf. Количество тегов Surf должно соответствовать числу обогреваемых поверхностей, которое равно одной в случае круглого канала и одной или двум в случае кольцевого канала. В случае кольцевого канала первый тег Surf определяет значения для внутренней поверхности, второй – для внешней. Описание атрибутов тега Surf представлено в Таблица 4.14.

Таблица 4.14 – Атрибуты тега Surf, описывающего параметры теплообмена для обогреваемых поверхностей

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
A	REAL	Параметр A в формуле турбулентного теплообмена (3.14). Необязательный атрибут.	[1e-7, 1.e7]	Если TypeCrossSection = «Annular», то 6.0 (для одностороннего обогрева), 10.0 (для внутренней стороны канала) и 7.2 (для внешней). TypeCrossSection = «Circle», то 5.0
B	REAL	Параметр B в формуле турбулентного теплообмена (3.14). Необязательный атрибут.	[1e-7, 1.e7]	Если TypeCrossSection = «Annular», то 0.02 (для одностороннего обогрева канала), 0.028 (для двустороннего). TypeCrossSection = «Circle», то 0.025
C	REAL	Параметр C в формуле турбулентного теплообмена (3.14). Необязательный атрибут.	[1e-7, 1.e7]	0.8

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
NuLam	REAL	Константа NuLam в выражении (3.13) для ламинарного режима. Необязательный атрибут.	[1e-7, 1.e7]	4.36

Значения атрибутов в Таблица 4.14 задают значения коэффициентов A, B, C, NuLam в выражении для определения числа Нуссельта. В случае термически стабилизированного турбулентного течения число Нуссельта определяется выражением:

$$Nu = A + B Pe^C \quad (3.14)$$

где Nu – число Нуссельта;

Pe – число Пекле;

A, B, C – значения параметров из Таблица 4.14.

В случае ламинарного течения:

$$Nu = NuLam \quad (3.15)$$

где NuLam – значение параметра из Таблица 4.14.

По умолчанию в коде HYDRA задаются параметры для:

- кольцевого канала с одной обогреваемой поверхностью;
- кольцевого канала с двумя обогреваемыми поверхностями;
- для круглого канала.

Если какой-либо из параметров A, B, C, NuLam обогреваемой поверхности не задан во входном файле, то значения пропущенных параметров равны значениям по умолчанию.

4.7.5.2 Свойства элемента ParamBlock, если Name="Pb_WFrictVary" или Name="Pb_WHeatVary"

В блоке ParamBlock, если Name="Pb_WFrictVary" или Name="Pb_WHeatVary", задаются параметры для варьирования коэффициента трения о стенку и коэффициента теплоотдачи (числа Нуссельта) со стенкой в случае свинцового теплоносителя. Подробное описание атрибутов помещено в Таблица 4.15.

Таблица 4.15 – Атрибуты тега ParamBlock для варьирования коэффициентов трения и теплообмена в случае свинцового теплоносителя

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя, описывающее тип варьирования: Pb_WFrictVary – коэффициент трения о стенку; Pb_WHeatVary – коэффициент тепло-обмена со стенкой. Обязательный атрибут.	[Pb_WFrictVary, Pb_WHeatVary]	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeCrossSection	CHAR	Тип геометрии для замыкающих соотношений. Circle – круглый канал. Annular – кольцевой канал; HexAssembly – сборка с треугольной упаковкой стержней; QuadAssembly – сборка с квадратной упаковкой стержней. Обязательный атрибут.	[Circle, Annular, HexAssembly, QuadAssembly]	_____
Multiplier	REAL	Множитель варьирования. (Например для уменьшения коэффициента на 7%, нужно задать Multiplier=0.93)	[0.5;1.5]	1.0

4.7.6 Parallel – Задание параметров распараллеливания

В необязательном теге Parallel определяются параметры параллельного режима вычислений. Атрибут OMP_NTR используется для изменения числа нитей OpenMP (параллельных потоков) в распараллеливании с общей памятью. По умолчанию число нитей равно 1, что соответствует последовательному режиму вычислений. Число нитей также может задаваться параметром командной строки (см. п. 1.2). Значение, заданное в теге Parallel, имеет приоритет. Нулевое значение OMP_NTR соответствует автовыбору числа нитей по числу доступных в системе процессорных ядер.

Таблица 4.16 – Атрибуты тега Parallel

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
OMP_NTR	INT	Число нитей OpenMP. Необязательный атрибут.	[0, 8]	1

4.8 Описание ввода сервисных объектов расчётного кода HYDRA

4.8.1 Coolant – Теплоноситель

4.8.1.1 Свойства элемента

Для многих элементов (ячейка канала Channel, гидравлическое граничное условие BoundCell, камера Chamber, источник массы MassSource) ввод данных по параметрам теплоносителя однотипен. Для того, чтобы не вводить одинаковые данные для нескольких элементов (в том числе и для каждой ячейки всех каналов), создан объект Coolant. В этот объект единожды вводят данные для теплоносителя, и во всех элементах эти данные становятся данными «по умолчанию».

В настоящей версии можно задать не более четырех теплоносителей (используемых для разных контуров установок). При этом в элементах, где используется второй теплоноситель,

обязательно необходимо задать атрибут Coolant, и тогда его данные используются по умолчанию в этих элементах. При отсутствии этого атрибута по умолчанию используется первый Coolant. Также разные теплоносители для разных контуров можно задать, используя объект Loop.

Отметим, что два теплоносителя с разными списками NCG считаются РАЗНЫМИ, и оба должны быть определены в разных узлах <Coolant>, т.е. теплоноситель идентифицируется и списком NCG также.

Хотя бы один объект теплоноситель является обязательным для задания во вводе, иначе умолчанием становится вода без NCG.

Для задания термодинамического состояния теплоносителя по умолчанию нужно ввести значения давления и температуры или энтальпии. Задание одновременно значений температур и энтальпий недопустимо. Если значение температуры не введено пользователем, то используется значение по умолчанию (теплоноситель на линии насыщения). Для явного задания температуры насыщения при заданном давлении можно использовать ключевое слово “SAT”. Отметим особенности использования значения “SAT” при задании температур и энтальпий. Для жидкой фазы эти значения вычисляются при значении давления, задаваемого атрибутом Pressure. Для газовой фазы, при наличии NCG, температуры и энтальпии вычисляются при парциальном давлении пара, зависящем от состава смеси и полного давления.

Для задания состава газовой фазы в расчёте необходимо определить список неконденсируемых газов в разделе Coolant. Во всех остальных элементах ТГС можно задавать только доли газов, а изменять состав газовой фазы – нельзя. Если какой-либо из неконденсируемых газов в элементе отсутствует, то следует задать нулевую долю этого газа. В текущей версии кода HYDRA используются следующие модели расчёта поведения неконденсируемых газов:

Расчёт чистого пара (отсутствует атрибут NCGList);

Расчёт смеси неконденсируемых газов с паром. Для этого случая поле NCGList должно обязательно содержать список неконденсируемых газов, разделённых запятыми. В коде HYDRA заведены свойства для следующих газов: H₂, He, N₂, O₂, Ar, Kr, Xe. Для свинцового теплоносителя (Pb) допустимо использование водяного пара (H₂OVar) в качестве неконденсируемого газа. Для натриевого теплоносителя (Na) допустимо использование гидроксида натрия (NaOH) в качестве растворённой в жидкой фазе компоненты. Использовать газы не из этого списка в текущей версии кода запрещено.

В случае выбора в качестве теплоносителя натрия (Na) или свинца (Pb) автоматически включается важная для металлических теплоносителей модель аксиального (вдоль канала) переноса тепла.

Таблица 4.17 – Атрибуты тега Coolant

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя теплоносителя Необязательный атрибут.	[H ₂ O, Na, Pb, PbBi, Gly]	“H ₂ O”

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
NCGList	CHAR	Список неконденсируемых газов. При отсутствии атрибута газовая фаза содержит только пар теплоносителя Обязательный атрибут, если необходимо провести расчёт смеси неконденсируемых газов с паром.	Любой набор из списка {H2, He, N2, O2, Ar, Kr, Xe}, {H2OVar} для свинца (Pb, PbBi) и {NaOH} для натрия (Na) (максимум 100 символов)	_____
Component	CHAR	Список компонент активной зоны, которые могут переноситься потоком теплоносителя. Обязательный атрибут, если необходимо провести расчёт с наличием компонент.	{St316, UO2} для Na	_____
InterphaseHeatTrans	CHAR	Расчёт межфазного теплообмена: On – межфазный теплообмен моделируется, Off – межфазный теплообмен отсутствует Необязательный атрибут.	On/Off	On
ComponentsCoolantHeatTrans	CHAR	Расчет теплообмена между компонентами и теплоносителем: On – теплообмен моделируется, Off – теплообмен отсутствует Необязательный атрибут.	On/Off	On
MassTrans	CHAR	Расчёт переноса массы между фазами: On – перенос массы моделируется, Off – перенос массы отсутствует Необязательный атрибут.	On/Off	On
Friction	CHAR	Межфазное трение и трение о стенку On – моделируется, Off – отсутствует. Если задан параметр Off, то сила межфазного трения и трения о стенку будет равно 0. Необязательный атрибут.	On/Off	On
WaterSodiumLeakClosing	CHAR	Принудительное использование карты режимов и расчет замыкающих соотношений для течей «вода-натрий»: On – используются замыкающие соотношения для течей; Off – расчет ведется по обычным замыканиям для натриевого теплоносителя. Необязательный атрибут.	On/Off	Off

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
ContaminatedCoolant	CHAR	Чистый/загрязненный теплоноситель (данный атрибут используется только для ЖМТ) On – используются замыкающие соотношения для межфазного трения пузырьков в загрязненном теплоносителе (модель деформируемых пузырьков); Off – используются замыкающие соотношения для межфазного трения пузырьков в чистом теплоносителе. Необязательный атрибут.	On/Off	On
Pressure	REAL	Давление, Па Обязательный атрибут.	[615.1984, 108] для воды, [3.8169746E-05, 2.5651642E+07] для Na, [3.8147e-5, 1.8e+8] для Pb, PbBi, [615.1984, 108] для Gly	_____
Void	REAL	Истинное объемное паросодержание Необязательный атрибут.	[0, 1]	0.
Tfluid	REAL	Температура жидкой фазы, К Задание одновременно значений Tfluid и Hfluid запрещено. Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15] для воды, [381.,2503.5] для Na, [603,5000.] для Pb, [403,5100.] для PbBi, [291.15,563.15] для Gly, [SAT]	SAT
Hfluid	REAL	Энтальпия жидкой фазы, Дж/кг Задание одновременно значений Tfluid и Hfluid запрещено. Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	SAT

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Tgas	REAL	Температура газовой фазы, К Задание одновременно значений Tgas и Hgas запрещено. Необязательный атрибут.	[165., 2273.15] для воды, [165., 2503.5] для Na, [165., 5000.] для Pb, [165., 5100.] для PbBi, [165., 563.15] для Gly, [SAT]	SAT
Hgas	REAL	Энтальпия газовой фазы, Дж/кг Задание одновременно значений Tgas и Hgas запрещено. Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	SAT
Superheat	REAL	Величина перегрева теплоносителя перед закипанием, К Необязательный атрибут.	[0, 1000]	0
Dbubble	REAL	Диаметр пузырька, м. Задается только для свинцового теплоносителя. В случае, если не задано, рассчитывается в коде по соответствующим корреляциям.	[1e-4, 1.]	_____

Свойства неконденсируемых газов задаются в тегах NCG (Таблица 4.18), входящих в состав тега Coolant. Эти теги обрабатываются только при наличии списка неконденсируемых газов, задаваемых в атрибуте NCGList.

Таблица 4.18 – Атрибуты тега NCG

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя неконденсируемого газа (из списка, заданного в теге NCGList) Обязательный атрибут.	Любое	_____
Xgas	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого компонента в газовой фазе. Необязательный атрибут. Ненулевое значение может быть задано только для газовых компонентов, указанных в ключе NCGList ввода. Сумма всех значений не должна превышать единицу.	[0., 1.]	0

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Xfluid	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого компонента в жидкой фазе. Необязательный атрибут. Ненулевое значение может быть задано только для газовых компонентов, указанных в ключе NCGList ввода. Сумма всех значений не должна превышать единицу.	[0., 1.]	0

Свойства компонент задаются в тегах Component (Таблица 4.19), входящих в состав тега Coolant.

Таблица 4.19 – Атрибуты тега Component

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя компоненты (из списка, заданного в атрибуте Component тега Coolant) Обязательный атрибут.	Любое	_____
Fraction	REAL	Объемная доля компоненты. Необязательный атрибут.	[0., 1.]	0
Temperature	REAL	Температура компоненты, К. Обязательный атрибут.	[0., 1e4.]	_____
Diameter	REAL	Диаметр частиц компоненты, м. Необязательный атрибут.	[0., 1e-4.]	1e-4
SolveImpulseEqn	CHAR	Флаг решения уравнения импульса для компоненты On – решается уравнение импульса для компоненты, Off – уравнение импульса не решается, компоненты переносятся теплоносителем. Необязательный атрибут.	On/Off	Off

4.8.1.2 Запись элемента в XML- формате

Пример ввода объекта Coolant показан на Рисунок 4.14. Данный пример также демонстрирует задание двух теплоносителей с одной рабочей жидкостью, но с разными составами NCG в газовой фазе.

```
<!-- Теплоноситель для всех каналов, камер и др. объектов -->
<!-- SAT значит на кривой насыщения -->
<Coolant Name="H2O" NCGList="N2" Pressure="4.41E6" Tfluid="463." Tgas="SAT"
Void="1.e-6">
<NCG Name="N2" Xgas="0.5"/>
</Coolant>
```

```

<!-- Второй теплоноситель с другим составом NCG -->
<Coolant Name="H2O" NCGList="N2,O2" Pressure="4.41E6" Tfluid="463." Tgas="SAT"
Void="1.e-6">
<NCG Name="N2" Xgas="0.5"/>
<NCG Name="O2" Xgas="0.3"/>
</Coolant>

```

Рисунок 4.14 – Пример ввода объекта Coolant

4.8.2 MatProp – Свойства материалов для теплопроводящих структур

4.8.2.1 Свойства элемента

В текущей версии расчётного кода HYDRA реализован набор материалов по умолчанию (из отдельной библиотеки свойств, с которой произведена интеграция расчётного кода HYDRA), а также существует возможность задавать необходимые для расчёта поля температуры свойства (плотность, теплоёмкость и теплопроводность) в блоке MatProp.

Кроме того, для расчёта газового зазора разработана специальная модель, учитывающая естественную конвекцию газа, возникающую между стенками с разными температурами, и теплообмен излучением.

Ниже (Таблица 4.20) приведен список материалов, свойства которых определены и запрашиваются из отдельной библиотеки свойств материалов. Около названия в скобках приведен идентификатор, который надо указать в качестве имени материала (тег MatProp, атрибут Name, см. Таблица 4.21).

В основном – это твердые материалы, хотя включены и газы для расчета, например, теплопроводности газового зазора твэла.

Таблица 4.20 – Список материалов, свойства которых заведены в коде HYDRA по умолчанию

Материал (Идент.)	Материал (Идент.)
Газы	
Азот (N2)	Аммиак (NH3)
Аргон (Ar)	Ацетилен (C2H2)
Воздух (Air)	Водород (H2)
Гелий (He)	Диоксид углерода (CO2)
Дейтерий (D2)	Кислород (O2)
Метан (CH4)	Окись углерода (CO)
Этилен (C2H4)	
Замедлители	
Бериллий (Be)	Оксид бериллия (BeO)
Защитные материалы	
Алюмогидрид лития (LIAL)	Алюмогидрид урана (UAL)
Сплав Циркония и 1% Ниобия (ZR10NB):	Сплав Циркония и 2.5% Ниобия (ZR25NB):
Конструкционные материалы	
Бетон (CON)	Сплав на основе циркония (Zircaloy)
Сталь 10ГН2МФА (10GH2MFA)	Сталь 08X13 (08X13):
Сталь 12X18Н10Т (12X18Н10Т)	Сталь 12X18Н9 (12X18Н9)
Сталь 12X18Н9Т (12X18Н9Т)	Сталь 12X13 (12X13)
Сталь 20X13 (20X13)	Сталь 15X2МФА (15X2MFA):
Сталь 22К (22К)	Сталь SS304 (SS304)

Материал (Идент.)	Материал (Идент.)
Сталь X18H12M3, марка 316 (St316)	Сталь X18H10T (X18H10T):
Сталь ХН77ТЮ (ХН77ТУ):	Сталь X18H9 (X18H9):
Сталь ЧС-68ХД (CHS68CW)	
Поглощающие материалы	
Нитрид бора (BN)	Диборид титана (TiB2)
Продукты окисления	
Двуокись железа (Fe2O3)	Двуокись кремния (SiO2)
Диоксид гафния (HfO2): Cp,Ro	Диоксид церия (CeO2)
Диоксид циркония (ZrO2)	Окись кальция (CaO)
Окись железа (FeO)	Окись никеля (NiO)
Окись магния (MgO)	Оксид алюминия (Al2O3)
Окись хрома (Cr2O3)	Оксид урана U4O9 (U4O9)
Оксид железа (Fe3O4)	Триоксид урана U3O8 (U3O8)
Теплоносители	
Вода (H2O)	Натрий (Na)
Свинец (Pb)	Свинец-Висмут (PbBi)
Тяжелая вода (D2O)	Калий 44 Натрий 56 (K44Na56)
Калий 78 Натрий 22 (K78Na22)	Глицерин (Gl)
Топливо	
Диоксид плутония (PuO2): C	Диоксид урана (UO2)
Карбид урана (UC)	Мононитрид урана (UN)
Торий (Th)	Смешанное топливо, UO2+PuO2 (MOX)
Уран металлический (Umet)	Уран (U)
Элементы	
Азот (N)	Ванадий (V)
Алюминий (Al)	Висмут (Bi)
Вольфрам (W)	Водород (H)
Галлий (Ga)	Гафний (Hf)
Германий (Ge)	
Железо (Fe)	Золото (Au)
Индий (In)	Калий (K)
Кадмий (Cd)	Кислород (O)
Криптон (Kr)	Кремний (Si)
Литий (Li)	Ксенон (Xe)
Медь (Cu)	Магний (Mg)
Неон (Ne)	Молибден (Mo)
Никель (Ni)	Олово (Sn)
Платина (Pt)	Серебро (Ag)
Рубидий (Rb)	Сурьма (Sb)
Тантал (Ta)	Титан (Ti)
Фтор (F)	Хлор (Cl)
Хром (Cr)	Цезий (Cs)
Цирконий (Zr)	Цинк (Zn)

Для использования специальной модели, учитывающей естественную конвекцию газовой фазы, возникающую между стенками с разными температурами, и теплообмен излучением, необходимы дополнительные параметры, которые рассчитываются в теплопроводящей структуре и используются для расчета свойств. В этом случае, накладываются дополнительные ограничения на распределение материалов

теплопроводящей структуры. Во-первых, зазор должен быть один в теплопроводящей структуре и занимать всю структуру по высоте. Во-вторых, для материала зазора должна быть определена вязкость.

Подробное описание модели приведено в руководстве по моделям кода HYDRA.

Задание свойств материалов начинается с задания имени материала (см. Таблица 4.21).

Таблица 4.21 – Атрибуты тега MatProp

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя материала Каждому материалу HYDRA должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Default	BOOL	Ключ, определяющий способ задания свойств материалов – по умолчанию или ввод пользователя: On – свойства материала равны значения по умолчанию, Off – свойства материала вводятся пользователем вручную. Необязательный атрибут.	On/Off	Off
ClosedGap	CHAR	Ключ использования специальной модели расчета свойств зазора: On – модель включена; Off – модель не используется. Необязательный атрибут.	On/Off	Off
Следующие атрибуты используются, если ClosedGap = "On"				
TypePressure	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт давление в газовом зазоре: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypePressure Если TypePressure = "CF"				
Pressure	CHAR	Имя функции, определяющей значение давления (Па). Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypePressure="TF"				
Pressure	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения давления (Па) в зависимости от времени. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypePressure = "Const"				
Pressure	REAL	давление (Па) Обязательный атрибут.	[0, 1.e8]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
EmissivityInner	REAL	Степень черноты внутренней поверхности зазора теплопроводящей структуры. Необязательный атрибут.	[0.01, 0.99]	0.99
EmissivityOuter	REAL	Степень черноты внешней поверхности зазора теплопроводящей структуры. Необязательный атрибут.	[0.01, 0.99]	0.99

В зависимости от свойства, которое пользователь хочет задать, тег MatProp содержит следующие подтеги:

- HeatCond – теплопроводность;
- Dens – плотность;
- HeatCapacity – теплоёмкость;
- Emissivity – степень серости. Это свойство задается в том случае, если нужна его зависимость от температуры. При этом возможность задавать степень серости константой через соответствующий тег непосредственно в описании Теплопроводящей структуры остается (см. раздел 4.8.5);
- Viscosity – вязкость (значение вязкости не нужно для решения уравнения теплопроводности, используется только для специальной модели расчёта газового зазора ClosedGap = «On». Если вязкость задана, а атрибут ClosedGap = «Off», то расчётный код HYDRA не будет использовать значения вязкости в процессе расчёта).

Дополнительные атрибуты тегов HeatCond, Dens, HeatCapacity, Emissivity, Viscosity перечислены в Таблица 4.22.

Замечание: в текущей версии ПК HYDRA Dens и HeatCapacity должны быть заданы на одной температурной сетке.

Таблица 4.22 – Атрибуты тегов HeatCond, Dens, HeatCapacity, Emissivity, Viscosity

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Temp	REAL	Температура, К Обязательный атрибут.	[0, 10.e4]	_____
Coef	REAL	Значение выбранного свойства (теплоёмкость – Дж/К; теплопроводность – Вт/м/К; плотность – кг/м ³ , вязкость – Па·с) Обязательный атрибут.	[0, 10.e10]	_____

4.8.2.2 Запись элемента в XML-формате

Пример ввода исходных данных для задания свойств материала Mat1 в XML-формате показан на Рисунок 4.15.

```
<MatProp Name ="Mat1">
  <!--Коеф. теплопров. от темп.-->
  <HeatCond Temp="300." Coef="494."/>
```

```

<HeatCond Temp="373." Coef="494."/ >
<!--Плотность-->
<Dens Temp="300.0" Coef="7900."/ >
<Dens Temp="373.0" Coef="7900."/ >
<!--Теплоемкость-->
<HeatCapacity Temp="300.0" Coef="16.9"/ >
<HeatCapacity Temp="373." Coef="16.9"/ >
<!--Степень серости-->
<Emissivity Temp="300.0" Coef="0.3"/ >
<Emissivity Temp="373." Coef="0.35"/ >
</MatProp>

```

Рисунок 4.15 – Пример ввода исходных данных для задания свойств материала Mat1

Если в коде HYDRA присутствуют значения свойства материала из библиотеки, то есть материал присутствует в Таблица 4.20, то ввод ограничивается указанием имени материала из таблицы. Пример задания показан на Рисунок 4.16.

```

<MatProp Name ="UO2" Default ="On"/ >

```

Рисунок 4.16 – Пример ввода исходных данных для задания свойств для UO₂ по умолчанию

Если в коде HYDRA используется специальная модель расчёта газового зазора (ClosedGap = «On») с газом из внутренней базы данных кода HYDRA, то ввод ограничивается указанием имени газа. Пример задания данных показан на Рисунок 4.17.

```

<MatProp Name ="N2" ClosedGap="On" Pressure = "2.e5"/ >

```

Рисунок 4.17 – Пример ввода исходных данных для задания свойств для N₂ для модели ClosedGap

4.8.3 ControlFunc – контрольные функции

Элемент Контрольная функция предназначен для ввода формульных выражений в текстовом виде с использованием рассчитываемых в программе изменяющихся со временем переменных. Формулы обрабатываются последовательно на каждом временном шаге и могут быть использованы в различных объектах (например, HeatBound, BoundCell, см. соответствующий раздел данного руководства). Формульное выражение можно использовать для вывода в текстовый файл (файлы).

Элемент Контрольная функция также может использовать вместо формулы табличное представление. В этом случае аргумент функции должен быть единственным для использования в качестве аргумента “X” таблицы. Соответствующее значение “Y”, вычисленное по линейной интерполяции, будет считаться новым значением контрольной функции.

Отличие «табличной» контрольной функции от прямого использования таблиц в том, что при использовании таблиц аргумент фиксирован (например, время в источниках или температура в свойствах), и пользователь не имеет возможности его поменять.

Для коротких таблиц удобнее использовать функцию `interpol`, задаваемую формулой (Рисунок 4.18).

<Formula="interpol([0,1,1,2],[0,0,1,1],t)">

Рисунок 4.18

На Рисунок 4.18 t – аргумент таблицы, значения X которой содержатся в квадратных скобках $[\]$ первого аргумента формулы, а значения Y содержатся в квадратных скобках $[\]$ второго аргумента формулы.

Отличие от табличной функции: в `interpol` при выходе за границы используется линейная экстраполяция по двум приграничным узлам, в табличной функции используется значение в граничном узле.

4.8.3.1 Свойства элемента

Основные параметры Контрольной функции задаются в теге `ControlFunc`, являющемся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см. Таблица 4.23).

Таблица 4.23 – Атрибуты тега `ControlFunc`

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждой контрольной функции должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Formula	CHAR	Формульное выражение для вычисления значения контрольной функции Обязательный атрибут, если отсутствует атрибут Table.	Любое	_____
Table	CHAR	Имя таблицы для вычисления значения контрольной функции. Обязательный атрибут, если отсутствует атрибут Formula.	Любое	_____
Func	REAL	Начальное значение результата формулы в случаях, когда формула не может обработаться корректно, например, аргументы формулы еще не определены. Необязательный атрибут.	Любое	_____
OutFile	CHAR	Имя файла с относительным (или абсолютным) путём. Относительный путь – относительно рабочего каталога. Задаётся при использовании объекта <code>ControlFunc</code> для вывода в текстовый файл. Необязательный атрибут.	Любое	_____
OutVar	CHAR	Имя выходной переменной во внешней программе. Необязательный атрибут.	Любое	_____
Stolbick	bool	Необязательный атрибут. Включает (=1) и выключает (=0) режим выдачи в столбик для группы векторных функций одинакового размера на последний момент времени.	0,1	0

Каждый аргумент в формульном выражении контрольной функции должен быть описан в своем подузле с названием Arg и следующими атрибутами (число аргументов для «табличной» контрольной функции должно быть равно 1).

Аргументы можно условно разбить на две группы:

- обязательные параметры во вводе (без их ввода код не считает) , необязательные (имеющее значения по умолчанию) и параметры, рассчитываемые по заданным ключам ввода.
- рабочие (рассчитываемые внутри алгоритмического временного шага).

Значения аргументов первой группы гарантировано, значения второй на первом шаге могут быть не определены, на остальных шагах место их обновления не определено. Именно для определения значения функции на первом шаге в таком случае введено поле *Func* в пользовательском вводе, которое закрывает применение формулы.

Таблица 4.24 – Атрибуты тега Arg

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
ShortName	CHAR	Краткое обозначение аргумента для использования в формуле Обязательный атрибут.	Последовательность разрешенных символов:0123456789_abcdefghijklmnopqrstuvwxyzABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ Любая последовательность символов из перечисленных выше (максимум 100 времени).	_____
LongName	CHAR	Текстовый адрес (путь) переменной Обязательный атрибут.	См. п.5.2	_____

Аргумент LongName представляет собой текстовую строку в двойных кавычках и должен состоять из трёх частей:

- Тип объекта – Channel, ControlFunc и т.п.

В скобках – уникальное имя объекта (из файла ввода). Кавычки (одинарные, поскольку двойные уже задействованы) обязательны, если в имени объекта есть скобки (), если нет скобок – можно без кавычек. Одинарные и двойные кавычки можно поменять местами.

Далее точка, после точки – имя переменной и индексы. При использовании в качестве аргумента значения контрольной функции имя переменной – “Func”. Значения индексов будут описаны ниже. Чаще всего, индекс определяет номер расчётной ячейки (нумерация ячеек начинается с единицы) или фазу, которая также может задаваться целым числом или текстовым значением (как и плот-переменные). Если при обработке индексы выходят за границы – принудительно приравниваются граничным, поэтому последнюю ячейку, например, можно заказывать с заведомо большим индексом. Если задано неправильное число индексов, то диагностируется ошибка.

Пример задания контрольных функций приведён на Рисунок 4.19.

```

<ControlFunc Name="CF2" Formula="a+b" >
  <Arg ShortName="a" LongName="Channel('CH1').Temp(Fluid,5)"/>
  <Arg ShortName="b" LongName="ControlFunc(CF1).Func"/>
</ControlFunc>
<ControlFunc Name="CF1" Formula="a+b" Func ="1.0">
  <Arg ShortName="a" LongName='Channel("CH1").Temp(Fluid,5)'/>
  <Arg ShortName="b" LongName="Channel(CH1).Pressure(15)"/>
</ControlFunc>
<ControlFunc Name ="Table" OutFile ="XEV.txt" Func ="0.0"
  Table="TableCF">
  <Arg ShortName="t" LongName="Time"/>
</ControlFunc>
<Table Name="TableCF">
  <PairXY X="1." Y="0."/>
  <PairXY X="1." Y="1."/>
</Table>

```

Рисунок 4.19 – Пример задания контрольных функций

4.8.3.2 Использование контрольных функций для вывода в файл

При использовании объектов ControlFunc для вывода в текстовый файл необходимо добавить атрибут OutFile = <имя файла>. Пример показан на Рисунок 4.20.

```

<ControlFunc Name="CF2-very long english name"
  Formula="a+b" OutFile ="MyFile.txt">
  <Arg ShortName="a" LongName="Channel('CH1').Temp(Fluid,5)"/>
  <Arg ShortName="b" LongName="ControlFunc(CF1).Func"/>
</ControlFunc>

```

Рисунок 4.20 – Пример использования объектов ControlFunc

В атрибуте OutFile задаётся имя файла с относительным (или абсолютным) путём. Относительный путь – относительно рабочего каталога.

Если в нескольких контрольных функциях указан один и тот же файл, то все эти функции собираются для вывода в один файл.

В файле вывода сначала выводятся имена функции, текст формулы и аргументы. В процессе расчёта по времени выводятся по столбцам время в формате % 13.6e и значения функций, направляемых в этот файл, в формате % 11.4e.

4.8.3.3 Вывод элементов массива в файл

Для удобства и сокращения задания выдачи разрешается использовать диапазон индексов Ind1:Ind2:Ind3, например, Channel('CH1').Temp(1,5:15:2). Ind1 обозначает начальное значение диапазона, Ind2 обозначает конечное значение диапазона, необязательное значение Ind3 обозначает шаг, с которым индексируются элементы. В этом случае, после обработки ввода сформируется так называемая векторная функция с векторным аргументом, компоненты которого показаны на Рисунок 4.21.

```

Channel('CH1').Temp(1,5)
Channel('CH1').Temp(1,7)

```

```
Channel('CH1').Temp(1,9)
Channel('CH1').Temp(1,11)
Channel('CH1').Temp(1,13)
Channel('CH1').Temp(1,15)
```

Рисунок 4.21 – Пример представления компонентов векторного аргумента
Channel('CH1').Temp(1,5:15:2)

К векторным аргументам также могут быть применены операции редукции minArray, maxArray, sumArray (описание см. Таблица 4.28).

Частота вывода по времени задается в блоке Main в атрибуте DtCF.

Если значения массива, элементы которого пользователь хочет вывести в текстовый файл, рассчитываются по формуле, то (Рисунок 4.22):

- аргументов контрольной функции может быть несколько, но все они должны быть 1D (один диапазон) или скаляры;
- диапазоны у всех аргументов должны быть одинаковой длины.

```
<ControlFunc Name="Rasxod" OutFile ="Rasxod.txt" Func ="0."
Formula="ro*v*s + 0*ro1">
  <Arg ShortName="ro1" LongName="Channel(BUNDLE).Dens(1,1)"/>
  <Arg ShortName="ro" LongName="Channel(BUNDLE).Dens(1,1:5)"/>
  <Arg ShortName="v" LongName="Channel(BUNDLE).Velocity(1,2:6)"/>
  <Arg ShortName="s" LongName="Channel(BUNDLE).Area(2:6)"/>
</ControlFunc>
```

Рисунок 4.22 Пример задания векторных аргументов контрольных функций

При выдаче в файл будет сформировано число столбцов, равное размеру векторных аргументов, имена у которых будут вида <Имя контрольной функции>[i], где порядковый номер i индексируется от нуля.

Список переменных, доступных для использования в формулах контрольных функций, описан в разделе 5.

4.8.3.4 Многомерные аргументы контрольных функций

Для удобства и сокращения задания выдачи разрешается использовать многомерные аргументы с множественными диапазонами индексов Ind1:Ind2:Ind3, например Channel('CH1').Temp(1:2,5:15).

В этом случае на этапе обработки ввода устраняется многомерность путем генерации необходимого количества контрольных функций. Генерация выполняется в число этапов, равное числу максимальной размерности аргументов. На каждом этапе устраняется старшая размерность, пока максимальная размерность аргументов не достигнет единицы. В вышеуказанном примере автоматически будут сформированы две векторных контрольных функции с аргументами Channel('CH1').Temp(1,5:15) и Channel('CH1').Temp(2,5:15), соответственно.

При выдаче в файл будет сформировано число столбцов, равное общему числу элементов в многомерном массиве, имена у которых будут вида <Имя контрольной функции>[i][j]...[k], каждый индекс отсчитывается от нуля.

Все аргументы в соответствующей размерности, естественно, должны иметь одинаковый размер.

4.8.3.5 Список элементарных функций

В данном разделе приведён полный список элементарных функций (см. Таблица 4.25, Таблица 4.27, Таблица 4.28, Таблица 4.29), которые могут быть использованы в контрольных функциях и в константных формулах.

Таблица 4.25 – Основные функции для действительных чисел

Функция	Аргументы и результат	Описание
floor	$a = \text{floor}(b)$	отбрасывание дробной части
min	$c = \text{min}(a,b)$	вычисление минимального значения
max	$c = \text{max}(a,b)$	вычисление максимального значения
limit	$Y = \text{limit}(X, \text{Minimum}Y, \text{Maximum}Y)$	ограничение значения величины
sin	$a = \text{sin}(b)$	синус действительного числа
cos	$a = \text{cos}(b)$	косинус действительного числа
tan	$a = \text{tan}(b)$	тангенс действительного числа
cot	$a = \text{cot}(b)$	котангенс действительного числа
atan	$a = \text{atan}(b)$	арктангенс действительного числа
asin	$a = \text{asin}(b)$	арксинус действительного числа
acos	$a = \text{acos}(b)$	арккосинус действительного числа
exp	$a = \text{exp}(b)$	экспонента действительного числа
ln	$a = \text{ln}(b)$	логарифм натуральный действительного числа
Log	$a = \text{log}(b)$	десятичный логарифм действительного числа
sinh	$a = \text{sinh}(b)$	гиперболический синус действительного числа
cosh	$a = \text{cosh}(b)$	гиперболический косинус действительного числа
tanh	$a = \text{tanh}(b)$	гиперболический тангенс действительного числа
coth	$a = \text{coth}(b)$	гиперболический котангенс действительного числа
asinh	$a = \text{asinh}(b)$	гиперболический арксинус действительного числа
acosh	$a = \text{acosh}(b)$	гиперболический арккосинус действительного числа
atanh	$a = \text{atanh}(b)$	гиперболический арктангенс действительного числа
sqrt	$a = \text{sqrt}(b)$	корень квадратный, действительный результат
abs	$a = \text{abs}(b)$	абсолютное значение
sign	$a = \text{sign}(b)$	определение знака действительного числа
root	$c = \text{root}(a,b)$	корень b-й степени от числа a
proportion	$Y = \text{proportion}(X, \text{Minimum}X, \text{Maximum}X, \text{Minimum}Y, \text{Maximum}Y)$	простая линейная интерполяция

Таблица 4.26 – if функции

Функция	Аргументы и результат	Описание
?:	$a = \text{condition} ? \text{res_true} : \text{res_false}$	Здесь condition - логическое выражение. Если condition = true, то a = res_true, иначе a = res_false

Замечание: В логическом выражении condition можно использовать операции “not”, “and”, “or”.

Таблица 4.27 – Функции interpol

Функция	Аргументы и результат	Описание
interpol	a = interpol ([Xarg1,Xarg2,...], [Yarg1,Yarg2,...], x)	Аналог таблицы

Таблица 4.28 – Функции minArray, maxArray, sumArray (рассчитывают минимальное и максимальное значение массива аргументов)

Функция	Аргументы и результат	Описание
minArray	a = minArray(V1), V1 – одномерный массив <m> малый оставил по аналогии с функцией min	a равно минимальному значению массива V1
maxArray	a = maxArray(V1), V1 – одномерный массив	a равно максимальному значению массива V1
sumArray	a = sumArray (V1), V1 – одномерный массив	a равно сумме значений массива V1
<p>Пример</p> <pre><ControlFunc Name="minT" OutFile="Temp.txt" Func="0." Formula="minArray(v1)"> <Arg ShortName="v1" LongName="HeatStruct('TWEL').TempWall(1:16,2)"/> </ControlFunc></pre>		

Замечание: Если в именах используется символ “&”, то его необходимо заменить на “&”. При необходимости использования вложенных кавычек можно использовать разные типы кавычек (двойные” или одинарные’). Также внутри выражений в кавычках можно использовать символ "e;.

Таблица 4.29 – Специальные функции

Функция	Аргументы и результат	Описание
in	a = in(n,x)	функция Бесселя I n-го порядка
i0	a = i0(x)	функция Бесселя I нулевого порядка
i1	a = i1(x)	функция Бесселя I первого порядка
jn	a = jn(n,x)	функция Бесселя J n-го порядка
j0	a = j0(x)	функция Бесселя J нулевого порядка
j1	a = j1(x)	функция Бесселя J первого порядка
kn	a = kn(n,x)	функция Бесселя K n-го порядка
k0	a = k0(x)	функция Бесселя K нулевого порядка
k1	a = k1(x)	функция Бесселя K первого порядка
yn	a = yn(n,x)	функция Бесселя Y n-го порядка
y0	a = y0(x)	функция Бесселя Y нулевого порядка
y1	a = y1(x)	функция Бесселя Y первого порядка
DerivC(a1,a2)	$f^n = \frac{1}{2} \left(\frac{a_1^n - a_1^{n-1}}{a_2^n - a_2^{n-1}} + \frac{a_1^{n-1} - a_1^{n-2}}{a_2^{n-1} - a_2^{n-2}} \right)$	Производная (центральная разность), n – номер слоя по времени
DerivF(a1,a2)	$f^n = \left(\frac{a_1^n - a_1^{n-1}}{a_2^n - a_2^{n-1}} \right)$	Производная
IntegralF(a1,a2)	$f^n = f^{n-1} + \frac{1}{2} (a_1^n + a_1^{n-1})(a_2^n - a_2^{n-1})$	Интеграл

Функция	Аргументы и результат	Описание
Hysteresis (a ₁ , fL, fU)	$f^n = \begin{cases} \max[f^{n-1}, f_{\text{LOAD}}(a_1^n)], & a_1^n \geq a_1^{n-1} \\ \min[f^{n-1}, f_{\text{UNLOAD}}(a_1^n)], & a_1^n < a_1^{n-1} \end{cases}$	Гистерезис
crash('сообщение')	Сообщение – строка, ограниченная с двух сторон одинарными кавычками	Остановка с печатью сообщения в файл log_errors.txt и на экран
print('сообщение')	Сообщение – строка, ограниченная с двух сторон одинарными кавычками	Печать сообщения в файл log_events.txt. В арифметическом выражении возвращает значение ноль

4.8.3.6 Список элементарных операций

Представлен в Таблица 4.30–Таблица 4.32.

Таблица 4.30 – Операторы для целых чисел

Оператор	Действие и результат	Описание
not	b = not a	оператор логического отрицания
and	c = a and b	оператор И
or	c = a or b	оператор ИЛИ
xor	c = a xor b	оператор ИСКЛЮЧАЮЩЕЕ ИЛИ
shl	c = a shl b	сдвиг на b битов влево
shr	c = a shr b	сдвиг на b битов вправо
div	c = a div b	целочисленное деление
mod	c = a mod b	вычисление остатка от целочисленного деления

Таблица 4.31 – Арифметические операторы с вещественными числами

Оператор	Действие и результат	Описание
-	c = - a	Обратный знак для действительных чисел
+	c = a + b	Сложение действительных чисел
-	c = a – b	Вычитание действительных чисел
*	c = a * b	Умножение действительных чисел
/	c = a / b	Деление действительных чисел
^	c = a^ b	Возведение в степень действительных чисел

Таблица 4.32 – Операторы сравнения действительных чисел. Результат логической операции – целый: 0 – ложь, 1 – истина

Оператор	Действие и результат	Описание
==	a == b	Равенство
>	a > b	Больше
<	a < b	Меньше
>=	a >= b	Больше или равно
<=	a <= b	Меньше или равно
!=	A != b	Неравенство

4.8.3.7 Свойства неконденсируемых газов

Пользователю предоставляется возможность использовать функции, позволяющие рассчитывать значения теплоёмкости и теплопроводности семи неконденсируемых газов ("H2", "He", "N2", "O2", "Ar", "Kr", "Xe") от температуры, а также зависимость вязкости от температуры и в закритичной области от давления. Значения свойств определяются в соответствии с соотношениями, описанными в руководстве по моделям кода HYDRA.

Таблица 4.33 – Свойства неконденсируемых газов

Функция	Аргументы и результат	Описание
CpH2vsT, CpHevsT, CpN2vsT, CpO2vsT, CpArvsT, CpKrvsT, CpXevsT	a = CpH2vsT (Temperature)	Зависимость теплоёмкости неконденсируемого газа от температуры: Temperature – температура, К. Тип газа определяется буквами после наименования свойства Cp, например, CpH2vsT – это теплоёмкость водорода и т.д.
LamH2vsT, LamHevsT, LamN2vsT, LamO2vsT, LamArvsT, LamKrvsT, LamXevsT	a = LamH2vsT (Temperature)	Зависимость теплопроводности неконденсируемого газа от температуры: Temperature – температура, К. Тип газа определяется буквами после наименования свойства Lam, например, LamH2vsT – это теплопроводность водорода и т.д.
VisH2vsT, VisHevsT, VisN2vsT, VisO2vsT, VisArvsT, VisKrvsT, VisXevsT	a = VisH2vsPT (Pressure, Temperature)	Зависимость вязкости неконденсируемого газа от давления (в закритичной области) и температуры: Pressure – давление, Па; Temperature – температура, К. Тип газа определяется буквами после наименования свойства Vis, например, VisH2vsT – это вязкость водорода и т.д.

4.8.3.8 Использование констант

В формулах можно использовать встроенные константные значения, указанные в Таблица 4.34, а также заданные пользователем.

Таблица 4.34 – Встроенные константы

Наименование	Значение	Описание
pi	3.141592653589793238462643	Число π
_e	2.718281828459045235360287	Основание натурального логарифма

При необходимости использовании констант, равных значениям, заданным пользователем (например, для определения константы, равной длине обогреваемой части твэла или высоте активной зоны), пользователь должен задать тег Constant, являющийся подтегом тега Hydraulics, с двумя атрибутами, описанными в Таблица 4.35.

В атрибуте Value значение может быть задано формульным выражением, использующим другие константы, определенные выше в том же файле. В обработчике файла

пользовательского ввода константы считываются в первую очередь, поэтому пользовательские константы могут использоваться в формульных выражениях в рамках входного файла, в котором они заданы.

Задание констант, определяющих, например, геометрические размеры реакторной установки, и их использование при задании параметров, определяющихся через геометрические размеры, позволяет в случае изменения любого из размеров не переопределять значения в нескольких местах входного файла.

Таблица 4.35 – Атрибуты тега Constant

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя константы Обязательный атрибут.	Последовательность разрешенных символов: 0123456789_abcdefghijklmnopqrstuvwxyz ABCDEFGHIJKLMNOPQRSTUVWXYZ Любая последовательность символов из перечисленных выше (максимум 100 символов)	_____
Value	REAL	Значение константы Обязательный атрибут.	[-1.8E308,1.8E308]	_____

Запись элемента в XML- формате

Пример ввода константы с именем Qext, а также её использования при задании энерговыделения в объёме теплоносителя, показан на Рисунок 4.23.

```
<Constant Name="Qext" Value="5.e5" />
<ChannelHeatSource Name="CoreHeat" Qfluid="Qext" Qgas="0.0" Length="1">
  <Section CellNumber="10" Z="0" Kfluid="1"/>
</ChannelHeatSource>
```

Рисунок 4.23 – Пример ввода константы Qext и её использования

4.8.4 Table – табличные функции

4.8.4.1 Свойства элемента

Элемент Табличная функция предназначен для ввода зависимости $Y(X)$ в виде таблицы. Может использоваться в различных объектах (HeatBound, см. соответствующий раздел данного руководства).

Основные параметры Табличной функции задаются в теге Table, являющимся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см. Таблица 4.36).

Таблица 4.36 – Атрибуты тега Table

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждой табличной функции должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
ScalarFactor	REAL	Аддитивный фактор Необязательный атрибут.	Любое	0.
MultiplFactor	REAL	Мультипликативный множитель Необязательный атрибут.	Любое	1.

При расчёте табличной функции значение, полученное из таблицы, умножается на MultiplFactor и прибавляется значение ScalarFactor.

Блок данных содержит таблицу с названием PairXY со следующими атрибутами (см. Таблица 4.37).

Таблица 4.37 – Атрибуты тегов PairXY

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
X	REAL	Аргумент функции Обязательный атрибут.	Любое, монотонно возрастающее	_____
Y	REAL	Значение функции Обязательный атрибут.	Любое	_____

Другой вариант задания таблицы данных (узла PairXY) – в виде набора текстовых строк, при этом в каждой строке последовательно представлены пары числе (X, Y) (смотреть пример ниже). Пробелы и переносы строк в строках игнорируются.

4.8.4.2 Запись элемента в XML-формате

Пример ввода табличной функции с именем QTable показан на Рисунок 4.25.

```
<Table Name="QTable" ScalarFactor="0." MultiplFactor="1.">
<!-- X - время, Y - поток Q -->
  <PairXY X="0" Y="0" />
  <PairXY X=".1" Y="6.75e5" />
</Table>
```

Рисунок 4.24 – Пример ввода табличной функции

Второй вариант таблицы QTable представлен на Рисунок 4.25.

```
<Table Name="QTable" ScalarFactor="0." MultiplFactor="1.">
<!-- X - время, Y - поток Q -->
  <PairXY>
    0.      0.
      .1      6.75e5
```

</PairXY>
</Table>

Рисунок 4.25 – Второй вариант таблицы QTable

4.8.5 Loop – Петля

4.8.5.1 Свойства элемента

Для вывода интегральных балансовых величин по набору модельных объектов (каналов, камер и других) в выходной файл создан объект петля (Loop). Например, часто удобным является вывод суммарной массы теплоносителя по петлям или по всему первому контуру. Вывести необходимые данные можно при помощи контрольных функций, задав в качестве аргументов необходимые параметры всех модельных объектов. При этом если необходимо вывести несколько интегральных величин, то входной файл становится крайне громоздким. Кроме того, любое изменение нодализации, приводит к необходимости вносить изменения в несколько контрольных функций.

Для удобства пользователя и уменьшения количества ошибок во входном файле разработан сервисный объект Loop. Пользователь может объединить набор элементов теплогидравлической сети в объект Loop. В текущей версии в объект Loop могут быть объединены Канал Channel, Камера Chamber, Теплопроводящая структура HeatStruct, Активная зона Core, гидравлическое граничное условие BoundCell. Для определённого пользователем набора будет произведён расчёт:

- массы жидкой фазы теплоносителя;
- массы пара;
- массы неконденсируемых газов;
- максимальной и минимальной температур газовой и жидкой фаз теплоносителя в каналах;

максимальной и минимальной температур теплопроводящих структур.

Второе назначение Loop - задание начального теплогидравлического состояния объектов, т.е. можно задать общий теплоноситель и его состав, т.е. впоследствии не повторять одинаковый ввод во всех объектах, включенных в Loop. Отметим, что при этом сам теплоноситель с возможным списком NCG обязан присутствовать в списке среди узлов <Coolant> (см. раздел Coolant), в Loop можно поменять только параметры (температуру, давление, доли NCG,...). Отметим, что для Loop умолчанию становится состояние из соответствующего глобального <Coolant>, а для объектов Loop - состояние из Loop.

Единственным атрибутом тега Loop является Name (смотреть Таблица 4.38).

Таблица 4.38 – Атрибуты тега Loop

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому объекта петля Loop должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Подтегами тега Loop могут быть Channel, Chamber, HeatStruct, Core, BoundCell с единственным атрибутом Name, описанным в Таблица 4.39 .

Таблица 4.39 – Атрибуты подтегов Channel, Chamber, HeatStruct, Core, BoundCell тега Loop

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта, определённого пользователем во входном файле. Объект определяется названием тега: канал Channel; камера Chamber; теплопроводящая структура HeatStruct; активная зона Core; гидравлическое граничное условие BoundCell. Обязательный атрибут.	Любое из определённых во входном файле	_____

Для задания начального термодинамического состояния используется подтег <Coolant> полностью аналогичный одноименному глобальному тэгу (см. п. 4.8.1). Отличие в том, что имя теплоносителя и списка NCG здесь не определяют НОВЫЙ теплоноситель, а указывают на введенный в глобальном тэге. Второе отличие в том, что если данный теплоноситель с данным списком NCG - единственный, то атрибут NCGList можно опустить (в том числе и для совместимости с предыдущими версиями Loop)

4.8.5.2 Запись элемента в XML-формате

На Рисунок 4.26 показан пример задания объекта Петля Loop, состоящего из двух теплопроводящих структур с именами TWEL_INT и TWEL_EXT.

```
<Loop Name ="TestLoopHS">
  <HeatStruct Name="TWEL_INT"/>
  <HeatStruct Name="TWEL_EXT"/>
</Loop>
```

Рисунок 4.26 – Пример ввода объекта Loop, состоящего только из теплопроводящих структур

На Рисунок 4.27 показан пример использования объекта Loop в качестве аргумента контрольной функции. В результате работы контрольной функции MinTemp в текстовый файл с именем TestLoopHS.txt будет выведено значение минимальной температуры теплопроводящих структур, входящих в объект Loop с именем TestLoopHS. В результате работы контрольной функции MaxTemp в текстовый файл с именем TestLoopHS.txt будет выведено значение максимальной температуры теплопроводящих структур, входящих в объект Loop с именем TestLoopHS.

```
<ControlFunc Name="MinTemp" Func ="0.0" OutFile ="TestLoopHS.txt" Formula="m">
  <Arg ShortName="m" LongName="Loop(TestLoopHS).MinTempHS"/>
</ControlFunc>
```

```
<ControlFunc Name="MaxTemp" Func ="0.0" OutFile ="TestLoopHS.txt" Formula="m">
  <Arg ShortName="m" LongName="Loop(TestLoopHS).MaxTempHS"/>
</ControlFunc>
```

Рисунок 4.27 – Пример использования объекта Loop в качестве аргумента контрольной функции

На Рисунок 4.28 показан пример задания и использования объекта Loop, состоящего из двух каналов с именами TO_OUT и TO_PRESSURE и камеры с именем OUT. В результате работы контрольной функции LoopMass в текстовый файл с именем LoopMass.txt будет выведено значение суммарной массы жидкой фазы теплоносителя в каналах и камере.

```
<Loop Name="TestLoop">
  <Channel Name="TO_OUT" />
  <Channel Name="TO_PRESSURE" />
  <Chamber Name="OUT" />
</Loop>
<ControlFunc Name="LoopMass" Func="0.0" OutFile="LoopMass.txt" Formula="m">
  <Arg ShortName="m" LongName="Loop(TestLoop).MassF" />
</ControlFunc>
```

Рисунок 4.28 – Пример задания и использования объекта Loop, состоящего из каналов и камеры

4.8.6 BoundCell – Гидравлическое граничное условие

Граничные условия необходимы при описании работы фрагмента системы или разорванной сети, а также для моделирования различных элементов оборудования: ёмкости, баки, насосы и пр.

Для имитации источника теплоносителя с заданными пользователем свойствами в программном комплексе HYDRA имеются следующие элементы:

- Гидравлическое граничное условие по давлению.
- Гидравлическое граничное условие по скорости.
- Гидравлическое граничное условие по массовому расходу.
- Гидравлическое граничное условие по объёмному расходу.
- Заглушка.

Модель Гидравлического граничного условия предназначена

- по давлению – для изменения по известному закону давления, энтальпии и объёмных долей фаз, которые используются в качестве граничных условий для контурной теплогидравлики;
- по скорости – для ввода теплоносителя с заданной скоростью;
- по массовому расходу – для ввода теплоносителя с заданным массовым расходом. При этом реализованы две разновидности. Первая - без коррекции граничного давления (расчет течения внутри канала). Вторая - расчет входного давления под влиянием входного сопротивления канала (коррекция термодинамического состояния граничного элемента)
- по объёмному расходу – для ввода теплоносителя с заданным объёмным расходом;
- заглушка – для задания условия тупикового объёма для входа или выхода канала (для моделирования, например, сосуда, закрытого крышкой).

4.8.6.1 Разрешённые связи элемента

Разрешённые связи объекта Гидравлическое граничное условие с другими элементами кода представлены в Таблица 4.40. BoundCell используется в связях как неактивный объект, то есть одно и то же граничное условие может быть использовано для нескольких объектов.

Таблица 4.40 – Связи гидравлического граничного условия

Субъект связи	Кол-во связей	Объект связи
BoundCell	любое	Вход или выход Канала Channel.
	любое	Вход или выход каналов, заданных в атрибуте ListZones, входящих в состав Тепловыделяющей сборки FuelAssembly.
	любое	Вход или выход каналов, заданных в атрибуте ListZones, входящих в состав активной зоны Core. Дополнительный атрибут ListZonesFA позволяет использовать разные условия для разных каналов Core в случае наличия у ТВС собственной картограммы.
	любое	Вход или выход каналов межкассетного пространства, заданных в атрибуте ListBy_Passes, входящих в состав активной зоны Core.

Заданное гидравлическое граничное условие может быть связано с произвольным количеством входов и выходов Каналов Channel, Активных зон Core, Тепловыделяющих сборок FuelAssembly.

При связи гидравлического граничного условия с Каналом или Тепловыделяющей сборкой необходимо задать один дополнительный атрибут, определяющий, с входом или выходом Канала или Тепловыделяющей сборки связано данное гидравлическое граничное условие (см. Таблица 4.41).

Таблица 4.41 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи гидравлического граничного условия с каналом

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом Канала или Тепловыделяющей сборки (объекта “From”) связано данное гидравлическое граничное условие. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом объекта “To” связано данное гидравлическое граничное условие. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____

При задании связи Гидравлического граничного условия с Тепловыделяющей сборкой необходимо учитывать, что значения в Гидравлическом граничном условии должны задаваться из расчёта на один канал Тепловыделяющей сборки. После обработки ввода пользователя код автоматически ко всем каналам Тепловыделяющей сборки добавит Гидравлическое граничное условие (то есть гидравлические граничные условия будут одинаковыми у всех каналов), если не использован тег ListZones с указанием конкретных

каналов. Дополнительные атрибуты, необходимые для задания связи между Гидравлическим граничным условием и Тепловыделяющей сборкой, указаны в Таблица 4.42.

Таблица 4.42 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи гидравлического граничного условия с каналами тепловыделяющей сборкой FuelAssembly

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом FuelAssembly (объекта “From”) связано данное гидравлическое граничное условие Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом FuelAssembly (объекта “To”) связано данное гидравлическое граничное условие. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
ListZones	CHAR	Список номеров зон, входящих в тепловыделяющую сборку Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания: : – все зоны; : 5 – с первой до пятой зоны; 8 : – с восьмой до последней зоны. Необязательный атрибут.	Любой из номеров зон, заданных в объекте FuelAssembly	“:.” (все зоны)

При задании связи Гидравлического граничного условия с каналами, входящими в состав Активной зоны Core, необходимо дополнительно задать атрибуты, перечисленные в Таблица 4.43.

При задании связи Гидравлического граничного условия с каналами межкассетного пространства Активной зоны Core необходимо дополнительно задать атрибуты, перечисленные в Таблица 4.44.

Таблица 4.43 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи гидравлического граничного условия с каналами активной зоны Core

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом Core (объекта “From”) связано данное гидравлическое граничное условие Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом Core (объекта “To”) связано данное гидравлическое граничное условие. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
ListZones	CHAR	Список номеров зон, входящих в активную зону Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания: 0 – обозначение для Bu_Pass; : – все зоны; : 5 – с первой до пятой зоны; 8 : – с восьмой до последней зоны. Необязательный атрибут.	Любой из номеров зон, заданных в объекте Core	“:” (все зоны)
ListZones FA	CHAR	Список номеров зон ZoneFA, входящих в ТВС, находящуюся в данной зоне Core. Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания: : – все зоны; : 5 – с первой до пятой зоны; 8 : – с восьмой до последней зоны. Используется, если у каналов-зон ZoneFA данной ТВС нужно задать различные граничные условия. При этом должен быть указан атрибут ListZones, определяющий к какой зоне Core относится данная связь. Необязательный атрибут.	Любой из номеров зон ZoneFA, заданных ТВС, находящейся в данной зоне	“:” (все зоны ZoneFA)

Таблица 4.44 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи гидравлического граничного условия с каналами межкассетного пространства активной зоны Core

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом Core (объекта “From”) связано данное гидравлическое граничное условие Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом Core (объекта "To") связано данное гидравлическое граничное условие. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
ListBy_Passes	CHAR	Список номеров каналов межкассетного пространства (идут по порядку с 1, как задаются в объекте Core), входящих в активную зону Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания: : – все зоны; : 5 – с первой до пятой зоны; 8 : – с восьмой до последней зоны. Обязательный атрибут, если для всех или каких-то выборочных каналов межкассетного пространства нужно задать граничное условие, отличное от того, что используется для Core. Или же если для разных каналов Core используются разные граничные условия.	Любой из номеров зон, заданных в объекте Core	_____

Пример описания связи Гидравлического граничного условия Bound1 с входом Канала Channel1 показан на Рисунок 4.29.

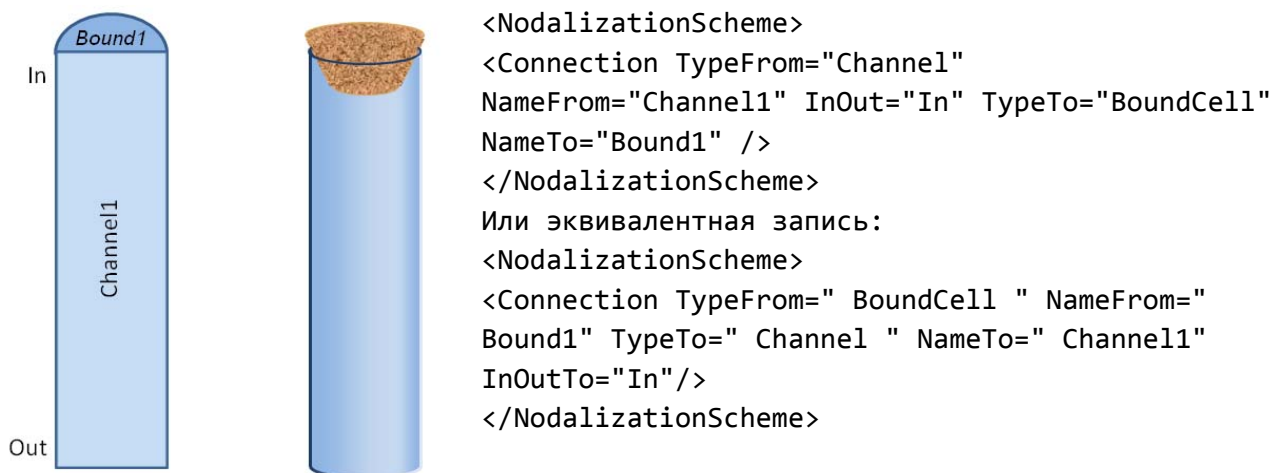


Рисунок 4.29 – Пример описания связи Гидравлического граничного условия Bound1 с входом Канала Channel1

4.8.6.2 Свойства элемента

Характеристики Гидравлического граничного условия приведены ниже.

Атрибуты, описанные в Таблица 4.45, задаются в теге BoundCell, являющемся верхним уровнем иерархии при задании параметров гидравлического граничного условия.

Таблица 4.45 – Параметры гидравлического граничного условия

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому гидравлическому граничному условию HYDRA должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Type	CHAR	Тип гидравлического граничного условия: <i>Pressure</i> – по давлению; <i>Velocity</i> – по скорости; <i>MassFlux</i> , <i>MassFlux_Void</i> – по массовому расходу; <i>VolFlux</i> – по объёмному расходу; <i>Plug</i> – заглушка. Обязательный атрибут.	[<i>Pressure</i> , <i>Velocity</i> , <i>MassFlux</i> , <i>MassFlux_Void</i> , <i>VolFlux</i> , <i>Plug</i>]	_____
Coolant	CHAR	Имя теплоносителя. Необязательный атрибут. Не используется, если задан тип <i>Plug</i> .	Имя теплоносителя который задан в объекте с которым соединяется данный BoundCell.	Первое имя (атрибут Name) из заданных в списке Coolant
NCGList	CHAR	Список неконденсируемых газов. При отсутствии атрибута газовая фаза содержит только пар теплоносителя Обязательный атрибут, если объектов Теплоноситель с выбранным Coolant два и более, в противном случае – необязательный. Не используется, если задан тип <i>Plug</i> .	Любое имя из набора NCG того теплоносителя, который задан в атрибуте Coolant .	_____

Количество и тип дополнительно вводимых пользователем параметров зависит от выбранного пользователем типа Гидравлического граничного условия – значение контрольного параметра Type (см. Таблица 4.45).

В случае, если пользователь задал гидравлическое граничное условие типа «заглушка» (Type="Plug"), дополнительных параметров не требуется. В соединении канала, граничащем с заглушкой, скорость кладётся равной 0.

В случае, если пользователь задал гидравлическое граничное условие по давлению (Type="Pressure"), дополнительно необходимо определить значения давления, температуры (или энтальпии), паросодержания и содержания неконденсирующихся газов (см. Таблица

4.46 и Таблица 4.47). Значения дополнительных параметров могут задаваться в виде константы, временной зависимости (таблица от времени) или функциональной зависимости.

Термодинамическое состояние определяется следующим набором параметров: давление, температура или энтальпия жидкой фазы, температура или энтальпия газовой фазы, паросодержание, NCG..

Указанные выше термодинамические параметры должны быть заданы либо во вводе гидравлического граничного условия, либо в блоке Coolant (отметим, что в случае использования значений из блока Coolant – эти величины будут неизменны во времени). В противном случае программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке. Задание одновременно значений температур и энтальпий недопустимо. Скорости газовой и жидкой фаз в случае граничного условия по давлению рассчитываются из решения уравнений сохранения импульса.

Отметим особенности использования значения “SAT” при задании температур и энтальпий. Для жидкой фазы эти значения вычисляются при значении давления, задаваемого атрибутом Pressure. Для газовой фазы, при наличии NCG, температуры и энтальпии вычисляются при парциальном давлении пара, зависимом от состава смеси и полного давления. В случае изменения давления со временем насыщенные температуры и энтальпии также пересчитываются.

Таблица 4.46 – Дополнительные атрибуты тега BoundCell для гидравлического граничного условия по давлению

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypePressure	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт давление: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeTfluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт температуру жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeHfluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт энтальпию жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeTgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт температуру газовой фазы:	[CF, TF, Const]	Const

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.		
TypeHgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт энтальпию газовой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeVoid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение истинного объёмного паросодержания: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypePressure Если TypePressure ="CF"				
Pressure	CHAR	Имя функции, определяющей значение давление в Па Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypePressure ="TF"				
Pressure	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения давление в Па в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypePressure ="Const"				
Pressure	REAL	Давление, Па Для того чтобы задать давление на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[611.2, 1.e 8] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTfluid Если TypeTfluid ="CF"				
Tfluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение температуры жидкой фазы в К Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Если TypeTfluid ="TF"				
Tfluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения температуры жидкой фазы в К в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTfluid ="Const"				
Tfluid	REAL	Температура жидкой фазы, К Для того чтобы задать температуру на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeHfluid Если TypeHfluid ="CF"				
Hfluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение энтальпии жидкой фазы в Дж/кг Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHfluid ="TF"				
Hfluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения энтальпии жидкой фазы в Дж/кг в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHfluid ="Const"				
Hfluid	REAL	Энтальпия жидкой фазы, Дж/кг Для того чтобы задать энтальпию на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTgas Если TypeTgas ="CF"				
Tgas	CHAR	Имя функции, определяющей значение температуры газовой фазы в К Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTgas ="TF"				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Tgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения температуры газовой фазы в К в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTgas ="Const"				
Tgas	REAL	Температура газовой фазы, К Для того чтобы задать температуру на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово «SAT». Необязательный атрибут.	[165., 2273.15] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeHgas Если TypeHgas ="CF"				
Hgas	CHAR	Имя функции, определяющей значение энтальпии газовой фазы в Дж/кг Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Если TypeHgas ="TF"				
Hgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения энтальпии газовой фазы в Дж/кг в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHgas ="Const"				
Hgas	REAL	Энтальпия газовой фазы, Дж/кг Для того чтобы задать энтальпию на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово «SAT». Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeVoid Если TypeVoid ="CF"				
Void	CHAR	Имя функции, определяющей значение истинного объёмного паросодержания Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Если TypeVoid ="TF"				
Void	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения истинного объёмного паросодержания в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeVoid ="Const"				
Void	REAL	Истинное объёмное паросодержание Необязательный атрибут.	[0., 1.]	Если не задано, берётся из блока Coolant. Если не задано и в блоке Coolant, то Void = 0.

Содержание неконденсируемых газов в жидкой или газовой фазах задаётся в тегах NCG. Теги NCG являются тегами следующего уровня по отношению к тегам BoundCell.

Таблица 4.47 – Атрибуты тега NCG

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя неконденсируемого газа Обязательный атрибут.	Любое имя из набора NCG того теплоносителя, который задан в атрибуте Coolant.	_____
TypeXgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение относительного массового содержания (концентрацию) неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeXfluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение относительного массового содержания (концентрацию)	[CF, TF, Const]	Const

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		неконденсируемого газа с именем Name в жидкой фазе: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.		
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeXgas Если TypeXgas ="CF"				
Xgas	CHAR	Имя функции, определяющей значение относительного массового содержания (концентрации) неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeXgas ="TF"				
Xgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения относительного массового содержания (концентрации) неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeXgas ="Const"				
Xgas	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого газа с именем Name Необязательный атрибут.	[0., 1.0]	Если не задано, берётся из блока Coolant. Если не задана и в блоке Coolant, Xgas = 0.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeXfluid Если TypeXfluid ="CF"				
Xfluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение относительного массового содержания (концентрации) неконденсируемого газа с именем Name в жидкой фазе Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeXfluid ="TF"				
Xfluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения относительного массового содержания (концентрации)	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		неконденсируемого газа с именем Name в жидкой фазе в зависимости от времени Обязательный атрибут.		
Если TypeXfluid ="Const"				
Xfluid	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого газа с именем Name в жидкой фазе Необязательный атрибут.	[0., 1.0]	Если не задано, берётся из блока Coolant. Если не задана и в блоке Coolant, Xfluid = 0.

В случае, если пользователь задал гидравлическое граничное условие по скорости, массовому расходу или объёмному расходу (Type="Velocity", Type="MassFlux", Type="VolFlux"), необходимо определить термодинамическое состояние так же, как и для граничного условия по давлению, то есть задать параметры, перечисленные в Таблица 4.45, Таблица 4.46 и Таблица 4.47. Дополнительно необходимо определить скорость, массовый или объёмный расход газовой и жидкой фаз.

Type="MassFlux_Void" полностью аналогичен Type="MassFlux" с следующими отличиями. Во-первых, при таком задании решается "обратная" задача – по суммарному расходу и паросодержанию рассчитывается давление в соответствующем граничном элементе BoundCell. Во-вторых, в этом случае можно задать сопротивление на входе в канал и его влияние на граничное давление. В-третьих, во вводе вместо расходов фаз задается единственный суммарный расход MassFlux_Void.

Таким образом, если пользователь задал граничное условие по скорости (Type="Velocity"), то дополнительно должны быть заданы атрибуты, перечисленные в Таблица 4.48.

Таблица 4.48 – Дополнительные атрибуты тега BoundCell для гидравлического граничного условия по скорости (Type="Velocity")

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeVelocityFluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение скорости жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeVelocityFluid				
Если TypeVelocityFluid ="CF"				
VelocityFluid	CHAR	Имя функции, определяющей	Любое	

		значение скорости жидкой функции в м/с Обязательный атрибут.	(максимум 100 символов)	
Если TypeVelocityFluid ="TF"				
VelocityFluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения скорости жидкой функции в м/с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeVelocityFluid ="Const"				
VelocityFluid	REAL	Скорость жидкой фазы, м/с Обязательный атрибут.	[-1.e6, 1.e6]	_____
TypeVelocityGas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение скорости газовой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeVelocityGas Если TypeVelocityGas ="CF"				
VelocityGas	CHAR	Имя функции, определяющей значение скорости газовой фазы в м/с Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeVelocityGas ="TF"				
VelocityGas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения скорости газовой фазы в м/с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeVelocityGas ="Const"				
VelocityGas	REAL	Скорость газовой фазы в м/с Обязательный атрибут.	[-1.e6, 1.e6]	_____

Если пользователь задал граничное условие по объёмному расходу (Type="VolFlux"), то дополнительно должны быть заданы атрибуты, перечисленные в Таблица 4.49. В этом случае через значение истинного объёмного паросодержания Void будут определены сечения, занятые жидкой и газовой фазами, через которые будут пересчитаны и определены скорости жидкой и газовой фаз.

В случае связи данного граничного условия с каналом, в котором задан параметр Multiplicity, пользователь должен задать суммарный объёмный расход (то есть расход на один канал, умноженный на Multiplicity), поскольку граничное условие может использоваться несколько раз с различными объектами, и оно не содержит информации о параметре Multiplicity для канала.

Таблица 4.49 – Дополнительные атрибуты тега BoundCell для гидравлического граничного условия по объёмному расходу (Type="VolFlux")

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeVolFluxFluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение объёмного расхода жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeVolFluxFluid Если TypeVolFluxFluid ="CF"				
VolFluxFluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение объёмного расхода жидкой фазы в м ³ /с Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeVolFluxFluid ="TF"				
VolFluxFluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения объёмного расхода жидкой фазы в м ³ /с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeVolFluxFluid ="Const"				
VolFluxFluid	REAL	Объёмный расход жидкой фазы, м ³ /с Обязательный атрибут.	[- 1.e6, 1.e6]	_____
TypeVolFluxGas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение объёмного расхода газовой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeVolFluxGas Если TypeVolFluxGas ="CF"				
VolFluxGas	CHAR	Имя функции, определяющей значение объёмного расхода газовой фазы в м ³ /с Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeVolFluxGas ="TF"				
VolFluxGas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения объёмного расхода газовой фазы в м ³ /с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeVolFluxGas ="Const"				
VolFluxGas	REAL	Объёмный расход газовой фазы, м ³ /с Обязательный атрибут.	[- 1.e6, 1.e6]	_____

Если пользователь задал граничное условие по массовому расходу (Type="MassFlux"), то дополнительно должны быть заданы атрибуты, перечисленные в Таблица 4.50. В этом

случае через значение истинного объёмного паросодержания Void будет определена величина поперечного сечения, занятая жидкой и газовой фазами, через которую вместе с плотностью, определённой по термодинамическому состоянию, будет пересчитана и определена скорость жидкой и газовой фаз.

В случае связи данного граничного условия с каналом, в котором задан параметр Multiplicity, пользователь должен задать суммарный массовый расход (то есть расход на один канал, умноженный на Multiplicity), поскольку граничное условие может использоваться несколько раз с различными объектами, и оно не содержит информации о параметре Multiplicity для канала.

Таблица 4.50 – Дополнительные атрибуты тега BoundCell для гидравлического граничного условия по массовому расходу (Type="MassFlux")

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeMassFluxFluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение массового расхода жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeMassFluxFluid Если TypeMassFluxFluid ="CF"				
MassFluxFluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение массового расхода жидкой фазы в кг/с Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFluxFluid ="TF"				
MassFluxFluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения массового расхода жидкой фазы в кг/с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFluxFluid ="Const"				
MassFluxFluid	REAL	Массовый расход жидкой фазы, кг/с Обязательный атрибут.	[-1.e6, 1.e6]	_____
TypeMassFluxGas	REAL	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение массового расхода газовой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeMassFluxGas Если TypeMassFluxGas ="CF"				
MassFluxGas	CHAR	Имя функции, определяющей значение массового расхода	Любое (максимум	_____

		газовой фазы в кг/с Обязательный атрибут.	100 символов)	
Если TypeMassFluxGas ="TF"				
MassFluxGas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения массового расхода газовой фазы в кг/с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFluxGas ="Const"				
Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
MassFluxGas	REAL	Массовый расход газовой фазы, кг/с Обязательный атрибут.	[-1.e6, 1.e6]	_____

Если пользователь задал граничное условие по массовому расходу (Type="MassFlux_Void"), то дополнительно должны быть заданы атрибуты, перечисленные в Таблица 4.50. В этом случае через значение истинного объёмного паросодержания Void и суммарного расхода фаз будет определено давление в граничном элементе. Это давление будет рассчитано с учетом входного сопротивления, которое может быть задано во входном сечении канала.

Таблица 4.51 – Дополнительные атрибуты тега BoundCell для гидравлического граничного условия по массовому расходу (Type="MassFlux_Void")

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeMassFlux_Void	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение суммарного массового расхода: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeMassFlux_Void Если TypeMassFlux_Void ="CF"				
MassFlux_Void	CHAR	Имя функции, определяющей значение суммарного массового расхода в кг/с Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFlux_Void ="TF"				
MassFlux_Void	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения суммарного массового расхода в кг/с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFlux_Void ="Const"				
MassFlux_Void	REAL	Суммарного массовый расход , кг/с Обязательный атрибут.	[-1.e6, 1.e6]	_____

4.8.6.3 Запись элемента в XML - формате

В соответствии с разработанным составом параметров элемента Гидравлическое граничное условие запись в XML-формате для входного файла ввода исходных данных выглядит, как показано на Рисунок 4.30.

Гидравлическое граничное условие по давлению

```
<BoundCell Name="Bound2" Type="Pressure" TypePressure="Const" Pressure="15.7e6"
TypeVoid="Const" Void="0." TypeTfluid="Const" Tfluid="270." TypeTgas="Const"
Tgas="370.">
<NCG Name="N2" TypeXgas="Const" Xgas="0.2" TypeXfluid="Const" Xfluid="0.1" />
<NCG Name="O2" TypeXgas="Const" Xgas="0.4" TypeXfluid="Const" Xfluid="0.3" />
</BoundCell>
```

Гидравлическое граничное условие по скорости

```
<BoundCell Name="Bound1" Type="Velocity" Pressure="15.7e6" Void="0." Tfluid="270."
Tgas="370." VelocityFluid="0.2" VelocityGas="0.0"/>
```

Гидравлическое граничное условие типа «заглушка»

```
<BoundCell Name="Bound3" Type="Plug" />
```

Рисунок 4.30 – Задание данных для объекта Гидравлическое граничное условие

4.8.7 HeatBound – Тепловое граничное условие

Элемент Тепловое граничное условие предназначен для задания граничного условия I-го, II-го или III-го рода на поверхности теплопроводящей структуры.

4.8.7.1 Разрешённые связи элемента

Разрешенные связи блока Тепловое граничное условие с другими элементами кода представлены ниже (см. Таблица 4.52).

Таблица 4.52 – Связи теплового граничного условия

Компонент теплового граничного условия	Кол-во связей	Связуемый элемент
Тепловое граничное условие	Любое	Поверхность теплопроводящей структуры HeatStruct. Поверхность определяется атрибутом Boundary, который может принимать 4 значения: Internal, External, Lower, Upper.
Тепловое граничное условие	Любое	Поверхность тепловыделяющей сборки FuelAssembly. Поверхность определяется атрибутом Boundary, который может принимать 3 значения: External., Lower, Upper.

В общем случае Теплопроводящая структура по длине может иметь разные граничные условия, поэтому для описания связей объекта пользователь должен задать:

- координату расположения (параметр XHS) Теплового граничного условия относительно начала теплопроводящей структуры;
- длину (параметр Length), на которую распространяется действие данного Теплового граничного условия, относительно начальной координаты (параметр XHS).

Значения параметров XHS и XHS+Length при описании связей Теплового граничного условия не могут превышать длину Length соответствующей теплопроводящей структуры HeatStruct, с которой связано тепловое граничное условие, в противном случае программа семантического контроля выдаст ошибку. Если значения границ задания связей XHS и XHS+Length не попадают на границы ячеек теплопроводящей структуры – они сдвигаются к ближайшим слева узлам с выдачей диагностики. Также, если два условия пересекаются, то выдаётся сообщение об ошибке.

С помощью теплового граничного условия также задаются условия для верхней и нижней (Lower, Upper) границ теплопроводящей структуры для 2Д модели расчета теплопроводности. Ограничительное отличие от граничных условий внутренней-внешней границ – задается условие сразу для всей границы, нельзя задавать разные условия для разных частей. В этом случае параметры XHS и Length не требуются и игнорируются. Второе отличие – не предоставляется возможность использования граничных условий 4 рода (излучательных) по причине их незначительности.

Пример описания связи Теплового граничного условия HeatBoundary1 с теплопроводящей структурой HeatConductor1 показан на Рисунок 4.31.

```
<NodalizationScheme>
<Connection      TypeFrom="HeatStruct"      NameFrom="HeatConductor1"
Boundary="External"      XHS="0.5"      Length="0.5"      NameTo="HeatBoundary1"
TypeTo="HeatBound" />
</NodalizationScheme>
```

Или эквивалентная запись:

```
<NodalizationScheme>
<Connection TypeFrom="HeatBound" NameFrom="HeatBoundary1" TypeTo="HeatStruct"
NameTo="HeatConductor1" Boundary="External" XHS="0.5" Length="0.5" />
</NodalizationScheme>
```

Рисунок 4.31 – Пример описания связи Теплового граничного условия HeatBoundary1 с теплопроводящей структурой HeatConductor1

4.8.7.2 Свойства элемента

Основные параметры Теплового граничного условия задаются в теге HeatBound, являющемся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см. Таблица 4.53).

Таблица 4.53 – Атрибуты тега HeatBound

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому тепловому граничному условию должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Type	INT	Тип граничного условия В программе предусмотрены три типа тепловых граничных условий: I рода (по температуре); II рода (по тепловому потоку); III рода (по теплоотдаче); IV рода –аналогично III рода, но коэффициент теплоотдачи считается по излучению. Обязательный атрибут.	[1,2,3,4]	

Количество и тип дополнительных вводимых пользователем параметров зависит от выбранного пользователем типа Теплового граничного условия – значение параметра Type (см. Таблица 4.53). Значения дополнительных параметров могут задаваться в виде константы, временной зависимости (таблица от времени) или функциональной зависимости.

Формулы для дополнительных параметров, описанных ниже, могут содержать изменяющиеся во времени, рассчитываемые параметры задачи.

В случае задания граничного условия I рода (Type="1") пользователь должен определить температуру на границе теплопроводящей структуры (см. Таблица 4.54).

Таблица 4.54 – Дополнительные атрибуты тега HeatBound для граничного условия I-ого рода

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeTwall	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт температуру на границе теплопроводящей структуры: CF – контрольная функция; TF – табличная функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTwall				
Если TypeTwall ="CF"				
Twall	CHAR	Имя функции, определяющей температуру на границе теплопроводящей структуры в Кельвинах Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
TwallVar	CHAR	Переменная, от которой КФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	“Z”, “-”	“_”
Если TypeTwall ="TF"				
Twall	CHAR	Имя таблицы, определяющей температуру на границе теплопроводящей структуры (в Кельвинах) в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TwallVar	CHAR	Переменная, от которой ТФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	“Z”, “-”	“-”
Если TypeTwall ="Const"				
Twall	REAL	Константное выражение. Температура на границе теплопроводящей структуры, К. Обязательный атрибут.	[273.25, 2273.15]	_____
Если атрибут TypeTwall не задан				
Twall	REAL	Температура на границе теплопроводящей структуры, К. Если задано константное выражение, то TypeTwall ="Const". Если по имени, заданном Twall, найдена функция или таблица, то TypeTwall="CF" или TypeTwall="TF" соответственно. Если задана формульная зависимость от Z и T, то граничное условие вычисляется как значение этой формулы, где Z – это значение продольной координаты поверхности теплопроводящей структуры, T – текущее время задачи. Обязательный атрибут.	_____	_____

В случае задания граничного условия II рода (Type="2") пользователь должен определить тепловой поток с поверхности теплопроводящей структуры.

В случае связи с одномерной тепловой структурой при вводе положительного значения, считается, что поток поступает внутрь теплопроводящей структуры (нагрев), с которой связано тепловое граничное условие. При вводе отрицательного значения, считается, что поток покидает тепловую структуру (остывание), с которой связано тепловое граничное условие.

В случае связи с двумерной тепловой структурой необходимо следить за направлением теплового потока относительно осей системы координат. На рисунке 4.32 приведен пример задания тепловых граничных условий 2-го рода на всех границах тепловой структуры в цилиндрической системе координат (в декартовой системе координат все аналогично).

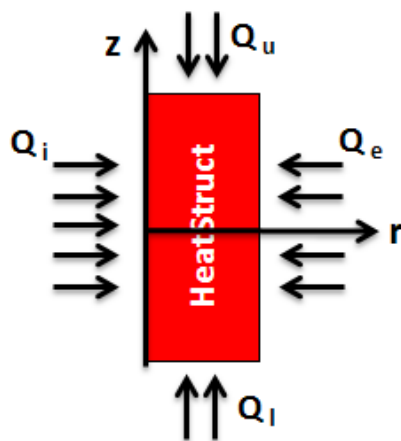


Рисунок 4.32 – Internal, external, upper и lower тепловые граничные условия 2-го рода для двумерной тепловой структуры

В таблице 4.55 приводится соответствие знака теплового потока и нагрева/охлаждения тепловой структуры, с которой связано тепловое граничное условие, для случая на рисунке 4.32.

таблицу 4.55 – Соответствие знака теплового потока и нагрева/охлаждения тепловой структуры

Тепловой поток	Знак теплового потока	Нагрев/охлаждение тепловой структуры
Q_i	> 0	нагрев
	< 0	охлаждение
Q_e	> 0	охлаждение
	< 0	нагрев
Q_u	> 0	охлаждение
	< 0	нагрев
Q_l	> 0	нагрев
	< 0	охлаждение

Атрибуты тега HeatBound приведены в 4.56.

Таблица 4.56 – Дополнительные атрибуты тега HeatBound для граничного условия II-ого рода

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeQ	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт тепловой поток с поверхности теплопроводящей структуры: CF – функциональная зависимость; TF – табличная функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeQ Если TypeQ ="CF"				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Q	CHAR	Имя функции, определяющей тепловой поток с поверхности теплопроводящей структуры в Вт/м ² Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
QVar	CHAR	Переменная, от которой КФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	“Z”, “_”	“_”
Если TypeQ = "TF"				
Q	CHAR	Имя таблицы, определяющей тепловой поток с поверхности теплопроводящей структуры (в Вт/м ²) в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
QVar	CHAR	Переменная, от которой ТФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	“Z”, “_”	“_”
Если TypeQ = "Const"				
Q	REAL	Константное выражение, определяющее тепловой поток с поверхности теплопроводящей структуры, Вт/м ² Обязательный атрибут.	[- 1.e15, 1.e15]	_____
Если атрибут TypeQ не задан				
Q	REAL	Тепловой поток с поверхности теплопроводящей структуры, Вт/м ² Если задано константное выражение, то TypeQ="Const". Если по имени, заданном Q, найдена функция или таблица, то TypeQ="CF" или TypeQ="TF" соответственно. Если задана формульная зависимость от Z и T, то граничное условие вычисляется как значение этой формулы, где Z – это значение продольной координаты поверхности теплопроводящей структуры, T – текущее время задачи. Обязательный атрибут.	_____	_____

В случае задания граничного условия III рода (Type="3") тепловой поток определяется из следующей зависимости (см. Таблица 4.57):

$$Q(t) = \alpha(t) \cdot (T(t) - T_{env}(t)),$$

где

$Q(t)$ – тепловой поток через границу теплопроводящей структуры, Вт/м²;

$\alpha(t)$ – коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·К);

$T(t)$ – температура поверхности теплопроводящей структуры, К;

$T_{env}(t)$ – температура окружающей среды на границе, К.

В этом случае пользователь должен определить температуру окружающей среды и коэффициент теплоотдачи от стенки.

Таблица 4.57 – Дополнительные атрибуты тега HeatBound для граничного условия III-го рода

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeTenv	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт температуру окружающей среды: CF – функциональная зависимость; TF – табличная функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeAlpha	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт коэффициент теплоотдачи от стенки: CF – функциональная зависимость; TF – табличная функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTenv Если TypeTenv ="CF"				
Tenv	CHAR	Имя функции, определяющей температуру окружающей среды в Кельвинах Обязательный атрибут, если TypeTenv ="CF"	Любое (максимум 100 символов)	_____
TenvVar	CHAR	Переменная, от которой КФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	"Z", "-"	"_"
Если TypeTenv ="TF"				
Tenv	CHAR	Имя таблицы, определяющей температуру окружающей среды в Кельвинах в зависимости от времени Обязательный атрибут, если TypeTenv ="TF"	Любое (максимум 100 символов)	_____
TenvVar	CHAR	Переменная, от которой ТФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	"Z", "-"	"_"
Если TypeTenv ="Const"				
Tenv	REAL	Температура окружающей среды, К Обязательный атрибут, если TypeTenv ="Const"	[273.25, 2273.15]	_____
Если атрибут TypeTenv не задан				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Tenv	REAL	Температура окружающей среды, К. Если задано константное выражение, то TypeTenv="Const". Если по имени, заданном Tenv, найдена функция или таблица, то TypeTenv="CF" или TypeTenv="TF" соответственно. Если задана формульная зависимость от Z и T, то граничное условие вычисляется как значение этой формулы, где Z – это значение продольной координаты поверхности теплопроводящей структуры, T – текущее время задачи. Обязательный атрибут, если TypeTenv не задан.	_____	_____
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeAlpha Если TypeAlpha ="CF"				
Alpha	CHAR	Имя функции, определяющей коэффициент теплоотдачи от стенки в Вт/(м ² ·К) Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
AlphaVar	CHAR	Переменная, от которой КФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	"Z", "_"	"_"
Если TypeAlpha ="TF"				
Alpha	CHAR	Имя таблицы, определяющей коэффициент теплоотдачи от стенки в Вт/(м ² ·К) в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
AlphaVar	CHAR	Переменная, от которой ТФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	"Z", "_"	"_"
Если TypeAlpha ="Const"				
Alpha	REAL	Коэффициент теплоотдачи от стенки, Вт/(м ² ·К) Обязательный атрибут.	[0, 1.e10]	_____
Если атрибут TypeAlpha не задан				
Alpha	REAL	Коэффициент теплоотдачи от стенки, Вт/(м ² ·К) Если задано константное выражение, то TypeAlpha="Const". Если по имени, заданном Alpha, найдена функция или таблица, то TypeAlpha="CF" или TypeAlpha="TF" соответственно. Если задана формульная зависимость от Z и T, то граничное условие вычисляется как значение этой формулы, где Z – это значение продольной координаты поверхности теплопроводящей структуры, T – текущее время задачи. Обязательный атрибут.	_____	_____

В случае задания граничного условия IV рода (Type="4") тепловой поток определяется аналогично граничному условию 3 рода по следующей зависимости:

$$Q(t) = \alpha(t) \cdot (T(t) - T_{env}(t)),$$

где

$Q(t)$ – тепловой поток через границу теплопроводящей структуры, Вт/м²;

$\alpha(t)$ – коэффициента теплоотдачи, Вт/(м²·К);

$T(t)$ – температура поверхности теплопроводящей структуры, К;

$T_{env}(t)$ – температура окружающей среды на границе, К.

Но коэффициент теплоотдачи не задается пользователем, а считается по модели излучения:

$$\alpha(t) = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T^2(t) + T_{env}^2(t)) \cdot (T(t) - T_{env}(t)),$$

где $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8}$ – постоянная Стефана-Больцмана, Вт/м²/К⁴;

ε – степень черноты поверхности.

В этом случае пользователь должен определить температуру окружающей среды.

Отметим, что использование граничных условий 4 рода для верхней и нижней границ теплопроводящей структуры не поддерживается.

Таблица 4.58 – Дополнительные атрибуты тега HeatBound для граничного условия IV-ого рода

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeTenv	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт температуру окружающей среды: CF – функциональная зависимость; TF – табличная функция от времени; Const – константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTenv Если TypeTenv = "CF"				
Tenv	CHAR	Имя функции, определяющей температуру окружающей среды в Кельвинах. Обязательный атрибут, если TypeTenv = "CF".	Любое (максимум 100 символов)	_____
TenvVar	CHAR	Переменная, от которой КФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	“Z”, “_”	“_”
Если TypeTenv = "TF"				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Tenv	CHAR	Имя таблицы, определяющей температуру окружающей среды в Кельвинах в зависимости от времени. Обязательный атрибут, если TypeTenv = "TF".	Любое (максимум 100 символов)	_____
TenvVar	CHAR	Переменная, от которой ТФ. Переключает на вертикальную координату. Необязательный атрибут.	"Z", "-"	"_"
Если TypeTenv = "Const"				
Tenv	REAL	Температура окружающей среды, К. Обязательный атрибут, если TypeTenv = "Const".	[273.25, 2273.15]	_____
Если атрибут TypeTenv не задан				
Tenv	REAL	Температура окружающей среды, К. Если задано константное выражение, то TypeTenv="Const". Если по имени, заданном Tenv, найдена функция или таблица, то TypeTenv="CF" или TypeTenv="TF" соответственно. Если задана формульная зависимость от Z и T, то граничное условие вычисляется как значение этой формулы, где Z – это значение продольной координаты поверхности теплопроводящей структуры, T – текущее время задачи. Обязательный атрибут, если TypeTenv не задан.	_____	_____

4.8.7.3 Запись элемента в XML-формате

Примеры ввода исходных данных объекта Тепловое граничное условие в XML-формате представлены ниже.

Для граничного условия I рода HeatBoundary1 задана температура на границе теплопроводящей структуры, равная 300 К (смотреть Рисунок 4.33).

```
<HeatBound Name="HeatBoundary1" Type="1" TypeTwall="Const" Twall="300." />
```

Рисунок 4.33

Для граничного условия II рода HeatBoundary2 задано линейно изменяющееся значение теплового потока от 0 Вт/м² до 10⁵ Вт/м² на интервале времени с 0 с до 100 с (смотреть Рисунок 4.34).

```

<HeatBound Name="HeatBoundary2" Type="2" TypeQ="TF" Q="HeatFlux" />
<Table Name="HeatFlux" ScalarFactor="0." MultiplFactor="1.">
<PairXY X="0" Y="0" />
<PairXY X="100" Y="1.e5" />
</Table>

```

Рисунок 4.34 – Пример задания граничного условия II рода

Для граничного условия III рода HeatBoundary3 задано постоянное значение коэффициента теплоотдачи от стенки. Температура окружающей среды определяется с помощью функциональной зависимости и равна температуре окружающей среды для теплопроводящей структуры HeatBoundary4 (смотреть Рисунок 4.35).

```

<HeatBound Name="HeatBoundary3" TypeTenv="CF" Tenv="EnvTemperature"
TypeAlpha="Const" Alpha="1.e4" />
<ControlFunc Name="EnvTemperature" Func="0.0" Formula="Temp">
<Arg ShortName="Temp" LongName="HeatStruct('HeatBoundary4').TENV" />
</ControlFunc>

```

Рисунок 4.35

Для граничного условия I рода HeatBoundary4 задано линейно изменяющееся значение температуры от 400 К до 500 К для продольной координаты теплопроводящей структуры на интервале от 0 м до 3 м (Рисунок 4.36).

```

<HeatBound Name="HeatBoundary4" Type="1" TypeTwall="TF" TwallVar="Z"
Twall="TempTable" />
<Table Name="TempTable" ScalarFactor="0." MultiplFactor="1.">
<PairXY X="0" Y="400" />
<PairXY X="3" Y="500" />
</Table>

```

Рисунок 4.36 – Пример теплового граничного условия типа "TF"

Для граничного условия I рода HeatBoundary5 задано значение температуры в виде формулы от продольной координаты теплопроводящей структуры "Z" и текущего времени задачи "T" (Рисунок 4.37).

```

<HeatBound Name="HeatBound5" Type="1" Twall="800.+50.*sin(Z)*(1.-exp(-0.1*T))" />

```

Рисунок 4.37 – Пример теплового граничного условия в виде формулы от "Z" и "T"

4.9 Описание ввода модельных объектов РК HYDRA

Вместе с обязательным атрибутом Name каждый модельный объект имеет необязательный атрибут BaseZ – точку привязки к общей высотной системе координат. При объединении объектов в гидравлическую сеть значения BaseZ перестают быть независимыми, поскольку у всех объектов обязателен ввод аксиальной протяженности. Для правильной высотной привязки этот параметр должен присутствовать по крайней мере в одной камере, в противном случае установится «0» в первой камере, заданной во входном файле. Далее обрабатываются связи – перепады высот каналов – проверяются значения высот других камер и выдаётся диагностика в случае высотного несоответствия или

отсутствия ввода, неправильное значение корректируется. Диагностируется несоответствие высот по всем замкнутым контурам.

Значения BaseZ в расчётном алгоритме не используются.

4.9.1 Channel – Канал

4.9.1.1 Разрешённые связи элемента

Разрешённые связи элемента Канал с другими элементами кода представлены ниже (см. Таблица 4.59).

Таблица 4.59 – Связи канала

Компонент канала	Кол-во связей	Элемент, с которым можно соединить канал
Вход/Выход Канала	одна	Гидравлическое граничное условие по давлению, расходу или заглушка BoundCell
	одна	Камера Chamber
	одна	Вход или выход Канала Channel
Расчётная ячейка канала	любое	Вход или выход Канала Channel

При задании связи Канала с камерой и граничным условием необходимо определить значение дополнительного атрибута InOut (или InOutTo), который определяет с входом или выходом канала связана камера, а также точки подсоединения к камере XCh (или XChTo) (см. Таблица 4.60, Рисунок 4.39).

Кроме того, при задании связи Канала с Каналом необходимо, чтобы направление каналов было одинаковым – вход одного канала должен быть соединён с выходом другого (связь вход-вход и выход-выход – запрещены, при их задании программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке).

Таблица 4.60 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи канала с камерой

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом канала “From” связана камера. Обязательный атрибут, относящийся к каналу “From”.	[In, Out]	_____
XChTo	REAL	Координата или длина от начала камеры, которая определяет точку на камере подсоединения конца канала “From”, м Необязательный атрибут, относящийся к Камере.	[0, длина камеры]	Половина длины камеры
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий вход или выход канала “To” связан с камерой. Обязательный атрибут, относящийся к каналу “To”.	[In, Out]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
XCh	REAL	Координата или длина от начала камеры, которая определяет точку на камере подсоединения конца канала "To", м Необязательный атрибут, относящийся к Камере.	[0, длина камеры]	Половина длины камеры

При задании связи Канала с Каналом необходимо определить значения дополнительных атрибутов InOut и InOutTo, которые определяют входами или выходами каналы связаны друг с другом (см. Таблица 4.61).

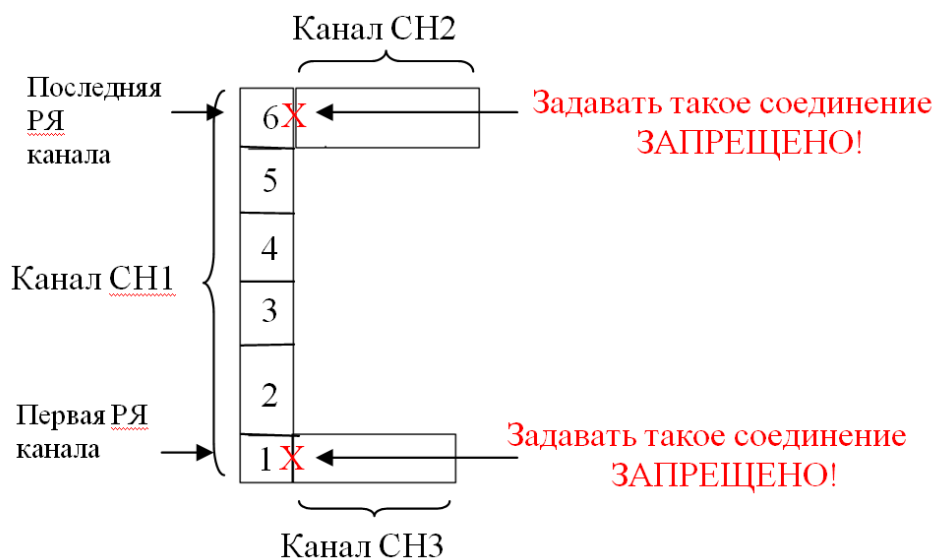
Таблица 4.61 – Дополнительные атрибуты тега Connection при связи Канала с Каналом

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, вход или выход канала From. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий вход или выход канала To. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____

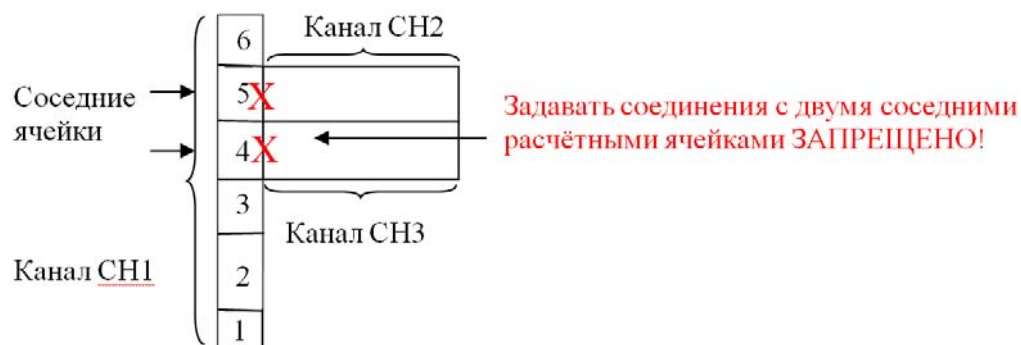
При задании связи Расчётной ячейки канала с выходом или входом другого Каналом есть следующие ограничения:

- нельзя задавать связь с первой и последней расчётной ячейкой канала;
- нельзя задавать связи с соседними расчётными ячейками канала.

Схематично перечисленные выше ограничения показаны на Рисунок 4.38.



a)



б)

Рисунок 4.38 – Ограничения при связи Расчётной ячейки канала с входом или выходом другого Каналом

При задании связи Расчётной ячейки канала с входом или выходом другого Канала необходимо определить значения дополнительных атрибутов: XCh и InOutTo или XChTo и InOut. По значению XCh (XChTo) определяется номер расчётной ячейки канала, с которой связан второй канал; по значению InOut (InOutTo) определяется с входом или выходом канала связана расчётная ячейка канала (см.

Таблица 4.62).

Таблица 4.62 – Дополнительные атрибуты тега Connection при связи расчётной ячейки канала с каналом

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
XCh	CHAR	Координата или длина от входа канала, которая определяет расчётную ячейку и точку соединения канала From, с которой связан вход или выход канала To, м Расчетная ячейка подсоединения канала From в коде моделируются как объект "Камера", со всеми возможностями и ограничениями, свойственными камере. Обязательный атрибут, если задан InOutTo.	[0., 1.e10]	_____
XChTo	CHAR	Координата или длина от входа канала, которая определяет расчётную ячейку и точку соединения канала To, с которой связан вход или выход канала From, м Расчетная ячейка подсоединения канала To в коде моделируются как объект "Камера", со всеми возможностями и ограничениями, свойственными камере. Обязательный атрибут, если задан InOut.	[0., 1.e10]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, вход или выход канала From связан с расчётной ячейкой канала To. Обязательный атрибут, если задан XChTo.	[In, Out]	_____
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий, вход или выход канала To связан с расчётной ячейкой канала From. Обязательный атрибут, если задан XCh.	[In, Out]	_____

Пример описания связи выхода Канала Channel1 и Камеры Chamber1, с заданными по умолчанию атрибутами камеры XCh (или XChTo), показан на Рисунок 4.39.

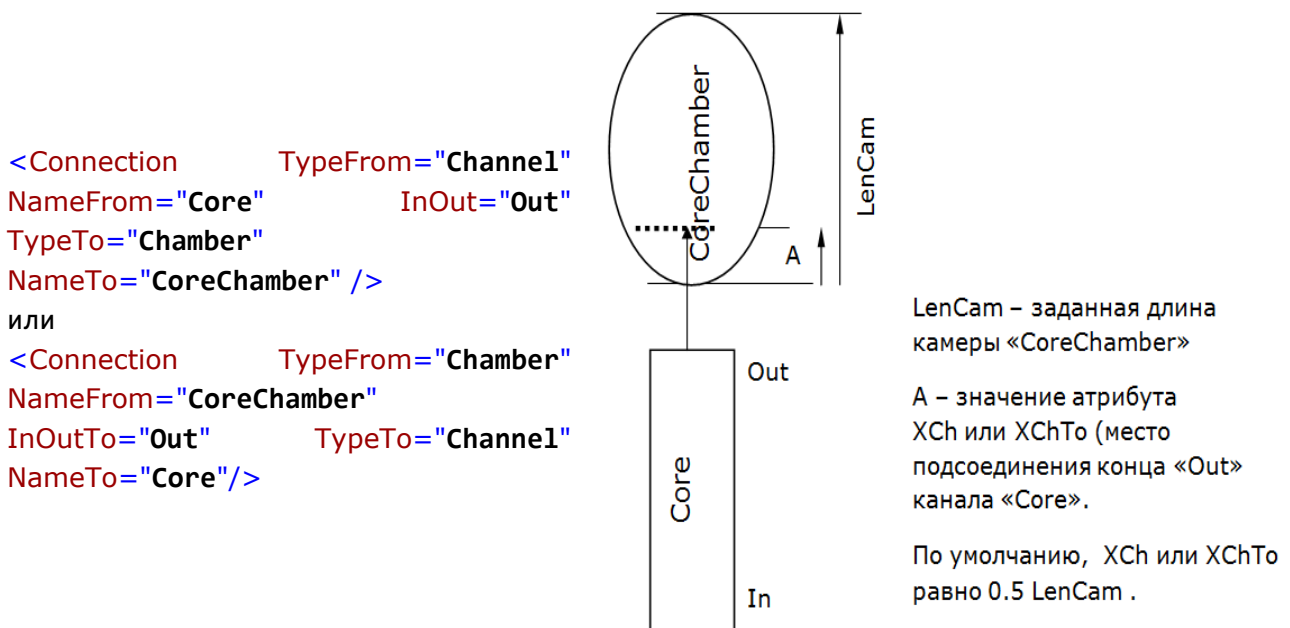


Рисунок 4.39 – Пример описания связи выхода Канала Core и камеры CoreChamber, с заданными по умолчанию атрибутами камеры XCh (или XChTo)

Пример описания связи выхода Канала CH140 с входом канала CH2 показан на Рисунок 4.40.

```

<Connection      NameFrom="CH140"
TypeFrom="Channel"      InOut="Out"
NameTo="CH2"           TypeTo="Channel"
InOutTo="In" />
или
<Connection      NameFrom="CH2"
TypeFrom="Channel"      InOut="In"
NameTo="CH140"         TypeTo="Channel"
InOutTo="Out" />

```

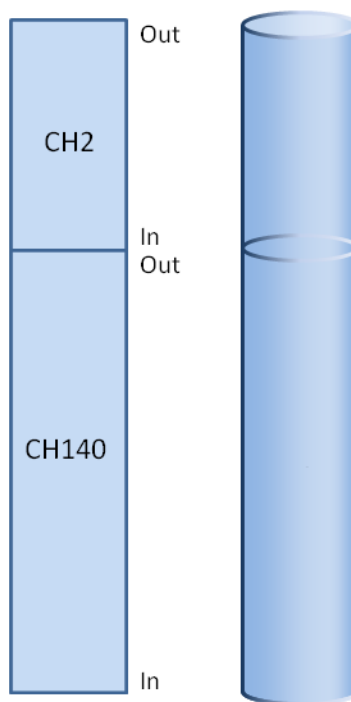


Рисунок 4.40 – Пример описания связи выхода Канала CH140 с входом канала CH2

Пример описания связи входа Канала CH1-T с Расчётной ячейкой канала CH1 показан на Рисунок 4.41.

```

<Connection      NameFrom="CH1"
TypeFrom="Channel"      XCh="1.5"
NameTo="CH1-T"         TypeTo="Channel"
InOutTo="In" />
или
<Connection      NameFrom="CH1-T"
TypeFrom="Channel"      InOut="In"
NameTo="CH1"           TypeTo="Channel"
XChTo="1.5" />

```

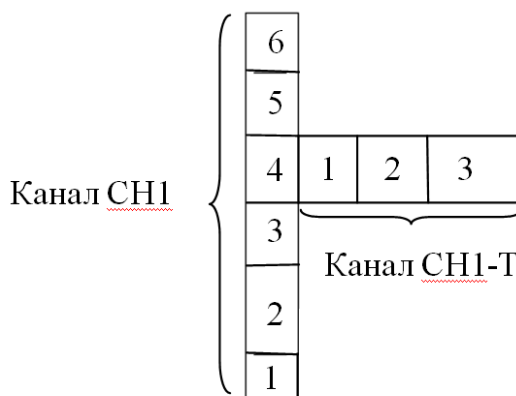


Рисунок 4.41 – Пример описания связи входа Канала CH1-T с Расчётной ячейкой канала CH1

Пояснения к примеру (Рисунок 4.41):

если все расчетные ячейки канала "CH1" имеют длину равную 0.4, то задание пользователем параметра XChTo="1.5" будет означать, что на длине 0.3 ($1.5 - 3 \cdot 0.4 = 0.3$) от начала 4-ой расчетной ячейки канала "CH1" подсоединяется канал "CH1-T";

если все расчетные ячейки канала "CH1" имеют длину 0.45, то задание пользователем параметра XChTo="1.5" будет означать, что на длине 0.15 ($1.5 - 3 \cdot 0.45 = 0.15$) от начала 4-ой расчетной ячейки подсоединяется канал "CH1-T";

если расчетные ячейки канала "CH1" имеют длины: 1-ая 0.7, 2-ая 0.6, 3-я 0.5, то задание пользователем параметра XChTo="1.5" будет означать, что ($1.5 - 0.7 - 0.6 = 0.2$, $0.2 < 0.5$) на длине 0.2 от начала 3-ей расчетной ячейки канала "CH1" подсоединяется канал "CH1-T".

4.9.1.2 Свойства элемента

Основные параметры Канала задаются в теге Channel, являющемся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см. Таблица 4.63).

Таблица 4.63 – Атрибуты тега Channel

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому Каналу HYDRA должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
BaseZ	REAL	Точка привязки к общей высотной системе координат, м Необязательный атрибут.	[-1.e3, 1.e3]	Если нигде не задан, то код установит «0» в первой камере, заданной во входном файле, и далее рассчитает значение по связям
Multiplicity	REAL	Кратность Значение параметра показывает во сколько раз увеличены гидравлические характеристики канала (смоченный периметр и проходное сечение). Параметр влияет на расход через канал и обычно применяется для моделирования нескольких одинаковых каналов одним. Необязательный атрибут.	[1, 1.e7]	1.
CopyOf	CHAR	Имя канала, введённого пользователем, копию которого будет представлять данный канал Параметр позволяет создать копию введённого пользователем канала. В этом случае все параметры данного канала становятся необязательными. Необязательный атрибут.	Любое имя из описанных каналов в тегах Channel	“”
Coolant	CHAR	Имя теплоносителя Необязательный атрибут.	Любое имя из описанных в разделе Coolant	Первое имя (атрибут Name) из заданных в списке Coolant
Component	CHAR	Список компонент активной зоны, которые могут переноситься потоком	{St316, UO2} для Na	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		теплоносителя. Обязательный атрибут, если необходимо провести расчёт с наличием компонент.		
NCGList	CHAR	Список неконденсируемых газов. При отсутствии атрибута газовая фаза содержит только пар теплоносителя Обязательный атрибут, если объектов Теплоноситель с выбранным Coolant два и более, в противном случае – необязательный.	Любое имя из набора NCG того теплоносителя, который задан в атрибуте Coolant .	_____
Superheat	REAL	Величина перегрева теплоносителя перед закипанием, К Если параметр Superheat задан в разделе <Coolant/>, то величина перегрева в ячейках данного канала будет отличаться от общего перегрева по всей системе. Необязательный атрибут.	[0, 1000]	Такое же, как у теплоносителя данного канала.
Circuit	INT	Номер контура, к которому относится канал. Нужно для моделирования миграции трития в контуре. Необязательный атрибут.	[1,3]	1
IsLevel	INT	Флаг, указывающий, что в канале нужно моделировать теплообмен между поверхностью свинцового теплоносителя и крышкой над активной зоной реактора. Необязательный атрибут	[0,1]	0
Dbubble	REAL	Параметр, позволяющий задать диаметр газового пузырька в канале, м Необязательный атрибут	[0, 1]	Расчитывается в процессе расчета.

Для задания геометрии расчётная область канала разбивается на секции. Каждая секция представляет собой набор расчётных ячеек, объединённых по геометрическим характеристикам, с одинаковыми начальными термодинамическими параметрами.

Геометрические параметры секций Канала задаются в тегах Section, которые в свою очередь входят в тег Channel. Список атрибутов для заполнения тега Section представлен ниже (см. Таблица 4.64).

При задании геометрии допускается задать любую из следующих пар параметров: (Perimeter, Deqv), (Area, Deqv) или (Area, Perimeter). Если заданы все три параметра одновременно, то программа семантического контроля выдаст ошибку.

Таблица 4.64 – Атрибуты тега Section (геометрия)

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
CellNumber	INT	Количество РЯ в данной секции Необязательный атрибут.	[1, 1000]	1
Length	REAL	Длина секции, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1000]	_____
Deqv	REAL	Гидравлический диаметр, м Гидравлический диаметр каждой РЯ, входящей в состав секции, будет равен Deqv. Обязательный атрибут, кроме случаев (игнорируется): если заданы атрибуты Area и Perimeter; если используется геометрия типа HexAssembly или QuadAssembly	[1.e-7, 100.]	_____
Area	REAL	Площадь поперечного сечения, м ² Площадь поперечного сечения каждой РЯ, входящей в состав секции, будет равна Area. Обязательный атрибут, кроме случаев (игнорируется): если заданы атрибуты Deqv и Perimeter; если используется геометрия типа HexAssembly или	[1.e-10, 5.0e3]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		QuadAssembly и заданы AssemblySize и PinNumber		
Perimeter	REAL	Смоченный периметр, м Смоченный периметр каждой РЯ, входящей в состав секции, будет равен Perimeter. Обязательный атрибут кроме случаев (игнорируется): если заданы атрибуты Deqv и Area; если используется геометрия типа HexAssembly или QuadAssembly	[1.e-7, 1.e6]	_____
Dh	REAL	Перепад высоты секции, м Перепад высот каждой расчётной ячейки = Dh/CellNumber. В случае, если Dh = 0 – горизонтальный канал. Перепад высоты имеет положительное значение, если выходное соединение расположено выше входного. Необязательный атрибут.	[-1000., 1000.]	0.
Roughness	REAL	Шероховатость, м Шероховатость в каждой РЯ, входящей в состав секции, будет равна Roughness. Необязательный атрибут.	[0, 0.1]	1.e-6

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeCrossSection	CHAR	Тип поперечного сечения (форма) Параметр определяет тип замыкающих соотношений для расчета. Необязательный атрибут.	Для глицерина (атрибут Name = «Gly» в теге Coolant): [Circle, Annular]. Для натрия (атрибут Name = «Na» в теге Coolant): [Circle, Annular, HexAssembly, QuadAssembly, AcrossBundleFin]. Для свинца (атрибут Name = «Pb», или «PbBi» в теге Coolant): [Circle, Annular, AcrossBundle, HexAssembly*, QuadAssembly*].	Circle
<p>*Для свинцового теплоносителя могут быть заданы типы геометрии HexAssembly и QuadAssembly, но только при расчете гидравлических задач без теплообмена, т.к. корреляции для теплообмена со стенкой для этих типов геометрии реализованы только для натриевого теплоносителя.</p>				
HeatConvFactorFluid	REAL	Множитель для коэффициента теплоотдачи жидкой фазы. Используется чтобы учесть изменения теплоотдачи в отдельных секциях канала. Необязательный атрибут.	[0, 1000]	1
HeatConvFactorGas	REAL	Множитель для коэффициента теплоотдачи газовой фазы. Используется чтобы учесть изменения теплоотдачи в отдельных секциях канала.	[0, 1000]	1

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		Необязательный атрибут.		
WallFricFactorFluid	REAL	Только для натриевого теплоносителя. Множитель для коэффициента трения жидкой фазы. Используется чтобы учесть изменения в трении в отдельных секциях канала. Необязательный атрибут.	[0, 100]	1
WallFricFactorGas	REAL	Только для натриевого теплоносителя. Множитель для коэффициента трения газовой фазы. Используется чтобы учесть изменения в трении в отдельных секциях канала. Необязательный атрибут.	[0, 100]	1
<p>Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeCrossSection и типа теплоносителя (вода, натрий, глицерин, свинец или свинец-висмут). Если TypeCrossSection = «AcrossBundle» для свинца (атрибут Name = «Pb»/«PbBi» в теге Coolant), то пользователь должен задать блок дополнительных параметров <GPAddIn>, описанный в Таблица 4.68</p>				
<p>Для сборок (TypeCrossSection = “HexAssembly” или “QuadAssembly”) обязательными являются параметры PinDiam и Pitch. При этом для определения площади проходного сечения и гидравлического диаметра вместо обычных пар параметров: (Perimeter, Deqv), (Area, Deqv), (Area, Perimeter) дополнительно возможны следующие наборы параметров (Area)(при этом гидравлический диаметр Deqv вычисляется из параметров PinDiam и Pitch по элементарным формулам), (AssemblySize, PinNumber).</p>				
PinDiam	REAL	Диаметр ТВЭЛа, м для геометрии типа HexAssembly или QuadAssembly. Обязательный атрибут для данной геометрии.	[1e-4, 0.1]	
Pitch	REAL		[PinDiam,	

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		Шаг ТВЭЛов в сборке, м для геометрии типа HexAssembly или QuadAssembly. Обязательный атрибут для данной геометрии.	2· PinDiam]	
AssemblySize	REAL	Внутренний размер ТВС, м для геометрии типа HexAssembly или QuadAssembly. Обязательный атрибут в случае задания геометрии через пару (AssemblySize, PinNumber).	[1e-4, 10.0]	
PinNumber	INT	Количество ТВЭЛов в сборке. Обязательный атрибут в случае задания геометрии через пару (AssemblySize, PinNumber).	[1, 1000]	
<p>Также для сборок (TypeCrossSection = “HexAssembly” или “QuadAssembly”) возможно задание дополнительных геометрических параметров: диаметр дистанцирующей проволоки (WireDiam), шаг навивки дистанцирующей проволоки (HelixPitch), зазор между стенкой (чехлом) и пристеночными стержнями (WallGap). Для сборок с треугольной упаковкой (TypeCrossSection = “HexAssembly”) есть возможность задать число центральных зон в сборке (CentralZoneNumber), число боковых зон в сборке (SideZoneNumber), число угловых зон в сборке (CornerZoneNumber), которые могут использоваться при расчете замыкающих соотношений в данном типе геометрии.</p>				
WireDiam	REAL	Диаметр дистанцирующей проволоки, м для геометрии типа HexAssembly или QuadAssembly. Необязательный атрибут.	[0, 1.0]	0.0
HelixPitch	REAL		[0.0, 100.0]	0.0

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		Шаг навивки дистанцирующей проволоки, м для геометрии типа HexAssembly или QuadAssembly. Необязательный атрибут.		
WallGap	REAL	Зазор между стенкой (чехлом) и пристеночными стержнями, м для геометрии типа HexAssembly или QuadAssembly. Необязательный атрибут.	[0, 100.0]	WireDiam
CentralZone Number	INT	Число центральных зон в сборке для геометрии типа HexAssembly. Необязательный атрибут.	[1,1000]	1
SideZone Number	INT	Число боковых зон в сборке для геометрии типа HexAssembly. Необязательный атрибут.	[0,1000]	0
CornerZone Number	INT	Число угловых зон в сборке для геометрии типа HexAssembly. Необязательный атрибут.	[0,1000]	0
Для поперечного пучка труб (TypeCrossSection = "AcrossBundleFin") обязательными являются параметры WidthChannel, HeightChannel, NumRows, NumPipes, PipeDiam Step и StepZ.				
WidthChannel	REAL	Ширина воздушного	[0,100]	

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		канала, м. Обязательный атрибут.		
HeightChannel	REAL	Высота воздушного канала, м. Обязательный атрибут.	[0,100]	
NumRows	INT	Количество рядов труб. Обязательный атрибут.	[1,10000]	
NumPipes	INT	Количество труб. Обязательный атрибут.	[1,10000]	
PipeDiam	REAL	Внешний диаметр труб пучка, м. Обязательный атрибут.	[1,1000]	
Step	REAL	Поперечный шаг пучка труб, м. Обязательный атрибут.	[PipeDiam,2]	
StepZ	REAL	Продольный шаг пучка труб, м. Обязательный атрибут.	[PipeDiam,2]	
Angle	REAL	Угол наклона трубок пучка к горизонту, градусы. Необязательный атрибут.	[30,90]	90
FinEnable	CHAR	Наличие оребрения труб. Необязательный атрибут.	[No,Yes]	No
Также для поперечного пучка труб (TypeCrossSection = "AcrossBundleFin") возможно задание дополнительных геометрических параметров, если задан ключ FinEnable="Yes". В этом случае обязательно задание параметров оребрения труб.				
FinPitch	REAL	Шаг оребрения труб, м. Обязательный атрибут при задании FinEnable="Yes"	[0,1]	
FinThickness	REAL	Толщина ребер, м. Обязательный атрибут при задании FinEnable="Yes"	[0,0.1]	
FinHeight	REAL	Высота ребер, м. Обязательный атрибут при задании	[0,1]	

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		FinEnable="Yes"		

Термодинамическое состояние для объекта Канал в начальный момент времени определяется одним из следующих наборов параметров:

- давление, температура жидкой фазы, температура газовой фазы;
- давление, энтальпия жидкой фазы, энтальпия газовой фазы.

Указанные выше термодинамические параметры должны быть заданы либо во вводе канала для каждой секции, либо в блоке Coolant. В противном случае программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке. Задание одновременно значений температур и энтальпий недопустимо.

Параметры термодинамического состояния задаются в теге Section, список атрибутов которого представлен ниже (см. Таблица 4.65).

Отметим особенности использования значения "SAT" при задании температур и энтальпий.

Для жидкой фазы эти значения вычисляются при задании давления, задаваемого атрибутом Pressure.

Для газовой фазы, при наличии NCG, температуры и энтальпии вычисляются при парциальном давлении пара, зависимом от состава смеси и полного давления.

Таблица 4.65 – Атрибуты тега Section (термодинамическое состояние)

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Pressure	REAL	Давление, Па Необязательный атрибут.	[611.2, 1.e8] [SAT]	Из блока Coolant
Tfluid	REAL	Температура жидкой фазы, К Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15] [SAT]	Из блока Coolant
Hfluid	REAL	Энтальпия жидкой фазы, Дж/кг Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Из блока Coolant
Tgas	REAL	Температура газовой фазы, К Необязательный атрибут.	[165., 2273.15] [SAT]	Из блока Coolant
Hgas	REAL	Энтальпия газовой фазы, Дж/кг Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Из блока Coolant
Void	REAL	Истинное объёмное паросодержание Необязательный атрибут. Если значение параметра Void не определено в разделе Section, но задано в разделе Coolant, то присваивается значение из раздела Coolant, а не значение по умолчанию.	[0., 1.]	0.

Содержание неконденсируемых газов в расчётной ячейке (в жидкой и/или газовой фазе) задаётся в тегах NCG, которые в свою очередь входят в тег Section. Тег NCG содержит атрибуты, перечисленные ниже (см.

Таблица 4.66).

Таблица 4.66 – Атрибуты тега NCG

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя неконденсируемого газа. Обязательный атрибут.	Любое имя из описанных в теге NCG раздела Coolant	_____
Xgas	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого газа в газовой фазе. Обязательный атрибут. Если значение Xgas определено в разделе Coolant, то присваивается значение из раздела Coolant.	[0., 1.]	_____
Xfluid	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого газа в жидкой фазе. Необязательный атрибут. Если значение Xfluid определено в разделе Coolant, то присваивается значение из раздела Coolant. Если значение параметра не определено в блоке Coolant, то по умолчанию присваивается Xfluid = 0.	[0., 1.]	0.

Содержание компонент в расчётной ячейке задаётся в тегах Component, которые в свою очередь входят в тег Section. Тег Component содержит атрибуты, перечисленные ниже (см. Таблица 4.67).

Таблица 4.67 – Атрибуты тега Component

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя компоненты (из списка, заданного в теге Component) Обязательный атрибут.	Любое	_____
Fraction	REAL	Объемная доля компоненты. Необязательный атрибут.	[0., 1.]	0
Temperature	REAL	Температура компоненты, К. Обязательный атрибут.	[0., 1e4.]	_____
Diameter	REAL	Диаметр частиц компоненты, м. Необязательный атрибут.	[0., 1e-4.]	1e-4

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
SolveImpulseEqn	CHAR	Флаг решения уравнения импульса для компоненты On – решается уравнение импульса для компоненты, Off – уравнение импульса не решается, компоненты переносятся теплоносителем. Необязательный атрибут.	On/Off	Off

Внутри секции Канала (тег Section) может быть определен блок дополнительных геометрических параметров (тег GPAddIn). Наличие тега GPAddIn, а также набор атрибутов самого тега GPAddIn определяется атрибутом TypeCrossSection. Больше одного блока GPAddIn в секции быть не может, т.е. все дополнительные параметры тега GPAddIn относятся ко всей секции целиком.

Атрибуты тега GPAddIn, если TypeCrossSection=«AcrossBundle» для свинцового и теплоносителя представлены в Таблица 4.68. Этот блок параметров, а также атрибут TypeCrossSection=«AcrossBundle» предназначены для моделирования в секции канала обтекания поперечного пучка труб. Пример записи блока GPAddIn, если TypeCrossSection=«AcrossBundle», представлен на рисунке Рисунок 4.62.

Таблица 4.68 – Атрибуты тега GPAddIn, если TypeCrossSection=«AcrossBundle» для свинца

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
BundleType	CHAR	Тип пучка. “Chess” – для задания «шахматного» расположения труб в пучке, “Square” – для задания «квадратного» расположения труб в пучке Обязательный атрибут.	{“Chess”, “Square”}.	_____
NumRows	INT	Число рядов труб в продольном относительно канала направлении Обязательный атрибут.	[1, 1000]	_____
PipeDiam	REAL	Внешний диаметр трубки из пучка, м Обязательный атрибут.	[10 ⁻⁵ , DiamMax]	_____
Step	REAL	Шаг пучка (расстояние между осями трубок пучка) в поперечном, относительно канала, направлении, м Обязательный атрибут.	[StepMin, StepMax] StepMin д.б. больше диаметра трубки PipeDiam.	_____

StepZ	REAL	Шаг пучка (расстояние между осями трубок пучка) в продольном, относительно канала, направлении, м	[StepZMin, StepZMax] StepZMin д.б. больше диаметра трубки PipeDiam.	_____
Angle	REAL	Угол наклона пучка (в градусах) относительно продольного направления канала, градусы Обязательный атрибут.	[30, 90.]	_____
AreaEff	REAL	Площадь «узкого сечения», м ² Обязательный атрибут.	[10 ⁻¹⁰ , 10 ³]	_____
TypeClosure	CHAR	Тип замыкания, который будет использоваться для расчета теплообмена со стенкой: Default – используется в случае наличия прямого участка (в расчете используется скорость набегающего потока на прямом участке) SteamGenerator – используется в случае отсутствия свободного участка (расчет производится по скорости в узком сечении) Необязательный атрибут.	[Default, SteamGenerator]	Default
NameCHVel	CHAR	Имя канала, из которого нужно брать скорость набегающего потока для расчета теплообмена со стенкой Обязательный, если TypeClosure=Default	Любое имя из каналов, заданных пользователем	_____
NumberCellCH	INT	Номер ячейки канала NameCHVel, из которой нужно брать значение скорости набегающего потока Обязательный, если TypeClosure=Default	[1,N], где N – количество ячеек в канале NameCHVel	_____

Площадь поперечного сечения секции канала (“Area”) д.б. задана пользователем таким образом, чтобы при умножении на длину секции получался верный объем (то есть должны быть учтены все особенности конструкции – решетки, гребенки, поперечные пучки т.п.). Исходя из тех же условий должен быть задан и смоченный периметр (“Perimeter”).

Также должны быть выполнены следующие условия: $(NumRows-1)*StepZ+PipeDiam < Length$, $Step+PipeDiam < Width$, где Length – длина секции, Width – «ширина», поперечный размер сечения канала. Поэтому DiamMax, StepMax и StepZMax определяются с учетом этих условий.

4.9.1.3 LocalResistance – Местное сопротивление

В Канале может быть определено Местное сопротивление, характеристики которого задаются в тегах LocalResistance, которые в свою очередь входят в тег Channel. Атрибуты тега LocalResistance представлены в Таблица 4.69.

Таблица 4.69 – Атрибуты тега LocalResistance

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Обязательный атрибут.	Любое	_____
X	REAL	Расстояние от начала канала, м Обязательный атрибут.	[0 ⁰ , 1000.]	_____
TypeDirect Resistance	CHAR	Ключ, определяющий, какой тип местного сопротивления пользователь задаёт в положительном направлении: Grid – дистанцирующая решетка; Enter – вход в трубу; Exit – выход из трубы на экран; ExitSpace – выход из трубы в большое пространство; Diaphragm – диафрагма; LimeBend – поворот трубопровода; CircularLimeBend – пространственный разворот потока на 180 ⁰ ; Flanc – фланцевое соединение; StopCock – запорный клапан; AbruptArea – расчет сопротивления по модели «резкое изменение сечения»;	[Grid, Enter, Exit, ExitSpace, Diaphragm, LimeBend, CircularLimeBend, Flanc, StopCock, SupportPlate, AbruptArea, AbruptExtantion, AbruptContraction, Triple, CF, TF, Const]	Const
TypeDirect Resistance (продолжение)	CHAR	SupportPlate – дистанционирующая решетка;		

		<p>AbruptExtantion – резкое расширение канала; AbruptContraction – резкое сужение канала; Triple – тройник; CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа. Необязательный атрибут.</p>		
<p>Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeDirectResistance Если TypeDirectResistance = «CF»</p>				
DirectResistance	CHAR	<p>Имя функции, определяющей значение коэффициента местного сопротивления в положительном направлении Обязательный атрибут.</p>	Любое (максимум 100 символов)	_____
<p>Если TypeDirectResistance = "TF"</p>				
DirectResistance	CHAR	<p>Имя таблицы, определяющей значения коэффициента местного сопротивления в положительном направлении Обязательный атрибут.</p>	Любое (максимум 100 символов)	_____
<p>Если TypeDirectResistance = "Const"</p>				
DirectResistance	REAL	<p>Коэффициент местного сопротивления в положительном направлении Обязательный атрибут.</p>	[0, 1.e10]	_____
TypeInverseResistance	CHAR	<p>Ключ, определяющий, какой тип местного сопротивления пользователь задаёт в отрицательном направлении: Enter – вход в трубу; Exit – выход из трубы на экран; ExitSpace – выход из трубы в большое пространство; Triple – тройник; Diaphragm – диафрагма; LimeBend – поворот трубопровода; CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа. Необязательный атрибут. Примечание: сопротивление типа резкого сужения или расширения задается в DirectResistance, а для InverseResistane автоматически вычисляется</p>	[Enter, Exit, ExitSpace, Diaphragm, LimeBend, AbruptArea, Triple, CF, TF, Const]	Const

		обратное ему.		
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeInverseResistance Если TypeInverseResistance ="CF"				
InverseResistance	CHAR	Имя функции, определяющей значение коэффициента местного сопротивления в отрицательном направлении Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeInverseResistance ="TF"				
Inverse Resistance	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения коэффициента местного сопротивления в отрицательном направлении Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeInverseResistance ="Const"				
InverseResistance	REAL	Коэффициент местного сопротивления в отрицательном направлении Обязательный атрибут.	[0, 1.e10]	-----
Примечание – Значение атрибута X не может превышать значения общей длины канала, в противном случае программа семантического контроля выдаст предупреждение. В том случае, если пользователь задал значение атрибута X равным середине ячейки, локальное сопротивление будет добавлено в правое соединение этой ячейки.				

Ниже подробно описаны дополнительные обязательные атрибуты для каждого типа местного сопротивления в канале.

Гидравлические потери при наличии дистанцирующей решетки

Таблица 4.70 – Дополнительные атрибуты тега LocalResistance для сопротивления типа Grid

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
GridArea	REAL	Площадь дистанцирующей ячейки, м ² Необязательный атрибут.	[0.0,100.]	0.0

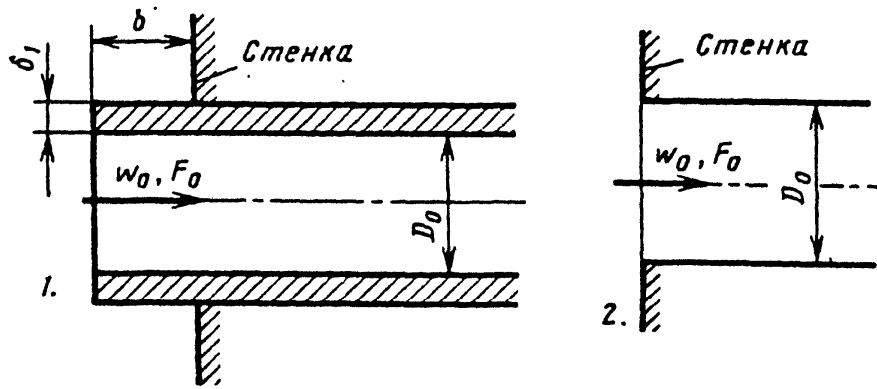
Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.42) записи местного сопротивления типа "дистанцирующая решетка" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3" TypeDirectResistance="Grid" GridArea=".02" />
```

Рисунок 4.42 – Пример записи элемента в XML-формате

Гидравлические потери на входе в трубы и каналы

Схема входа в трубу из большого пространства показана на Рисунок 4.43.



$$D_r = 4F_0 / \Pi_0$$

Рисунок 4.43 – Схема входа в трубу из большого пространства

Таблица 4.71 – Дополнительные атрибуты тега LocalResistance для сопротивления типа Enter

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
BToDiam	REAL	Отношение расстояния до стены к гидравлическому диаметру (b/D_r (см. Рисунок 4.43)) Обязательный атрибут.	[0, 1.e5]	_____
DeltaToDiam	REAL	Отношение толщины трубы к гидравлическому диаметру (δ/D_r (см. Рисунок 4.43)) Обязательный атрибут.	[0, 1.e5]	_____

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.44) записи местного сопротивления типа "вход в трубу" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3"
  TypeDirectResistance="Enter" BToDiam=".02" DeltaToDiam="0.016"/>
```

Рисунок 4.44 – Пример записи элемента в XML-формате

Гидравлические потери при выходе из трубы на экран

Схема выхода потока из трубы на экран показана на Рисунок 4.45.

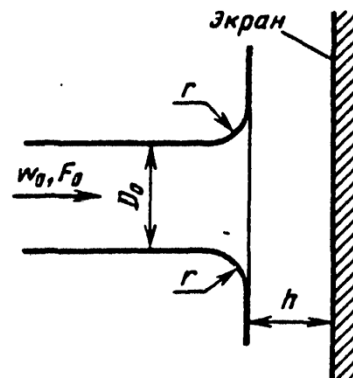


Рисунок 4.45 – Схема выхода потока из трубы на экран

Таблица 4.72 – Дополнительные атрибуты тега LocalResistance для сопротивления типа Exit

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
rToDiam	REAL	Отношение радиуса скругления к диаметру трубы (r/D_0) (см. Рисунок 4.45) Обязательный атрибут.	[0.2;0.5]	_____
hToDiam	REAL	Отношение ширины трубы-экрана к диаметру трубы (h/D_0) (см. Рисунок 4.45) Обязательный атрибут.	[0.07; 1] для rToDiam из диапазона [0.2;0.5] [0.05; 1] для rToDiam = 0.5	_____

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.46) записи местного сопротивления типа "выход на экран" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3"
  TypeDirectResistance="Exit" rToDiam=".2" hToDiam="0.086"/>
```

Рисунок 4.46 – Пример записи элемента в XML-формате

Гидравлические потери при выходе из трубы в большое пространство

При использовании данного типа локального сопротивления задавать дополнительные параметры не нужно. Достаточно просто задать тип ExitSpace. Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.47) записи местного сопротивления типа "выход на экран" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3" TypeDirectResistance="ExitSpace" "/>
```

Рисунок 4.47 – Пример записи элемента в XML-формате

Гидравлические потери при течении в диафрагме

На Рисунок 4.48 представлена схема канала с диафрагмой.

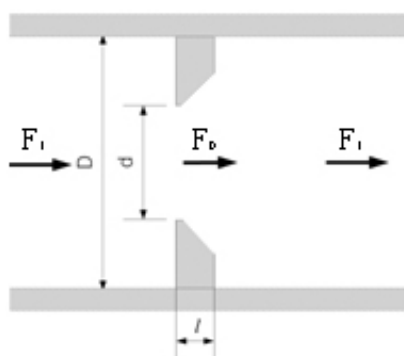


Рисунок 4.48 – Схема канала с диафрагмой

Данный тип сопротивления нельзя использовать в первом и последнем соединениях канала. В противном случае код выдаст ошибку и завершит работу. Кроме того, как видно из Рисунок 4.48, площади сечения ячеек справа и слева от места расположения соединения, в котором указано локальное сопротивление, должны быть одинаковы.

Таблица 4.73 – Дополнительные атрибуты тега LocalResistance для сопротивления типа Diaphragm

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
F0	REAL	Площадь отверстия диафрагмы, м ² Обязательный атрибут.	[1.e-8,100.]	_____

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.49) записи местного сопротивления типа "диафрагма" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3" TypeDirectResistance="Diaphragm" F0=".02" />
```

Рисунок 4.49 – Пример записи элемента в XML-формате

Коэффициент местного сопротивления поворота трубопровода

Схема поворота трубопровода на угол δ приведена на Рисунок 4.50.

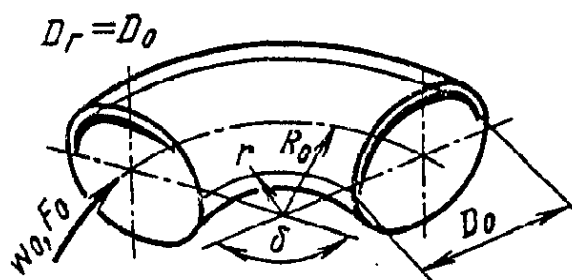


Рисунок 4.50 – Поворот трубопровода

Таблица 4.74 – Дополнительные атрибуты тега LocalResistance для сопротивления типа LimeBend

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
delta	REAL	Угол поворота трубопровода в градусах Обязательный атрибут.	[1.e-8;180]	_____
R0	REAL	Радиус кривизны трубопровода, м Обязательный атрибут.	[1.e-8;1000]	_____
D0	REAL	Диаметр трубопровода, м Обязательный атрибут.	[1.e-8;1000]	_____

При этом соотношение R_0/D_0 должно быть не меньше 0,5.

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.51) записи местного сопротивления типа "поворот трубопровода" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3" TypeDirectResistance="LimeBend" delta="10" R0="0.016" D0="0.03" />
```

Рисунок 4.51 – Пример записи элемента в XML-формате

Гидравлические потери при пространственном развороте потока на 180°

Схема пространственного разворота потока на 180° при выходе из кольцевого зазора представлена на Рисунок 4.52.

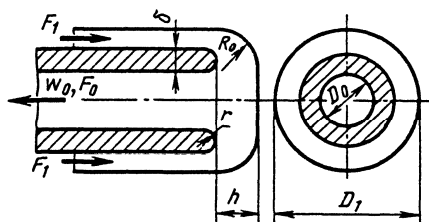


Рисунок 4.52 – Поворот на 180° всасывание

Таблица 4.75 – Дополнительные атрибуты тега LocalResistance для сопротивления типа CircularLimeBend

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
rToD0	REAL	Отношение радиуса внутреннего скругления к внутреннему диаметру (r/D_0) (см. Рисунок 4.52) Обязательный атрибут.	[0.05;0.2]	_____
hToD0	REAL	Отношение высоты поворота к внутреннему диаметру (h/D_0) (см. Рисунок 4.52) Обязательный атрибут.	[0.1; 2]	_____
F1ToF0	REAL	Отношение площади поперечного сечения кольца к площади сечения поворотной трубы ($F1/F0$) (см. Рисунок 4.52) Обязательный атрибут.	[0.75; 2.1]	_____

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.53) записи местного сопротивления типа "пространственный разворот потока" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3"
  TypeDirectResistance="CircularLimeBend" hToD0=".15" rToD0="0.056"
  F1ToF0=".8"/>
```

Рисунок 4.53 – Пример записи элемента в XML-формате

Фланцевое соединение

Таблица 4.76 – Дополнительные атрибуты тега LocalResistance для сопротивления типа Flanc

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
D0	REAL	Внутренний диаметр трубы, м Обязательный атрибут.	[1.e-8,100.]	_____

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.54) записи местного сопротивления типа "фланцевое соединение" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3"TypeDirectResistance="Flanc" D0=".02" />
```

Рисунок 4.54 – Пример записи элемента в XML-формате

Дистанционирующая решётка

На Рисунок 4.55 представлена схема канала с дистанционирующей решеткой.

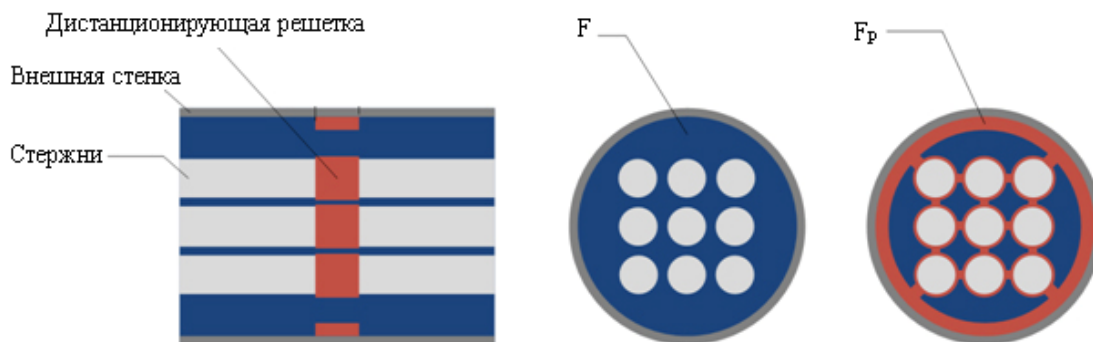


Рисунок 4.55 – Схема канала с дистанционирующей решёткой

Таблица 4.77 – Дополнительные атрибуты тега LocalResistance для сопротивления типа SupportPlate

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Fp	REAL	Площадь дистанционирующей решетки, м2 Обязательный атрибут.	[1.e-8,100.]	_____

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.56) записи местного сопротивления типа "дистанционирующая решетка" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3"
TypeDirectResistance="SupportPlate" Fp=".02" />
```

Рисунок 4.56 – Пример записи элемента в XML-формате

Запорный клапан

Схема запорного клапана представлена на Рисунок 4.57.

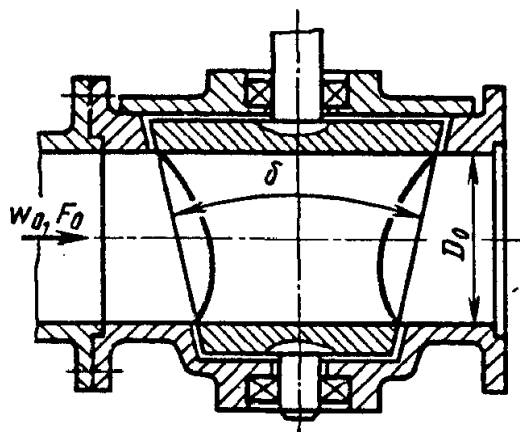


Рисунок 4.57 – Запорный клапан

Таблица 4.78 – Дополнительные атрибуты тега LocalResistance для сопротивления типа StopCock

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
delta	REAL	Угол поворота клапана в градусах Обязательный атрибут.	[0,85.]	_____

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.58) записи местного сопротивления типа "запорный клапан" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3"
  TypeDirectResistance="StopCock" delta="25.0" />
```

Рисунок 4.58 – Пример записи элемента в XML-формате

Гидравлические потери в вытяжном и приточном тройниках

Для учета гидравлических потерь в тройниках в коде используется местное сопротивление типа Triple. Его можно использовать только при наличии Т-соединения каналов. В этом случае сопротивление задается для канала, чья ячейка соединяется с входом или выходом другого канала. При этом располагаться местное сопротивление должно непосредственно за ячейкой, соединяющейся с входом или выходом другого канала – то есть параметр X должен быть больше параметра XCh или XChTo (в зависимости от варианта записи связи) на половину длины ячейки канала, которая соединена в другом каналом.

Для описания объекта Местное сопротивление типа Triple дополнительных атрибутов не требуется.

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.59) записи местного сопротивления типа "тройник" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3"
  TypeDirectResistance="Triple" />
```

Рисунок 4.59 – Пример записи элемента в XML-формате

Гидравлические потери при течении с внезапным резким расширением и сужением канала.

На Рисунок 4.60 представлена схема канала с резким расширением и сужением.

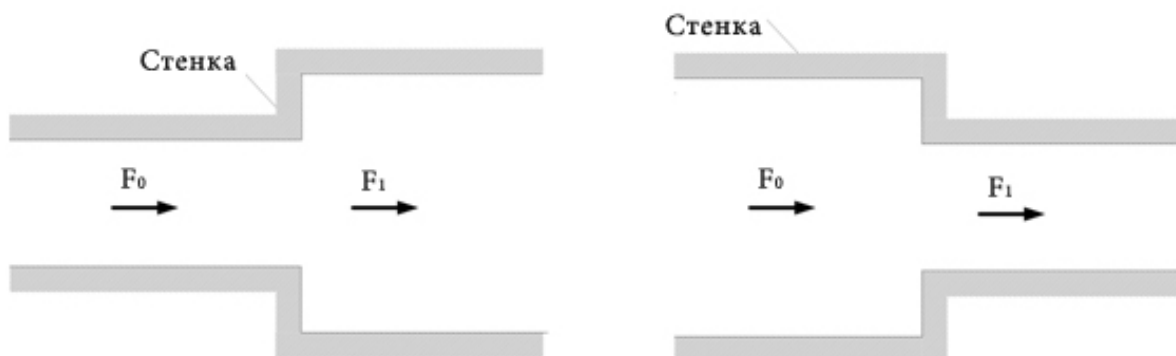


Рисунок 4.60 – Геометрия резкого сужения и расширения канала

Для описания объекта Местное сопротивление типа `AbruptExtantion` и `AbruptContraction` дополнительных атрибутов не требуется. Данный тип сопротивления нельзя использовать в первом и последнем соединениях канала. В противном случае код выдаст диагностику и завершит работу.

Ниже приведен пример (см. Рисунок 4.61) записи местного сопротивления типа "резкое расширение канала" в XML-формате.

```
<LocalResistance Name="BEND" X="0.3"
  TypeDirectResistance="AbruptExtantion" />
```

Рисунок 4.61 – Пример записи элемента в XML-формате

Все дополнительно описанные типы местного сопротивления применимы для однофазного теплоносителя. Подробное описание модели каждого из вышеописанных типов местного сопротивления находится в Руководстве по моделям теплогидравлического кода HYDRA-IBRAE.

4.9.1.4 Valve – Клапан

В канале могут задаваться клапаны. Основные параметры элемента Клапан задаются в теге `Valve`, являющимся подуровнем в канале (смотреть Таблица 4.79). Индекс соединения, в которое будет установлен клапан, вычисляется автоматически по координате X , заданной пользователем. При задании клапана в соединении для этого же соединения обязательно должно быть задано местное сопротивление (тег `LocalResistance`, Таблица 4.69), в противном случае программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке.

Таблица 4.79 – Атрибуты тега `Valve`

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому клапану должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
X	REAL	Координата расположения клапана относительно начала канала, с которым он связан, м Обязательный атрибут. Примечание: Точка расположения клапана должна обязательно находиться в интервале: [0, L], где L – длина канала, на который устанавливается клапан. В противном случае, программа семантического контроля выдаст ошибку. Индекс соединения между расчётными ячейками канала, в которое устанавливается клапан, программа вычисляет автоматически.	[0., 1000.]	_____
Type	CHAR	Тип клапана Обязательный атрибут.	[Standard, Check, Controlled]	_____
Примечание – Значение атрибута X не может превышать значения общей длины канала, в противном случае программа семантического контроля выдаст предупреждение.				

Ввод дополнительных атрибутов для элемента клапан зависит от типа клапана, заданного пользователем (значение атрибута Type).

Для стандартного клапана (Type="Standard") в теге Valve потребуется дополнительно задать атрибуты, описанные в Таблица 4.80: относительную долю открытия клапана для положительного и отрицательного направлении течения теплоносителя.

Таблица 4.80 – Дополнительные атрибуты тега Valve для клапана Standard

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeDirectFluxFrac	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт долю открытия клапана в положительном направлении течения теплоносителя: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeDirectFluxFrac Если TypeDirectFluxFrac ="CF"				
DirectFluxFrac	CHAR	Имя функции, определяющей значение доли открытия клапана в положительном направлении течения теплоносителя	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		Обязательный атрибут.		
Если TypeDirectFluxFrac ="TF"				
DirectFluxFrac	CHAR	Имя таблицы, определяющей долю открытия клапана в положительном направлении течения теплоносителя Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeDirectFluxFrac ="Const"				
DirectFluxFrac	REAL	Доля потока в положительном направлении течения теплоносителя Необязательный атрибут.	[0., 1.]	1.
TypeReverseFluxFrac	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт долю открытия клапана в отрицательном направлении течения теплоносителя: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeReverseFluxFrac Если TypeReverseFluxFrac ="CF"				
ReverseFluxFrac	CHAR	Имя функции, определяющей значение доли открытия клапана в отрицательном направлении течения теплоносителя Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeReverseFluxFrac ="TF"				
ReverseFluxFrac	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения доли открытия клапана в отрицательном направлении течения теплоносителя Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeReverseFluxFrac ="Const"				
ReverseFluxFrac	REAL	Значение доли открытия клапана в отрицательном направлении течения теплоносителя Необязательный атрибут.	[0., 1.]	1.

Для обратного клапана, пропускающего жидкую или газовую фазу только в одном направлении, (Type="Check"), в теге Valve потребуется дополнительно задать атрибуты, описанные в Таблица 4.81. Направление течения, в котором клапан открыт, определяется с помощью параметра OpenDirection пользователем.

Таблица 4.81 – Дополнительные атрибуты тега Valve для обратного клапана Check

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
DpOpen	REAL	Перепад давления для открытия клапана, Па Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____
DpClose	REAL	Перепад давления для закрытия клапана, Па Величина перепада давления для закрытия клапана должна быть меньше перепада давления для открытия клапана. Обязательный атрибут.	[-DpOpen., DpOpen]	_____
DtOpen	REAL	Продолжительность открытия клапана, с При нулевом значении открывается за один шаг. Необязательный атрибут.	[0., 1.E35]	0.0
DtClose	REAL	Продолжительность закрытия клапана, с При нулевом значении закрывается за один шаг. Необязательный атрибут.	[0., 1.E35]	0.0
OpenDirection	CHAR	Направление течения теплоносителя, при котором клапан открыт Direct соответствует положительному знаку скорости теплоносителя в канале. Необязательный атрибут.	[Direct, Reverse]	Direct
InitFraction Open	REAL	Начальная доля открытого сечения от полного Обязательный атрибут.	[0., 1.]	_____

Для клапана Type = "Controlled" в теге Valve задаются дополнительные атрибуты, представленные в Таблица 4.82. Для этого типа клапана пользователь должен задать зависимость площади проходного сечения в виде таблицы, формулы или константы.

Таблица 4.82 – Дополнительные атрибуты тега Valve для управляемого клапана Controlled

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeArea	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт площадь проходного сечения: CF – функциональная зависимость;	[CF, TF, Const]	Const

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.		
Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeArea Если TypeArea = "CF"				
Area	CHAR	Имя функции, определяющей значение площади проходного сечения в м ² Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeArea = "TF"				
Area	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения площади проходного сечения в м ² Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeArea = "Const"				
Area	REAL	Площадь проходного сечения, м ² Обязательный атрибут.	[0., 10 ¹⁰ .]	_____

4.9.1.5 Tritium – Массоперенос трития и водорода

Для моделирования переноса трития и водорода в случае натриевого теплоносителя необходимо задать тег Tritium, который входит в тег Channel. Список атрибутов представлен ниже (см.

Таблица 4.83).

Таблица 4.83 – Атрибуты тега Tritium

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
MassTritium	REAL	Начальная масса трития в канале, кг. Обязательный атрибут.	[0, 1000]	_____
MassHydrogen	REAL	Начальная масса водорода в канале, кг. Необязательный атрибут.	[0, 1000]	0
MassFluxTritium	REAL	Источник трития в канале, кг/с. Обязательный атрибут.	[0, 1000]	_____
MassFluxHydrogen	REAL	Источник водорода в канале, кг/с. Необязательный атрибут.	[0, 1000]	0
IsLam	INT	Флаг использования в расчетах постоянной распада	[0,1]	1

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		Трития. Необязательный атрибут.		
P_T	REAL	Коэффициент проницаемости для трития, моль/(м*с*Па ^{0,5}) Необязательный атрибут.	[0,1000.0]	Рассчитывается по формуле.
Phase	CHAR	Флаг, определяющий основную несущую среду для трития. Необязательный атрибут.	[Fluid, Gas]	Fluid

После чтения атрибутов тега Tritium код автоматически делит каждое значение на количество ячеек в канале. Таким образом, начальная масса и источник будут равномерно распределены вдоль всего канала.

Если необходимо моделирование стока трития и водорода вследствие проницаемости компонентов через стенки теплопроводящей структуры, нужно указать соответствующий флаг у HeatStruct (см. раздел 4.9.6).

При моделировании миграции трития и водорода предполагается, что в первом контуре может быть только ПТО, во втором – ПТО и ПГ, в третьем (водяном) – только ПГ (у теплопроводящих структур, с помощью которых моделируются данные объекты, должны быть выставлены соответствующие флаги – см. раздел 4.9.6).

Для моделирования холодной ловушки нужно ввести дополнительные атрибуты тега Tritium (см. Таблица 4.84).

Таблица 4.84 – Атрибуты тега Tritium для моделирования холодной ловушки

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
KColdTrap	REAL	Коэффициент удержания трития и водорода в холодной ловушке. Необязательный атрибут.	[0, 1000]	0,8
TempColdTrap	REAL	Температура натрия на выходе из холодной ловушки, кг. Обязательный атрибут, если моделируется холодная ловушка. В противном случае не используется.	[603, 5000]	_____
MassFluxColdTrap	REAL	Расход натрия через холодную ловушку, кг/с. Обязательный атрибут, если моделируется холодная ловушка. В противном случае не используется.	[0, 1000]	_____
X_ColdTrap	REAL	Координата места положения холодной ловушки от начала	[0, 1000]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		канала, м. Обязательный атрибут, если моделируется холодная ловушка. В противном случае не используется.		

Для моделирования сброса питательной воды в третьем контуре нужно ввести дополнительные атрибуты тега Tritium (см. Таблица 4.85).

Таблица 4.85 – Атрибуты тега Tritium для сброса питательной воды в третьем контуре

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
MassFluxFWS	REAL	Расход воды на подпитку третьего контура, кг/с. Обязательный атрибут, если моделируется сброс питательной воды, иначе не используется.	[0, 1000]	_____
X_FWS	REAL	Координата места положения сброса от начала канала, м. Обязательный атрибут, если моделируется сброс питательной воды, иначе не используется.	[0, 1000]	_____

Для моделирования протечек через неплотности элементов РУ в атмосферу вместе с теплоносителем нужно ввести дополнительные атрибуты тега Tritium (см. Таблица 4.86). Если же необходимо промоделировать протечку не в атмосферу, а, к примеру в ЗО (защитную оболочку), то обязательно нужно указать значение атрибута IsLeakageOut равное 0, так как по умолчанию считается, что протечка происходит именно в атмосферу.

Таблица 4.86 – Атрибуты тега Tritium для моделирование протечек

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
MassFluxLeakage	REAL	Расход протечки, кг/с. Обязательный атрибут, если моделируется протечка, иначе не используется.	[0, 1000]	_____
X_Leakage	REAL	Координата места положения протечки от начала канала, м. Обязательный атрибут, если моделируется протечка, иначе не используется.	[0, 1000]	_____
IsLeakageOut	INT	Флаг, определяющий куда происходит протечка.	[0, 1]	1

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		Необязательный атрибут.		

4.9.1.6 Запись элемента в XML- формате

Пример ввода исходных данных объекта Канал Channel1 в XML-формате показан на Рисунок 4.62.

```
<Channel Name="CH3" Multiplicity="1" Coolant="PbBi">
  <Section CellNumber="10" Length="1.0" TypeCrossSection="AcrossBundle"
    Area="4.7e-4" Perimeter="0.25" Dh="-1.0" Roughness="1.0e-4">
    <GPAddIn BundleType="Chess" NumRows="20" PipeDiam="0.003" Step="0.009"
      StepZ="0.006" Angle="74.">
    </GPAddIn>
  </Section>
</Channel>
```

Рисунок 4.62 – Пример ввода данных канала с поперечным пучком труб (TypeCrossSection=«AcrossBundle»)

4.9.2 Chamber – Камера

Элемент гидравлической сети Камера предназначен для расчёта параметров теплоносителя в объёме, имеющем более двух соединений с контуром. Соединение объёма камеры с контуром осуществляется с помощью каналов.

Уравнение количества движения для камеры не рассчитывается; скорости фаз теплоносителя в камере, необходимые для расчёта замыкающих соотношений, получаются усреднением скоростей фаз, рассчитываемых в связанных с камерой каналах и вырожденных каналах.

Вместе с тем камера является полноправной ячейкой как и ячейки канала и для камеры решаются уравнения сохранения масс и энергий фаз ровно так же как и для ячеек канала.

Уравнения импульса в соединениях канала, граничащих с камерой решаются точно так же как и во внутренних соединениях канала. Различия здесь только в определении характерной длины (длины трения), величина которой зависят от положения точки подсоединения канала к камере.

4.9.2.1 Разрешённые связи элемента

Таблица 4.87 – Связи камеры

Компонент камеры	Кол-во связей	Связуемый элемент
Камера	Любое	Вход/выход каналов Channel
	Одна	Источник массы MassSource (в стадии разработки)
	Любое	Вход/выход Активной зоны Core Вход или выход каналов, заданных в атрибуте ListZones, входящих в состав активной зоны Core.
	Одна	Вход/выход каналов межкассетного пространства Активной зоны Core

Компонент камеры	Кол-во связей	Связуемый элемент
	Одна	Вход/выход Тепловыделяющей сборки FuelAssembly Вход или выход каналов, заданных в атрибуте ListZones, входящих в состав Тепловыделяющей сборки FuelAssembly.

Для соединения Камеры с объектом Канал, каналами Активной зоны или каналами Тепловыделяющей сборки необходимо задать дополнительный атрибут в теге Connection – атрибут InOut(или InOutTo) , а также точки подсоединения к камере XCh (или XChTo). (см. Таблица 4.88). Это связано с тем, что у Канала, Тепловыделяющей сборки и Активной зоны есть вход и выход. Атрибут InOut (или InOutTo) может принимать два значения: Out и In. Таким образом, атрибут XCh (или XChTo) относится к Камере, а атрибут InOut (или InOutTo) относится к объекту (Канал, канал Активной зоны или канал Тепловыделяющей сборки), с которым эта Камера соединяется.

Таблица 4.88 – Дополнительные атрибуты тега Connection при связи Камеры с Каналом

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом объекта “From” (Канал) связана Камера Обязательный атрибут, относящийся к объекту “From”.	[In, Out]	_____
XChTo	REAL	Координата или длина от начала камеры, которая определяет точку на камере подсоединения конца элемента “From”, м Необязательный атрибут, относящийся к Камере.	[0, длина камеры]	Половина длины камеры
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом объекта “To” связана Камера Обязательный атрибут, относящийся к объекту “To”.	[In, Out]	_____
XCh	REAL	Координата или длина от начала камеры, которая определяет точку на камере подсоединения конца элемента “To”, м Необязательный атрибут, относящийся к Камере.	[0, длина камеры]	Половина длины камеры

Таблица 4.89 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи Камеры с каналами Тепловыделяющей сборки FuelAssembly

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
--------------	-----	------------------------------	------------------	-----------------------

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом FuelAssembly (объекта “From”) связана данная камера. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом FuelAssembly (объекта “To”) связана данная камера. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
ListZones	CHAR	Список номеров зон, входящих в тепловыделяющую сборку, с которыми будет соединена Камера. Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания: : – все зоны; : 5 – с первой до пятой зоны; 8 : – с восьмой до последней зоны. Необязательный атрибут.	Любой из номеров зон, заданных в объекте FuelAssembly	“:” (все зоны)

Таблица 4.90 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи Камеры с каналами Активной зоны Core

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом Core (объекта “From”) связана данная камера. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий, с входом или выходом Core (объекта “To”) связана данная камера. Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
ListZones	CHAR	<p>Список номеров зон, входящих в активную зону, с которыми будет связана Камера.</p> <p>Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания:</p> <p>0 – обозначение для Ву_Pass;</p> <p>: – все зоны;</p> <p>: 5 – с первой до пятой зоны;</p> <p>8 : – с восьмой до последней зоны.</p> <p>Необязательный атрибут.</p>	Любой из номеров зон, заданных в объекте Core	“:” (все зоны)
ListZonesFA	CHAR	<p>Список номеров зон ZoneFA, входящих в ТВС, находящуюся в данной зоне Core. С ними будет связана Камера.</p> <p>Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания:</p> <p>: – все зоны;</p> <p>: 5 – с первой до пятой зоны;</p> <p>8 : – с восьмой до последней зоны.</p> <p>Используется, если у каналов-зон ZoneFA данной ТВС нужно задать связь с различными камерами. При этом должен быть указан атрибут ListZones, определяющий к какой зоне Core относится данная связь.</p> <p>Необязательный атрибут.</p>	Любой из номеров зон ZoneFA, заданных ТВС, находящейся в данной зоне	“:” (все зоны ZoneFA)

Таблица 4.91 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи Камеры с каналами межкассетного пространства активной зоны Core

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut	CHAR	<p>Параметр, определяющий, с входом или выходом Core (объекта “From”) связана данная камера.</p> <p>Обязательный атрибут.</p>	[In, Out]	_____
InOutTo	CHAR	<p>Параметр, определяющий, с входом или выходом Core (объекта “To”) связана данная камера.</p> <p>Обязательный атрибут.</p>	[In, Out]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
ListBy_Passes	CHAR	Список номеров каналов межкассетного пространства (идут по порядку с 1, как задаются в объекте Core), входящих в активную зону, в которыми будет связана Камера. Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания: : – все зоны; : 5 – с первой до пятой зоны; 8 : – с восьмой до последней зоны. Обязательный атрибут, если для всех или каких-то выборочных каналов межкассетного пространства нужно задать связь с камерой, отличную от той, что используется для Core.	Любой из номеров зон, заданных в объекте Core	_____

Пример описания связи Камеры CoreChamber с выходом Канала Core показан на Рисунок 4.63.

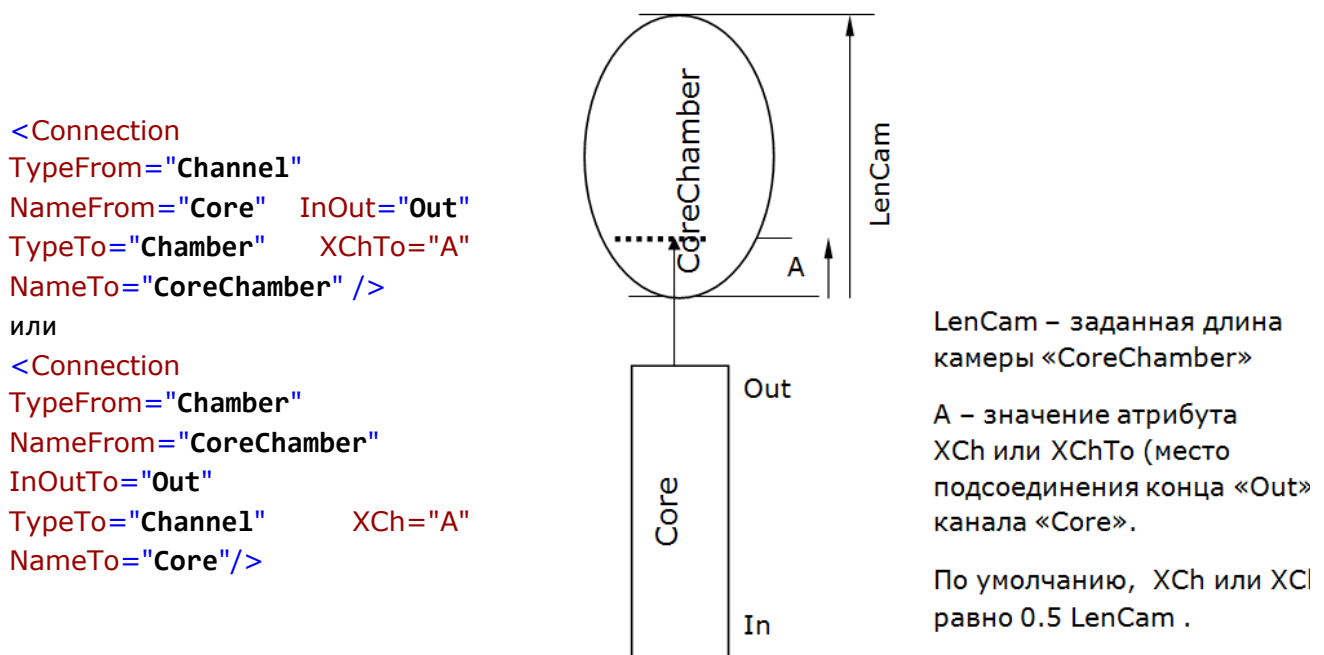


Рисунок 4.63 – Пример описания связи Камеры CoreChamber с выходом Канала Core

Если не указан параметр XCh или XChTo (в зависимости от того камера это объект From или To), то по умолчанию соединение будет сделано в середине камеры и это будет точечная камера. Если же параметр XCh или XChTo указан, то в этом случае вычисляется

перепад Dh между соединениями камеры сверху и снизу, и учитывается в уравнениях добавка $\rho \cdot g \cdot Dh$. В случае с горизонтальной камерой величина Dh равна нулю, и это будет точечная камера.

4.9.2.2 Свойства элемента

Основные параметры Камеры задаются в теге Chamber, являющимся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см.

Таблица 4.92).

Таблица 4.92 – Атрибуты тега Chamber

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждой Камере HYDRA должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
BaseZ	REAL	Точка привязки к общей высотной системе координат, м Необязательный атрибут.	[-1.e3, 1.e3]	Если нигде не задан, то код установит «0» в первой камере, заданной во входном файле, и далее рассчитает значение по связям
Coolant	CHAR	Имя теплоносителя Необязательный атрибут.	Любое имя из описанных в разделе Coolant	Первое имя (атрибут Name) из заданных в списке Coolant
NCGList	CHAR	Список неконденсируемых газов. При отсутствии атрибута газовая фаза содержит только пар теплоносителя Обязательный атрибут, если объектов Теплоноситель с выбранным Coolant два и более, в противном случае – необязательный.	Любой набор из списка {H2, He, N2, O2, Ar, Kr, Xe}, {H2OVar} для свинца (Pb, PbBi) и {NaOH} для натрия (Na) (максимум 100 символов)	_____

С точки зрения геометрии объект Камера практически полностью идентичен гидравлической расчётной ячейке Канала. Геометрические параметры Камеры задаются в единственном теге Section, который в свою очередь входит в тег Chamber. При задании геометрии допускается задать любую из следующих пар: (Perimeter, Deqv), (Area, Deqv) или (Area, Perimeter). Если заданы все три параметра одновременно, то программа семантического контроля выдаст ошибку. Список атрибутов для заполнения тега Section представлен ниже (см. Таблица 4.93).

Таблица 4.93 – Атрибуты тега Section (геометрия)

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Length	REAL	Длина, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1000]	_____
Deqv	REAL	Гидравлический диаметр, м Обязательный атрибут.	[1.e-7, 100.]	Deqv = 4*Area/Perimeter
Area	REAL	Площадь поперечного сечения, м ² Обязательный атрибут.	[1.e-10, 2.5e3]	Area = π *Deqv/4
Perimeter	REAL	Смоченный периметр, м Обязательный атрибут.	[1.e-7, 1.e6]	Perimeter = 4*Area/Deqv
Dh	REAL	Перепад высоты камеры, м В случае, если Dh = 0 – горизонтальная камера. Необязательный атрибут.	[-1000., 1000.]	0.
TypeCrossSection	CHAR	Тип поперечного сечения (форма) Параметр определяет тип замыкающих соотношений. Необязательный атрибут.	[Circle]	Circle

Термодинамическое состояние для объекта Камера в начальный момент времени также задается в теге Section.

Термодинамическое состояние определяется одной из следующих троек:

- (давление, температура жидкой фазы, температура газовой фазы);
- (давление, энтальпия жидкой фазы, энтальпия газовой фазы).

Указанные выше термодинамические параметры должны быть заданы либо во вводе камеры, либо в блоке Coolant. В противном случае программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке. Задание одновременно значений температур и энтальпий недопустимо.

Список атрибутов для заполнения в теге Section представлен ниже (см.

Таблица 4.94).

Таблица 4.94 – Атрибуты тега Section (начальное термодинамическое состояние)

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Pressure	REAL	Давление, Па Обязательный атрибут.	[611.2, 1.e8] [SAT]	Из блока Coolant
Tfluid	REAL	Температура жидкой фазы, К Обязательный атрибут.	[273.25, 2273.15] [SAT]	Из блока Coolant
Hfluid	REAL	Энтальпия жидкой фазы, Дж/кг Обязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Из блока Coolant

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Tgas	REAL	Температура газовой фазы, К Обязательный атрибут.	[165., 2273.15] [SAT]	Из блока Coolant
Hgas	REAL	Энтальпия газовой фазы, Дж/кг Обязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Из блока Coolant
Void	REAL	Истинное объёмное паросодержание Необязательный атрибут. Если значение параметра Void не определено в разделе Section, но задано в разделе Coolant, то присваивается значение из раздела Coolant, а не значение по умолчанию.	[0., 1.]	0.

Содержание неконденсируемых газов в расчётной ячейке (в жидкой и/или газовой фазе) задаётся в тегах NCG, которые в свою очередь входят в тег Section. Тег NCG содержит атрибуты, перечисленные ниже (см.

Таблица 4.95).

Таблица 4.95 – Атрибуты тега NCG

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя неконденсируемого газа Обязательный атрибут.	Любое имя из описанных в теге NCG раздела Coolant	_____
Xgas	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого газа в газовой фазе. Обязательный атрибут. Если значение Xgas определено в разделе Coolant, то присваивается значение из раздела Coolant. Можно использовать константное выражение	[0., 1.]	_____
Xfluid	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого газа в жидкой фазе. Необязательный атрибут. Если значение Xfluid определено в разделе Coolant, то присваивается значение из раздела Coolant. Если значение параметра не определено в блоке Coolant, то по умолчанию присваивается Xfluid = 0. Можно использовать константное выражение	[0., 1.]	0.

4.9.2.3 Запись элемента в XML - формате

Пример ввода исходных данных объекта Камера Chamber1 в XML-формате показан на Рисунок 4.64.

```
<Chamber Name="Chamber1" TypeCrossSection="Circle" Orientation="VerticalUP"
Coolant="H2O">
<Section Length="1." Deqv="0.1" Area="7.85e-3" Pressure="1.e6" Tfluid="293.0"
Tgas="293.0" Void="0.">
<NCG Name="N2" Xgas="0.2" Xfluid="0.1" />
<NCG Name="O2" Xgas="0.4" Xfluid="0.3" />
</Section>
</Chamber>
```

Рисунок 4.64 – Пример ввода исходных данных объекта Камера Chamber1

4.9.3 MassSource – Источник массы

Элемент Источник массы используется для имитации источника теплоносителя с заданными пользователем свойствами. В коде HYDRA при использовании Источника массы в качестве граничного условия втекания необходимо задать массовый расход теплоносителя. В случае, если пользователю необходимо задать ввод теплоносителя с заданной массовой скоростью или объёмным расходом, необходимо перевести их к массовому расходу с помощью аппарата функциональных зависимостей (используя константные формульные выражения) (3.16):

$$\begin{aligned} Mflow &= Mvelocity \cdot S \cdot \rho, \\ Mflow &= Vflow \cdot \rho, \end{aligned} \quad (3.16)$$

где $Mflow$ – массовый расход (кг/с), $Mvelocity$ – массовая скорость (м/с), $Vflow$ – объёмный расход (m^3/c).

Источник массы может быть изменяемым во времени. Для этого можно использовать элементы Control Function (см. раздел 4.8.3). В отличие от начальных условий, где используются константные формульные выражения (формулы, содержащие константы и знаки операций), здесь можно использовать в качестве аргументов формул рассчитываемые в задаче величины. Список этих величин (аргументов формул) приведен в разделе 5.4.1. Эти же аргументы доступны для записи в плот файл для постпроцессорной обработки.

4.9.3.1 Разрешенные связи элемента

Разрешённые связи элемента Источник массы с другими элементами кода представлены в

Таблица 4.96.

Таблица 4.96 – Связи Источника массы

Компонент гидравлического граничного условия	Кол-во связей	Связуемый элемент
Источник массы	1	Ячейки канала Channel или камера Chamber.

При задании связи Источника массы с Каналом необходимо задать один дополнительный атрибут – координату точки соединения (см.

Таблица 4.97). Код HYDRA по координате определит расчётную ячейку канала, в которую будет введён источник массы. В случае, если координата попадает точно на границу между двумя расчётными ячейками, источник будет введён в правую расчётную ячейку. Если координата окажется больше общей длины Канала, то программа автоматически поместит источник массы в последнюю расчётную ячейку Канала и выдаст предупреждение. Один источник массы может быть связан либо с одним каналом или камерой, либо с одним граничным условием.

Таблица 4.97 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи Источника массы с Каналом

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
XCh	REAL	Координата точки введение источника массы в канал, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____

Пример описания связи Источника массы Flow1 с каналом Channel1 показан на Рисунок 4.65.

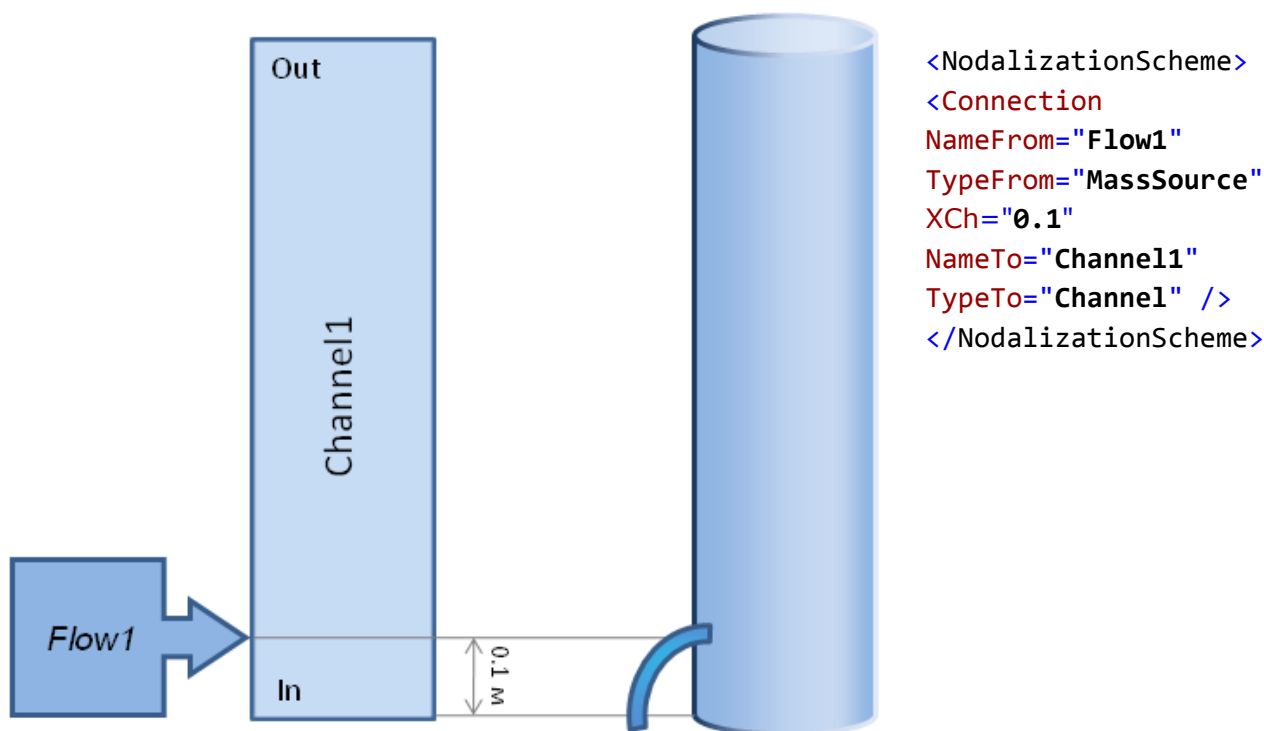


Рисунок 4.65 – Пример описания связи Источника массы и Канала

4.9.3.2 Свойства элемента

Основные параметры Источника массы задаются в теге MassSource, являющимся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см.

Таблица 4.98).

Таблица 4.98 – Атрибуты тега MassSource

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
--------------	-----	------------------------------	------------------	-----------------------

Name	CHAR	Имя объекта Каждому источнику массы должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Coolant	CHAR	Имя теплоносителя Необязательный атрибут.	Имя теплоносителя который задан в объекте с которым соединяется данный MassSource.	Первое имя (атрибут Name) из заданных в списке Coolant
NCGList	CHAR	Список неконденсируемых газов. При отсутствии атрибута газовая фаза содержит только пар теплоносителя Обязательный атрибут, если объектов Теплоноситель с выбранным Coolant два и более, в противном случае – необязательный.	Любое имя из набора NCG того теплоносителя, который задан в атрибуте Coolant .	_____

При задании источника массы необходимо определить массу, втекающую в единицу времени в ячейку канала, и удельную энергию. Для определения энергии пользователю необходимо задать значение температуры или энтальпии. В случае если не задана ни температура, ни энтальпия, значение энтальпии будет взято из блока Coolant. Задание одновременно значений температур и энтальпий недопустимо. Значения параметров могут задаваться в виде константы, временной зависимости (таблица от времени) или функциональной зависимости.

Для задания массы, втекающей в единицу времени в ячейку канала, пользователь должен определить значение массового расхода для жидкой и газовой фазы отдельно. Список атрибутов тега MassSource для этого случая представлен в Таблица 4.99.

Таблица 4.99 – Атрибуты тега MassSource для задания массовых расходов жидкой и газовой фаз

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeMass FlowFluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение массового расхода жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeMass FlowGas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение массового расхода газовой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени;	[CF, TF, Const]	Const

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		Const– константа. Необязательный атрибут.		
TypeMassFlowOut	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение массового расхода смеси, покидающей ячейку: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeMassFlowFluid Если TypeMassFlowFluid ="CF"				
MassFlowFluid	CHAR	Имя функции, определяющей массовый расход жидкой фазы в кг/с Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFlowFluid ="TF"				
MassFlowFluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей массовый расход жидкой фазы в кг/с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFlowFluid ="Const"				
MassFlowFluid	REAL	Массовый расход жидкой фазы, кг/с Обязательный атрибут. Допустимо задание отрицательной величины массового расхода для возможности имитация забора среды из расчётной ячейки канала.	[0., 1.e4]	_____
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeMassFlowGas Если TypeMassFlowGas ="CF"				
MassFlowGas	CHAR	Имя функции, определяющей массовый расход газовой фазы в кг/с Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFlowGas ="TF"				
MassFlowGas	CHAR	Имя таблицы, определяющей массовый расход газовой фазы в кг/с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFlowGas ="Const"				
MassFlowGas	REAL	Массовый расход газовой фазы, кг/с Обязательный атрибут. Допустимо задание отрицательной величины массового расхода для возможности имитация забора среды из расчётной ячейки канала.	[0., 1.e4]	_____
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeMassFlowOut Если TypeMassFlowOut ="CF"				
MassFlowOut	CHAR	Имя функции, определяющей массовый расход смеси,	Любое (максимум	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		покидающей РЯ, в кг/с Обязательный атрибут.	100 символов)	
Если TypeMassFlowOut ="TF"				
MassFlowOut	CHAR	Имя таблицы, определяющей массовый расход смеси, покидающей РЯ, в кг/с в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFlowOut ="Const"				
MassFlowOut	REAL	Массовый расход смеси, покидающей РЯ, кг/с Необязательный атрибут.	[0., 1.e3]	0.0

Параметры термодинамического состояния задаются в теге MassSource. Список необходимых атрибутов представлен в

Таблица 4.100.

Отметим особенности использования значения “SAT” при задании температур и энтальпий.

При использовании источника массы-энергии вводимая температура используется для расчета удельной энтальпии и поскольку здесь, в отличие от ячейки канала или граничного условия, отсутствует ввод давления,

Для газовой фазы, при наличии NCG, температуры и энтальпии вычисляются при парциальном давлении пара, зависимом от состава смеси и полного давления теплоносителя.

Рекомендуется использовать здесь непосредственный ввод удельной энтальпии без использования значения “SAT”.

Таблица 4.100 – Атрибуты тега MassSource (продолжение, термодинамическое состояние)

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeTfluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт температуру жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeHfluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт энтальпию жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeTgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт температуру газовой фазы: CF – функциональная зависимость;	[CF, TF, Const]	Const

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.		
TypeHgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт энтальпию газовой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTfluid Если TypeTfluid ="CF"				
Tfluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение температуры жидкой фазы в К Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTfluid ="TF"				
Tfluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения температуры жидкой фазы в К в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTfluid ="Const"				
Tfluid	REAL	Температура жидкой фазы, К Для того чтобы задать температуру на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeHfluid Если TypeHfluid ="CF"				
Hfluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение энтальпии жидкой фазы в Дж/кг Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHfluid ="TF"				
Hfluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения энтальпии жидкой фазы в Дж/кг в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHfluid ="Const"				
Hfluid	REAL	Энтальпия жидкой фазы, Дж/кг Для того чтобы задать энтальпию на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTgas Если TypeTgas ="CF"				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Tgas	CHAR	Имя функции, определяющей значение температуры газовой фазы в К Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTgas ="TF"				
Tgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения температуры газовой фазы в К в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTgas ="Const"				
Tgas	REAL	Температура газовой фазы, К Для того чтобы задать температуру на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[165., 2273.15] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeHgas Если TypeHgas ="CF"				
Hgas	CHAR	Имя функции, определяющей значение энтальпии газовой фазы в Дж/кг Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHgas ="TF"				
Hgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения энтальпии газовой фазы в Дж/кг в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHgas ="Const"				
Hgas	REAL	Энтальпия газовой фазы, Дж/кг Для того чтобы задать энтальпию на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.

Содержание неконденсируемых газов (в жидкой и/или газовой фазе) задаётся в тегах NCG, которые являются следующим уровнем иерархии по отношению к тегу MassSource. Тег NCG содержит атрибуты, перечисленные ниже (см. Таблица 4.101).

При отсутствии тегов NCG используются значения из блока Coolant (теги NCG). Поскольку в Coolant нельзя задавать формульные (контрольные функции) и временные (табличные функции) зависимости, то эти значения эквивалентны заданию массовых концентраций с ключом "Const".

В отличие от задания NCG для блока Coolant, здесь можно использовать формульные и табличные зависимости от изменяющихся (рассчитываемых в задаче) параметров.

Таблица 4.101 – Атрибуты тега NCG

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя неконденсируемого газа Обязательный атрибут.	Любое имя из набора NCG того теплоносителя, который задан в атрибуте Coolant.	_____
TypeXgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение относительного массового содержания (концентрацию) неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeXfluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение относительного массового содержания (концентрацию) неконденсируемого газа с именем Name в жидкой фазе: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeXgas				
Если TypeXgas ="CF"				
Xgas	CHAR	Имя функции, определяющей значение относительного массового содержания (концентрации) неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeXgas ="TF"				
Xgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения относительного массового содержания (концентрации) неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeXgas ="Const"				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Xgas	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе Обязательный атрибут.	[0., 1.0]	Если не задано, берётся из блока Coolant. Если не задана и в блоке Coolant, Xgas = 0.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeXfluid Если TypeXfluid ="CF"				
Xfluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение относительного массового содержания (концентрации) неконденсируемого газа с именем Name в жидкой фазе Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeXfluid ="TF"				
Xfluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения относительного массового содержания (концентрации) неконденсируемого газа с именем Name в жидкой фазе в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeXfluid ="Const"				
Xfluid	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого газа с именем Name в жидкой фазе Обязательный атрибут.	[0., 1.0]	Если не задано, берётся из блока Coolant. Если не задана и в блоке Coolant, Xfluid = 0.

4.9.3.3 Запись элемента в XML - формате

Пример ввода исходных данных объекта Источник массы в XML-формате в случае задания постоянных значений массовых расходов (поля "Const" как необязательные, можно опустить) показан на Рисунок 4.66.

```
<MassSource Name="Flow1" TypeMassFlowFluid ="Const" MassFlowFluid ="1."
TypeMassFlowGas ="Const" MassFlowGas ="0.1" TypeTfluid="Const" Tfluid="270."
TypeTgas="Const" Tgas="370.">
<NCG Name="N2" TypeXgas="Const" Xgas="0.2" TypeXfluid="Const" Xfluid="0.1" />
<NCG Name="O2" TypeXgas="Const" Xgas="0.4" TypeXfluid="Const" Xfluid="0.3" />
</ MassSource >
```

Рисунок 4.66 – Пример ввода исходных данных объекта Источник массы Flow1

Пример ввода исходных данных Источника массы в XML-формате в случае задания массового расхода в виде таблицы показан на Рисунок 4.67.

```

<MassSource Name="Flow2" TypeMassFlowFluid="TF" MassFlowFluid="Table1"
TypeMassFlowGas="TF" MassFlowGas="Table2" Tfluid="270." Tgas="370.">
<NCG Name="N2" Xgas="0.2" Xfluid="0.1" />
<NCG Name="O2" Xgas="0.4" Xfluid="0.3" />
</MassSource >
<Table Name="Table1" ScalarFactor="0." MultiplFactor="1.">
<PairXY X="0." Y="0" />
<PairXY X="100." Y="10." />
</Table>
<Table Name="Table2" ScalarFactor="0." MultiplFactor="1.">
<PairXY X="0." Y="0" />
<PairXY X="100." Y="20." />
</Table>

```

Рисунок 4.67 – Пример ввода исходных данных Источника массы Flow 2 в случае задания массового расхода в виде таблицы

4.9.4 WaterSodiumLeak – Течь вода-натрий в ПГ РУ БН

Элемент «Течь вода-натрий» моделирует источник тепла продуктов реакции (в основном водорода) натрия с водой, являющийся следствием дефекта теплообменной поверхности одной из трубок парогенератора.

Чтобы задать объект «Течь вода-натрий» (WaterSodiumLeak), во входном файле необходимо задать два теплоносителя (тег Coolant): натрий (Name = "Na") и воду (Name = "H2O"). В натриевом теплоносителе в разделе NCGList необходимо задать неконденсируемый газ водород и растворимую компоненту гидроксид натрия (NCGList = "H2, NaOH"). В противном случае код на этапе чтения входного файла выдаст ошибку.

Расход образующегося в реакции водорода рассчитывается по расходу воды, попадающей во второй контур через дефект в теплообменной трубке. Расход воды может быть задан явно с помощью параметра MassFlowWater, который может изменяться во времени, либо расход воды рассчитывается через параметр LeakSize (линейный размер, «диаметр» течи). В случае, если задан параметра LeakSize, расход воды через дефект считается постоянным, однако возможно указать необязательный параметр «время начала течи»: BreakTime.

Обязательным параметром является температура воды в третьем контуре в месте повреждения теплообменной трубки (Twater).

4.9.4.1 Разрешенные связи элемента

Разрешённые связи элемента «Течь вода-натрий» с другими элементами кода представлены в Таблица 4.102.

Таблица 4.102 – Связи элемента «течь вода-натрий».

Компонент гидравлического граничного условия	Кол-во связей	Связуемый элемент
Течь вода-натрий	1	Ячейки канала Channel

При задании связи «Течи вода-натрий» с Каналом необходимо задать один дополнительный атрибут – координату точки соединения (см. Таблица 4.107). Код HYDRA по координате определит расчётную ячейку канала, в которую будет введён источник массы. В случае, если координата попадает точно на границу между двумя расчётными ячейками, источник будет введён в правую расчётную ячейку. Если координата окажется больше общей длины Канала, то программа автоматически поместит течь в последнюю расчётную ячейку Канала и выдаст предупреждение. Каждая течь может быть связана только с одним каналом.

Таблица 4.103 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи «Течь вода-натрий» с Каналом

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
XCh	REAL	Координата точки введения течи в канал, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____

Пример описания связи «Течи вода-натрий» Leak с каналом PG показан на Рисунок 4.68.

```
<NodalizationScheme>
<Connection NameFrom="Leak" TypeFrom="WaterSodiumLeak " XCh="1.0" NameTo="PG"
TypeTo="Channel" />
</NodalizationScheme>
```

Рисунок 4.68 – Пример описания связи «Течи вода-натрий» и Канала

4.9.4.2 Свойства элемента

Основные параметры «Течь вода-натрий» задаются в теге WaterSodiumLeak, являющимся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см. Таблица 4.108).

Таблица 4.104 – Атрибуты тега WaterSodiumLeak

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждой «Течи вода-натрий» должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Coolant	CHAR	Имя теплоносителя Обязательный атрибут.	Только Na	_____

Для «Течи вода-натрий» необходимо задать температуру воды в третьем контуре в месте повреждения теплообменной трубки Twater. Обязательными и взаимоисключающими параметрами являются LeakSize и MassFlowWater. Параметр MassFlowWater может быть задан как константа, временная зависимость (таблица от времени) или функциональная зависимость. Список атрибутов тега MassFlowWater представлен в Таблица 4.105.

Таблица 4.105 – Атрибуты тега WaterSodiumLeak

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Twater	REAL	Температура воды в третьем контуре в месте повреждения теплообменной трубки, К Обязательный параметр.	[273.25, 2273.15]	_____
LeakSize	REAL	Линейный размер, «диаметр» дефекта теплообменной трубки, м Обязательный параметр, если не задан MassFlowWater	[1e-5, 0.05]	_____
BreakTime	REAL	Время начала течи, с Необязательный параметр	[StartTime, 1e18]	StartTime
TypeMassFlowWater	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение массового расхода воды: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeMassFlowWater Если TypeMassFlowWater = "CF"				
MassFlowWater	CHAR	Имя функции, определяющей массовый расход воды в кг/с Обязательный параметр, если не задан LeakSize.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFlowWater = "TF"				
MassFlowWater	CHAR	Имя таблицы, определяющей массовый расход воды в кг/с в зависимости от времени Обязательный атрибут, если не задан LeakSize.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFlowWater = "Const"				
MassFlowWater	REAL	Массовый расход воды, кг/с Обязательный атрибут, если не задан LeakSize.	[0, 100]	_____

4.9.4.3 Запись элемента в XML-формате

Пример ввода исходных данных объекта «Течь вода-натрий» в XML-формате, если расход воды задан через параметр LeakSize, представлен на Рисунок 4.69.

```
<WaterSodiumLeak Name = "Leak" Coolant = "Na" LeakSize = "1e-4" Twater = "600.0" BreakTime = "100.0" />
```

Рисунок 4.69 – Пример ввода исходных данных объекта «Течь вода-натрий» Leak

Пример ввода исходных данных объекта «Течь вода-натрий» в XML-формате, если расход воды задан через параметр MassFlowWater, представлен на Рисунок 4.70.

```

<WaterSodiumLeak Name = "Leak" Coolant = "Na" TypeMassFlowWater = "TF"
MassFlowWater = "Mw" Twater = "600.0" />
<Table Name="Mw" ScalarFactor="0." MultiplFactor="1.">
<PairXY X="0." Y="0" />
<PairXY X="100." Y="1e-4" />
</Table>

```

Рисунок 4.70 – Пример ввода исходных данных объекта «Течь вода-натрий» Leak

4.9.5 HeatStruct – Теплопроводящая структура

Теплопроводящая структура предназначена для решения уравнения теплопроводности (расчета температурного поля и тепловых потоков) в двумерной области, занятой как правило твердыми материалами при заданных начальных температурах, граничных условиях и свойствах материалов (теплоемкости, теплопроводности и плотности). Также модель расширена для учета газового зазора при наличии некоторых дополнительных свойств газа и поверхностей зазора. Эти свойства описаны в разделе MatProp – свойств материалов.

Уравнение теплопроводности, в соответствии с выбранной геометрией теплопроводящей структуры, решается в цилиндрических координатах (цилиндрическая геометрия, Рисунок 4.71 а) или в декартовых координатах (плоская геометрия, Рисунок 4.71 б). Областью задания, в которой решается уравнение теплопроводности, для любой геометрии является прямоугольник в плоскости ZR , т.е. координата $Z \in [0, \text{LengthHS}]$, координата $R \in [R1, R2]$. В теплопроводящей структуре определены внутренняя поверхность ($R=R1$, минимальное значение координаты R) и внешняя поверхность ($R=R2$, максимальное значение координаты R), на этих поверхностях могут быть заданы связи, описанные в пункте 4.9.5.1. При двумерном задании материалов (с помощью Region) задаются связи с тепловыми граничными условиями на нижней поверхности ($Z=0$, минимальное значение координаты Z) и на верхней поверхности ($Z= \text{LengthHS}$, максимальное значение координаты Z).

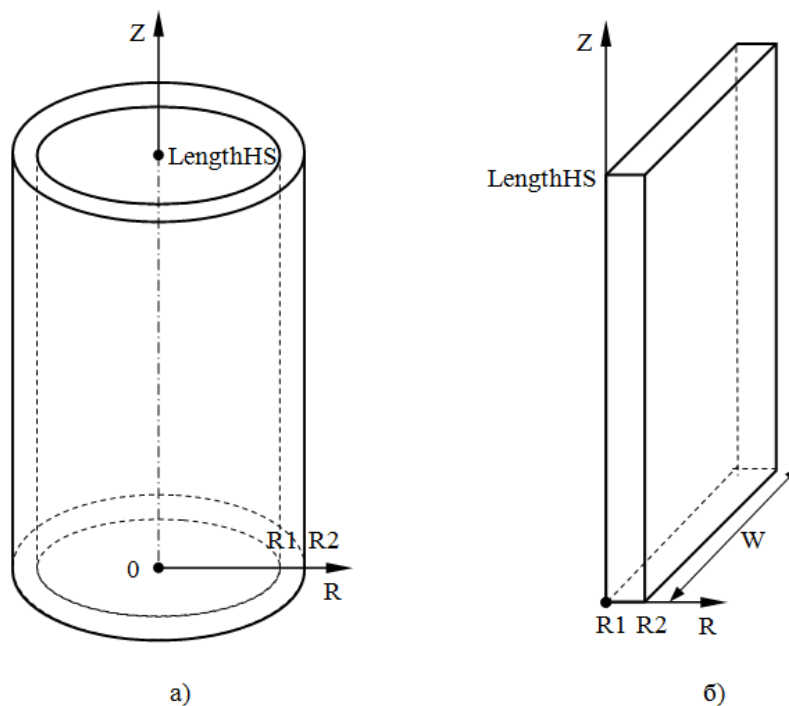


Рисунок 4.71 – Геометрия теплопроводящей структуры

При расчете связей теплопроводящей структуры нужна площадь поверхности, участвующей в обмене теплом. Для цилиндрической геометрии площадь поверхности однозначно определяется заданием высоты и ограничивающих радиусов, для плоской геометрии необходимо задать еще и ширину теплопроводящей структуры (W , Рисунок 4.71 б, по умолчанию $W=1$ м).

Начальная температура может быть задана различными способами в различных узлах (подузлах) тепловой структуры.

В основном узле HeatStruct задается температура для всей области по единой формуле.

В первой аксиальной секции, подсекциях RadialSection задается прямоугольная неравномерная сетка для всей области и имеется возможность задать разные формулы для температуры в каждой RadialSection. И эти формулы используются для задания начальной температуры во всей расчетной области.

В остальных аксиальных секциях можно задать температуру для данной секции.

Наконец в подузлах Region вместе с материальным составом можно определить температуры для данного фрагмента области, в том числе если фрагмент включает всю область - то и температура задается во всей области.

Т.к. имеется несколько способов задания температуры, важно понимать последовательность обработки ввода.

Первым обрабатывается основной тег HeatStruct и если в нем задана начальная температура – то она считается по формуле во всех узлах области.

Далее обрабатываются подузлы RadialSection первой AxialSection. Поскольку сетка прямоугольная и другого ввода радиальной сетки нет, обработка формул задания начальной температуры также распространяется на всю расчетную область.

Следующими обрабатываемыми тегами будут остальные AxialSection. Здесь можно изменить расчет температуры для данной секции.

Наконец в подузлах Region можно переопределить температуры вместе с материалами в заданном фрагменте.

Если, несмотря на все вводы, где-то температура не определена – код выдаёт сообщение об ошибке.

4.9.5.1 Разрешенные связи элемента

Разрешённые связи элемента Теплопроводящая структура с другими элементами кода представлены в Таблица 4.106.

Таблица 4.106 – Связи теплопроводящей структуры

Компонент теплопроводящей структуры	Кол-во связей	Связуемый элемент
Внутренняя Internal / внешняя External поверхность	Любое	Канал Channel
	Любое	Камера Chamber
	Любое	Тепловое граничное условие HeatBound

Компонент теплопроводящей структуры	Кол-во связей	Связуемый элемент
	Одна – только с внутренней поверхностью.	Активная зона Core. Внутренняя поверхность Тепловой структуры будет соединена с внешним каналом межкассетного пространства (By_Pass[M-1], где М – количество каналов, на которое разбито межкассетное пространство Активной зоны. Аксиальное разбиение Тепловой структуры должно быть таким же, как и в Активной зоне. Используется только для моделирования обечайки Активной зоны.

При соединении Теплопроводящей структуры с элементом Канал в разделе описания связей элементов файла ввода исходных данных в XML-формате (NodalizationScheme) необходимо задать значения дополнительных атрибутов, указанных в Таблица 4.107.

Таблица 4.107 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme для связи теплопроводящей структуры с каналом

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Boundary	CHAR	Граничная поверхность теплопроводящей структуры Обязательный атрибут.	[Internal, External]	_____
XHS	REAL	Координата точки начала соединения теплопроводящей структуры с каналом, м Обязательный атрибут.	[0., 1010]	_____
Length	REAL	Протяжённость граничного участка, м Обязательный атрибут.	[-1010., 1010]	_____
XCh	REAL	Координата точки начала соединения канала с теплопроводящей структурой, м Обязательный атрибут.	[0., 1010]	_____
LCh	REAL	Протяжённость участка канала, с которым происходит теплообмен, м Используется при задании теплообмена участков каналов с разными длинами, например при поперечном обтекании змеевика в воздушном теплообменнике. Необязательный атрибут.	[0., 108]	= Length

Примечание – Значения параметров XHS и (XHS+Length) и XCh и (XCh+|Length|) не могут превышать значение общей длины теплопроводящей структуры и канала, соответственно. В противном случае программа семантического контроля выдаст предупреждение.
Знак Length теперь определяет по направлению канала (Length > 0) или в обратном направлении (Length < 0) определяется положительное направление оси Z тепловой структуры.
Пользователь имеет возможность используя знак Length определять в графическом представлении зависимостей от Z тепловой структуры определять соответствие росту или уменьшению индекса ячеек канала.

В случае, если с теплопроводящей структурой соединяется канал с параметром Dh меньше 0 (смотреть Таблица 4.64), то есть канал, у которого входное соединение расположено выше выходного (смотреть Рисунок 4.72), необходимо учитывать, что теплопроводящая структура располагается вертикально, и её верх всегда располагается выше низа (смотреть Рисунок 4.72), параметр XCh всегда равен координате вдоль оси канала (то есть XCh отсчитывается от 0 вдоль оси канала с положительным знаком), а XHS отсчитывается от 0 вдоль оси канала с положительным знаком), а XHS отсчитывается вдоль оси теплопроводящей структуры (то есть значение XHS также всегда положительное).

В программе по XCh определяется номер соответствующего соединения канала, затем – последовательное соответствие ячеек теплопроводящей структуры и канала продолжается в положительном направлении, если $Length > 0$ от начала к концу канала, а если канал $Length < 0$ – то в направлении от конца канала к началу.

Пример задания параметров XCh и XHS для канала с отрицательным наклоном, описанного выше, показан на Рисунок 4.72. Пример применения параметра LCh приведен на 4.73.

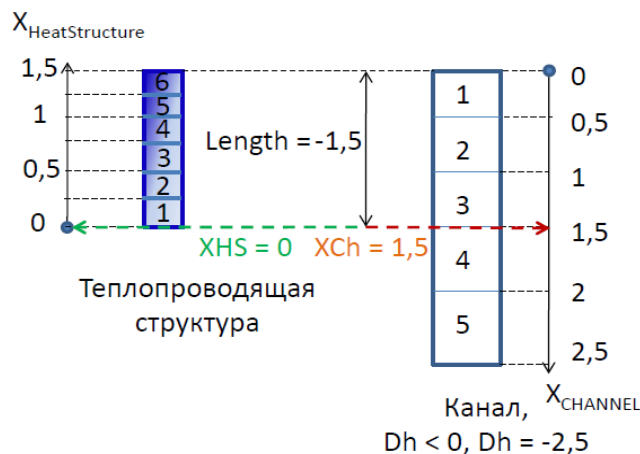


Рисунок 4.72 – Пример соединения канала с $Dh < 0$ с теплопроводящей структурой с $Length < 0$

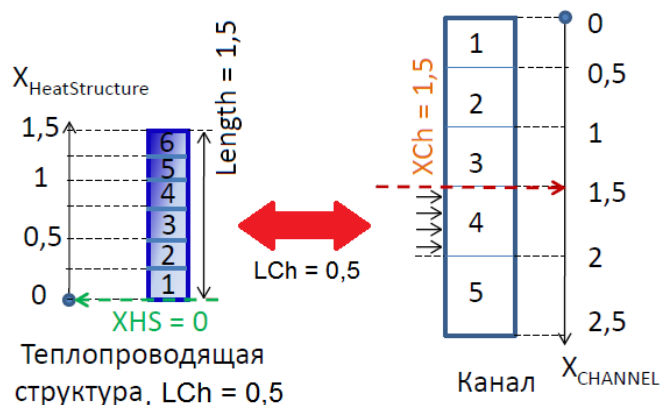


Рисунок 4.73 – Пример соединения канала с теплопроводящей структурой с заданным LCh

Таблица 4.108 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme для связи теплопроводящей структуры с камерой.

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Boundary	CHAR	Граничная поверхность теплопроводящей структуры Обязательный атрибут.	[Internal, External]	_____
XHS	REAL	Координата точки начала соединения теплопроводящей структуры с камерой, м Обязательный атрибут.	[0., 1010]	_____
Length	REAL	Протяжённость граничного участка, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1010]	_____
XCh	REAL	Координата точки начала соединения камеры с теплопроводящей структурой, м Обязательный атрибут.	[0., 1010]	_____
Примечание – Значения параметров XHS и (XHS+Length) не могут превышать значение общей длины теплопроводящей структуры и значение Length не может превышать Length камеры. В противном случае программа семантического контроля выдаст предупреждение.				

В случае соединения Теплопроводящей структуры с элементом Тепловое граничное условие в разделе описания связей элементов файла ввода исходных данных в XML-формате (NodalizationScheme) необходимо задать значения дополнительных атрибутов, указанных в Таблица 4.109.

Таблица 4.109 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme для связи теплопроводящей структуры с тепловым граничным условием

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Boundary	CHAR	Поверхность теплопроводящей структуры Обязательный атрибут.	[Internal, External,]	_____
Boundary	CHAR	Нижняя и верхняя граница теплопроводящей структуры Обязательный атрибут в случае Dimension = 2, см. Табл.49	[Lower, Upper]	_____
XHS	REAL	Координата точки соединения с тепловым граничным условием, м Обязательный атрибут.	[0., 1010]	_____
Length	REAL	Протяженность действия теплового граничного условия, м Обязательный атрибут.	[0., 1010]	_____
<p>Примечания</p> <p>1 Значения параметров XHS и (XHS +Length) не могут превышать значение общей длины теплопроводящей структуры, в противном случае программа семантического контроля выдаст диагностическое сообщение.</p> <p>2 В случае моделирования явления двумерной теплопроводности дополнительно к Internal и External поверхностям теплопроводящей структуры необходимо задать Lower и Upper связи, моделирующие граничные условия снизу и сверху, соответственно.</p>				

В качестве примера рассмотрим соединение элемента Теплопроводящая структура с элементами типа Канал по внутренней поверхности и тепловым граничным условием HeatBound по внешней (см. Рисунок 4.74).

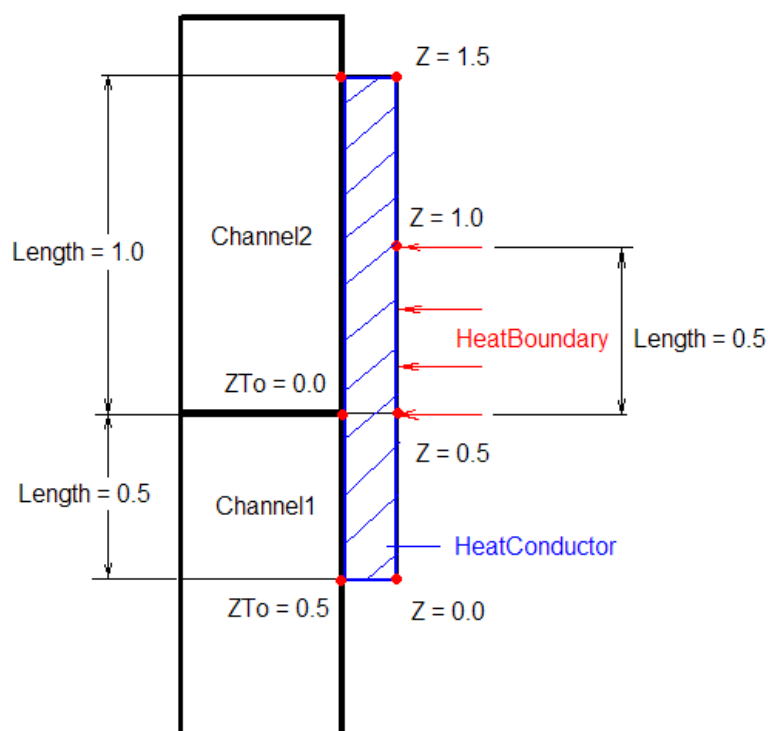


Рисунок 4.74 – Пример соединения теплопроводящей структуры

На данном рисунке Теплопроводящая структура HeatConductor по внутренней границе соединена с двумя элементами Канал – Channel1 и Channel2. Связь с первым Каналом осуществляется с начала Теплопроводящей структуры (XHS и на рисунке="0.0") и имеет протяженность – 0,5 м (Length="0.5"). Связь со вторым Каналом начинается с расстояния 0,5 м от начала Теплопроводящей структуры (XHS="0.5") и имеет протяженность 1 м (Length="1."). По внешней границе Теплопроводящая структура HeatConductor соединена с Тепловым граничным условием HeatBoundary.

Фрагмент файла ввода исходных данных в XML-формате, соответствующий описанному примеру, представлен ниже на Рисунок 4.75.

```
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="HeatConductor" Boundary="Internal"
XHS="0.0" Length="0.5" TypeTo="Channel" NameTo="Channel1" XCh="0.5"/>
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="HeatConductor" Boundary="Internal"
XHS="0.5" Length="1.0" TypeTo="Channel" NameTo="Channel2" XCh="0.0"/>
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="HeatConductor" Boundary="External"
XHS="0.5" Length="1.0" TypeTo="HeatBound" NameTo="HeatBoundary" />
или
<Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="Channel1" Boundary="Internal"
XHS="0.0" Length="0.5" TypeTo="HeatStruct" NameTo="HeatConductor" XCh="0.5"/>
<Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="Channel2" Boundary="Internal"
XHS="0.5" Length="1.0" TypeTo="HeatStruct" NameTo="HeatConductor" XCh="0.0"/>
<Connection TypeFrom="HeatBound" NameFrom="HeatBoundary" Boundary="External"
XHS="0.5" Length="1.0" TypeTo="HeatStruct" NameTo="HeatConductor" />
```

Рисунок 4.75 – Пример описания связей теплопроводящей структуры

Фрагмент файла ввода исходных данных в XML-формате, соответствующий двумерной теплопроводящей структуре, показан на Рисунок 4.76.

```
<NodalizationScheme>
  <Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="TWEL" Boundary="Internal" XHS="0."
Length="3.658" TypeTo="HeatBound" NameTo="CenterHeatFlux" />
  <Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="TWEL" Boundary="External" XHS="0."
Length="3.658" TypeTo="Channel" NameTo="Rods" XCh="0.4064" />
  <Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="TWEL" Boundary="Lower"
NameTo="CenterHeatFlux" TypeTo="HeatBound" />
  <Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="TWEL" Boundary="Upper"
NameTo="CenterHeatFlux" TypeTo="HeatBound" />
</NodalizationScheme>
```

Рисунок 4.76 – Пример описания связей двумерной теплопроводящей структуры

4.9.5.2 Свойства элемента

Основные параметры Теплопроводящей структуры задаются в теге HeatStruct, являющимся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см. Таблица 4.110).

Таблица 4.110 – Атрибуты тега HeatStruct

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждой теплопроводящей структуре должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Geometry	CHAR	Система координат: декартова (плоская); цилиндрическая. Необязательный атрибут.	[Rectangular, Cylindrical]	Cylindrical
Dimension	INT	Одномерный или двухмерный расчёт теплопроводности Необязательный атрибут.	[1; 2]	1
Multiplicity	REAL	Коэффициент умножения Коэффициент учитывает увеличение теплообменной поверхности и мощности энерговыделения для моделирования одинаковых теплопроводящих структур: несколько одинаковых пластин в случае плоской геометрии или несколько труб в случае цилиндрической. Необязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e6]	1.

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeCrossSection	CHAR	Признак учёта геометрии теплопроводящей структуры при выборе замыкающих соотношений для расчёта критических плотностей теплового потока: 0 – простая геометрия (Круглая труба, если Geometry=Cylindrical. Плоская пластина, если Geometry=Rectangular) 1 – фиктивная теплопроводящая структура, 2 – ТВС, 3 – простая геометрия (расчет теплообмена по корреляции Биаззи). Необязательный атрибут.	[0, 3]	0
Width	REAL	Ширина плоской (Geometry=Rectangular) теплопроводящей структуры, м Если (Geometry=Cylindrical), то данный атрибут игнорируется. Необязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e6]	1
Emissivity External	REAL	Степень черноты внешней поверхности теплопроводящей структуры Необязательный атрибут.	[0.01, 0.99]	0.99
EmissivityInternal	REAL	Степень черноты внутренней поверхности теплопроводящей структуры Необязательный атрибут.	[0.01, 0.99]	0.99
External HeatConvFactor	REAL	Множитель для коэффициента теплоотдачи со стороны внешней поверхности теплопроводящей структуры. Используется чтобы учесть изменения теплоотдачи с присоединённым каналом. Необязательный атрибут.	[0.0, 1000.0]	1
Internal HeatConvFactor	REAL	Множитель для коэффициента теплоотдачи со стороны внутренней поверхности теплопроводящей структуры. Используется чтобы учесть изменения теплоотдачи с присоединённым каналом. Необязательный атрибут.	[0.0, 1000.0]	1

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Deactivation	REAL	Время в секундах в которое произойдёт отключение теплопроводящей структуры. Необязательный атрибут.	[-1.e35, 1.e35]	1.e35
DeactivationTime	REAL	Время в секундах за которое произойдёт отключение теплопроводящей структуры. Необязательный атрибут.	[0, 1.e35]	0
ZrReaction	CHAR	Признак расчета пароциркониевой реакции: Off – модель выключена; On – модель включена. Необязательный атрибут.	[Off, On]	Off
IsIHX	INT	Признак того, что теплопроводящая структура является ПТО между двумя каналами (контурами). Нужно для моделирования переноса трития. Необязательный атрибут.	[0,1]	0
IsSG	INT	Признак того, что теплопроводящая структура является ПГ между двумя каналами (контурами). Нужно для моделирования переноса трития. Необязательный атрибут.	[0,1]	0
IsTop	INT	Флаг, указывающий, что теплопроводящая структура моделирует крышку реактора. Используется для оценочных расчетов по теплообмену между поверхностью свинцового теплоносителя и крышкой над активной зоной реактора. Необязательный атрибут.	[0,1]	0

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Reflooding	CHAR	Off – модель выключена; SimpleIntensOff – модель включена (в зависимости от предыдущего ключа, сама должна определить одномерная или двухмерная), неучет интенсификации теплообмена вблизи фронта смачивания; SimpleIntensOn – модель включена (в зависимости от предыдущего ключа, сама должна определить одномерная или двухмерная), учет интенсификации теплообмена вблизи фронта смачивания. Необязательный атрибут.	[Off, SimpleIntensOff, SimpleIntensOn]	Off
SAFRModule	CHAR	Флаг, указывающий, что задача теплопроводности в тепловой структуре будет решаться сторонним модулем SAFR (On), при этом теплообмен с теплоносителем по прежнему моделируется кодом HYDRA; либо задача теплопроводности как обычно решается кодом HYDRA (Off). Необязательный атрибут.	[Off, On]	Off
TypeQ	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeQ Если TypeQ ="CF"				
Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Q	CHAR	Имя функции, определяющей мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции в Вт Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeQ ="TF"				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Q	CHAR	Имя таблицы, определяющей мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции (в Вт) в зависимости от времени. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeQ ="Const"				
Q	REAL	Мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции, Вт Необязательный атрибут.	[0, 1.e15]	0.

Распределение мощности энерговыделения по расчётным ячейкам задаётся с помощью атрибутов K_r и K_z, которые будут описаны ниже. Если все значения K_r и K_z равны нулю, тепловыделение в элементе будет отсутствовать вне зависимости от значения атрибута Q, и программа семантического контроля выдаст предупреждение в выходной файл.

Атрибут K_z используется лишь в случае одномерного ввода материалов по радиусу, когда распределение по высоте считается однородным (только материалов, но не тепловклада и рассчитываемых температур и потоков тепла). K_z в этом случае определяет долю полного тепловклада на данный высотный слой. Поскольку тепловклад вводится в Вт, а K_z определяет относительную долю объёмной плотности энергии в Вт/м³, то после ввода производится перенормировка, такая, что сумма по аксиальным слоям равна 1:

$$\sum_{n=1}^{n=N} K_n V_n = 1$$

где V_n – объём аксиального слоя, м³.

В этом случае относительное распределение мощности по радиусу вводится атрибутом K_r. Нормировка на том же принципе производится на уже отнормированную величину K_z с весами объёмов радиальных ячеек.

Таким образом, например, если пользователь задает равные коэффициенты по высоте или радиусу, он имеет всюду одинаковые объёмные (Вт/м³) тепловклады независимо от размеров сеток по высоте или радиусу.

В случае двумерного ввода материалов в тегах Region, задающих материал, температуру и тепловклад по прямоугольным фрагментам области, вводится только величина K_r, и после ввода нормировка на 1 с весами объёмов ячеек производится однократно сразу во всей области, сохраняя свойство пропорциональности объёмных тепловкладов значениям вводимых коэффициентов.

Как и другие источники, формулы для Q могут содержать изменяющиеся во времени рассчитываемые параметры задачи.

Геометрические параметры Теплопроводящей структуры задаются в тегах AxialSection и RadialSection. Разбиение расчётной области вдоль оси (по высоте) задается в тегах AxialSection. AxialSection (аксиальная секция) представляет собой набор узлов сетки по высоте теплопроводящей структуры. Между узлами расчётной сетки разбиение на ячейки равномерно, с одинаковым вкладом относительной мощности тепловыделения. В случае расчёта переноса тепла в приближении 1D возможно задание секций «с разрывами», или

даже «с пересечениями», когда секции находятся друг от друга на определённом расстоянии. В случае 2D-приближения – геометрия должна задаваться без разрывов, в противном случае программа семантического контроля выдаст ошибку. При задании секций координаты их начала в случае 2D-приближения должны быть монотонно возрастающими.

Список атрибутов для заполнения тега AxialSection, если материалы изменяются только в радиальном направлении, представлен в Таблица 4.111.

Таблица 4.111 – Атрибуты тега AxialSection

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Z0	REAL	Координата начала аксиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут в первой секции, в остальных – необязательный атрибут. Если отсутствует, то значение равно Z0+Length предыдущей секции.	[0., 1.e10]	_____
Length	REAL	Длина аксиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
Temp	REAL	Начальная температура в расчётных ячейках, входящих в состав аксиальной секции, К Значение Temp можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел буквы “R” и “Z” в качестве аргумента, где Z – аксиальная координата, R – радиальная координата. Например, <RadialSection Temp="300.+0.*(Z+R)" /> Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15]	300.
NZ	INT	Количество расчётных ячеек в аксиальной секции В случае, если теплопроводящая структура связывается с каналом, разбиение должно происходить таким образом, чтобы одной РЯ канала соответствовали одна или несколько расчётных ячеек теплопроводящей структуры. Разбиение, при котором одна поверхность расчётной ячейки ТС связывается более чем с одной РЯ канала, недопустимо. Необязательный атрибут. Секция теплопроводящей структуры равномерно разбивается на NZ ячеек по длине.	[0, 10000]	1

Kz	REAL	Относительная мощность тепловыделения в расчётных ячейках, входящих в состав аксиальной секции (относительная мощность будет равна Kz в каждой из NZ ячеек). Если хотя бы в одной аксиальной секции Kz – не нуль, то перед расчётом величины перенормируются (о нормировке см. выше) Значение Kz можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел букву “Z” в качестве аргумента (что удобно для задания профиля по аксиальной координате для секции). Например, <AxialSection Kz="Z+1.0"> Необязательный атрибут.	[0., 1.e15]	0.
GridFORMF	REAL	Форм-фактор, позволяющий корректировать критическую плотность теплового потока. Учитывает неравномерность энерговыведения по длине теплопроводящей структуры, отн.ед. Значение GridFORMF можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел букву “Z” в качестве аргумента (что удобно для задания профиля по аксиальной координате для секции). Например, <AxialSection GridFORMF ="Z+1.0"> Необязательный атрибут.	[0, 2]	1
Radial Section	Radial Section	Обязательный атрибут (только для первой AxialSection).	См. Таблица 4.112	_____

Радиальная сетка теплопроводящей структуры - прямоугольная, поэтому задается только в первой аксиальной секции. Отметим, что заданная начальная температура в этой секции копируется во все аксиальные секции, однако, при вводе очередных аксиальных секций формула задания температуры может быть изменена и температура тогда пересчитывается.

Разбиение теплопроводящей структуры по радиусу (толщине) задаётся в тегах RadialSection, которые в свою очередь входят в тег первой AxialSection. RadialSection (радиальная секция) представляет собой набор узлов расчётной сетки в поперечном направлении теплопроводящей структуры в пределах одной AxialSection. Между узлами расчётной сетки разбиение равномерное.

Список атрибутов для заполнения тега RadialSection, если материалы изменяются только в радиальном направлении, представлен ниже (см. Таблица 4.112).

Таблица 4.112 – Атрибуты тега RadialSection

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
R0	REAL	Координата левой границы радиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут в первой секции, в остальных – необязательный атрибут. Если отсутствует, то значение равно R0+Length предыдущей секции.	[0.0, 1.e10]	_____
Length	REAL	Толщина радиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) теплопроводящей структуры Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1
Material	CHAR	Материал ячеек, входящих в состав радиальной секции Обязательный атрибут. Может быть задано любое имя из набора материалов, описанных в тегах MatProp.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Temp	REAL	Начальная температура в расчётных ячейках, входящих в состав радиальной секции, К Значение <i>Temp</i> можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел буквы “R” и “Z” в качестве аргумента, где Z – аксиальная координата, R – радиальная координата. Например, <RadialSection Temp="300.+0.*(Z+R)" /> Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15]	300.
Kr	REAL	Относительная мощность тепловыделения в расчётных ячейках, входящих в состав радиальной секции (относительная мощность будет равна Kr в каждой из NR ячеек) Перед расчётом величины перенормируются (о нормировке см. выше). Значение <i>Kr</i> можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел буквы “R” и “Z” в качестве аргумента (что удобно для задания профиля мощности тепловыделения), где Z – аксиальная координата, R – радиальная координата. Например, <RadialSection Kr="Z+R" /> Необязательный атрибут.	[0.;1.]	0.

Если материалы изменяются как в продольном (аксиальном), так и в поперечном (радиальном) направлениях, то аксиальная и радиальная секции задаются по-другому (см. Таблица 4.113 для AxialSection, см.

Таблица 4.114 для RadialSection). AxialSection и RadialSection служат теперь только для задания сетки в аксиальном и радиальном направлении теплопроводящей структуры.

Для задания материалов, относительной мощности тепловыделения, начальной температуры в ячейках тепловой структуры служат теги Region (см. Таблица 4.115). Z0, DZ, R0, DR – атрибуты тега Region для геометрической привязки региона к ячейкам теплопроводящей структуры. Регионы должны покрывать все ячейки теплопроводящей структуры. Регионы могут пересекаться, тогда действует правило – последующие регионы переопределяют параметры (материал, тепловыделение, температуру) предшествующих (по порядку задания в XML-формате) регионов.

Отметим, что задание 2D-материалов не предполагает обязательным расчет двумерной теплопроводности (можно использовать и одномерный (радиальный расчёт) и двумерный, задаваемый атрибутом Dimension). Потому этот ввод полностью перекрывает использование 1D материалов. 1D ввод оставлен только для поддержки старых входных файлов и не рекомендуется к использованию.

В случае расчета газового зазора по специальной модели, учитывающей излучение и конвекцию, материал зазора может быть задан специальным образом. Во-первых, материал может занимать лишь одну ячейку в радиальном направлении и все ячейки в аксиальном направлении и нигде более. Во-вторых, в свойствах этого материала должна быть включена опция ClosedGap = “On”. При нарушении этих условий выдается диагностика об ошибке и расчет прекращается.

Таблица 4.113 – Атрибуты тега AxialSection (2D – материалы)

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Z0	REAL	Координата начала аксиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут в первой секции, в остальных – необязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____ (для первой секции); Z0+Length предыдущей секции (для остальных секций)
DZ	REAL	Длина аксиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NZ	INT	Количество расчётных ячеек в аксиальной секции Секция теплопроводящей структуры равномерно разбивается на NZ ячеек по длине. Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1

Таблица 4.114 – Атрибуты тега RadialSection (2D – материалы)

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
R0	REAL	Координата левой границы радиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут в первой секции, в остальных – необязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____ (для первой секции); R0+DR предыдущей секции (для остальных секций)
DR	REAL	Толщина радиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) теплопроводящей структуры Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1

Таблица 4.115 – Атрибуты тега Region

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Z0	REAL	Координата начала региона в аксиальном направлении, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____
DZ	REAL	Длина региона в аксиальном направлении, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
R0	REAL	Координата начала региона в радиальном направлении, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____
DR	REAL	Длина региона в радиальном направлении, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
Material	CHAR	Имя материала ячеек, входящих в регион. Обязательный атрибут.	Любое имя из набора материалов, описанных в тегах MatProp	_____
Temp	REAL	Начальная температура в расчётных ячейках, входящих в состав региона, К Значение <i>Temp</i> можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел буквы “R” и “Z” в качестве аргумента, где Z – аксиальная координата, R – радиальная координата. Например, <Region Temp="300.+0.*(Z+R)" /> Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15]	Рассчитывается из стационара при заданных граничных условиях и источнике в момент времени Time=0

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Kr	REAL	Относительная мощность тепловыделения в расчётных ячейках региона. Перед расчётом величины перенормируются таким образом, чтобы сумма относительных мощностей по всем расчётным ячейкам тепловой структуры была равна 1. Значение <i>Kr</i> можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел буквы "R" и "Z" в качестве аргумента (что удобно для задания профиля мощности тепловыделения), где Z – аксиальная координата, R – радиальная координата. Например, <code><Region Kr="Z+R" /></code> Необязательный атрибут.	[0.;1.]	0.
GridFORMF	REAL	Форм-фактор, позволяющий корректировать критическую плотность теплового потока. Учитывает неравномерность энерговыделения по длине теплопроводящей структуры, отн.ед. Значение GridFORMF можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел букву "Z" в качестве аргумента (что удобно для задания профиля по аксиальной координате для секции). Например, <code><AxialSection GridFORMF="Z+1.0"></code> Необязательный атрибут.	[0, 2]	1

4.9.5.3 Запись элемента в XML-формате

Пример ввода исходных данных объекта Теплопроводящая структура с именем HeatConductor, если материалы изменяются только в радиальном направлении, в XML-формате представлен ниже на Рисунок 4.77.

```
<HeatStruct Name="HeatConductor" Dimension="1" Geometry="Cylindrical"
Multiplicity="1.0" ZrReaction="Off" Reflooding="SimpleIntensOn" TypeQ="Const"
Q="1.e6">
<AxialSection Z0="0.0" Length="0.5" NZ="5" Kz="0.2">
<RadialSection R0="0." Length="0.002" Material="STEEL18" Temp="293.0" />
```

```

<RadialSection R0="0.002" Length="0.002" Material="STEEL40" Temp="293.0" />
<RadialSection R0="0.004" Length="0.002" Material="ASBEST" Temp="293.0" />
</AxialSection >
<AxialSection Z0="0.5" Length="1.0" NZ="2" Kz="0.4"> />
<AxialSection Z0="1.5" Length="0.5" NZ="1" Kz="0.4"> />
</HeatStruct>

```

Рисунок 4.77 – Пример задания теплопроводящей структуры, у которой материалы изменяются только в радиальном направлении

Соответствующая данному описанию Теплопроводящая структура приведена на Рисунок 4.78.

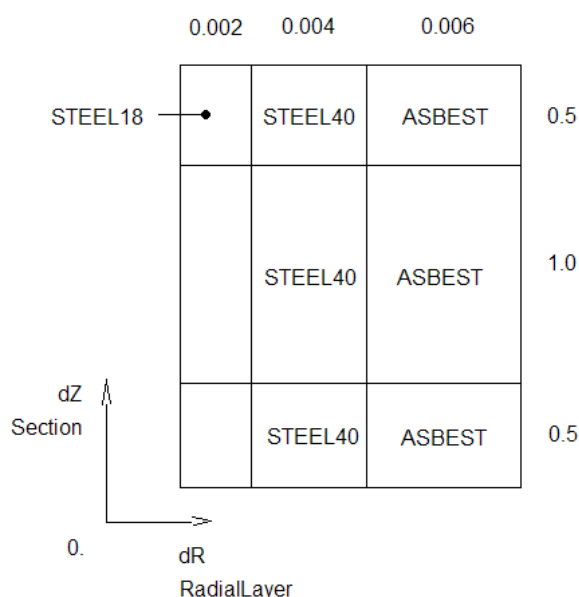


Рисунок 4.78 – Описание теплопроводящей структуры

Пример ввода исходных данных объекта Теплопроводящая структура с именем HCS1 (материалы изменяются и в аксиальном, и в радиальном направлении) в XML-формате представлен ниже на Рисунок 4.79.

```

<HeatStruct Name="HCS1" Dimension="2" Geometry="Cylindrical" Multiplicity="1.0"
ZrReaction="Off" Reflooding="Off" Q="0.0">
  <AxialSection Z0="0." DZ="1." NZ="10"/>
  <RadialSection R0="0.01" DR="0.04" NR="50"/>
  <RadialSection R0="0.05" DR="0.2" NR="50"/>
  <Region Z0="0." DZ="0.5" R0="0.01" DR="0.04" Material="Mat11" Temp="300." />
  <Region Z0="0." DZ="0.5" R0="0.05" DR="0.2" Material="Mat21" Temp="700." />
  <Region Z0="0.5" DZ="0.5" R0="0.01" DR="0.04" Material="Mat12" Temp="300." />
  <Region Z0="0.5" DZ="0.5" R0="0.05" DR="0.2" Material="Mat22" Temp="700." />
</HeatStruct>

```

Рисунок 4.79 – Пример ввода исходных данных объекта Теплопроводящая структура

Пример ввода исходных данных объекта Теплопроводящая структура для случая плоской геометрии с именем HS_BOX (материалы изменяются и по высоте (координата Z), и по толщине (координата R)) в XML-формате представлен ниже на Рисунок 4.80.

```
<HeatStruct Name="HS_BOX" Dimension="2" Geometry="Rectangular"
Multiplicity="1.0"
ZrReaction="Off" Reflooding="Off" Q="0.0">
  <AxialSection Z0="0." DZ="1." NZ="10"/>
  <RadialSection R0="0.01" DR="0.04" NR="50"/>
  <RadialSection R0="0.05" DR="0.2" NR="50"/>
  <Region Z0="0." DZ="0.5" R0="0.01" DR="0.04" Material="Mat11" Temp="300."
/>
  <Region Z0="0." DZ="0.5" R0="0.05" DR="0.2" Material="Mat21" Temp="700."
/>
  <Region Z0="0.5" DZ="0.5" R0="0.01" DR="0.04" Material="Mat12" Temp="300."
/>
  <Region Z0="0.5" DZ="0.5" R0="0.05" DR="0.2" Material="Mat22" Temp="700."
/> </HeatStruct>
```

Рисунок 4.80 – Двумерные материалы, плоская геометрия

4.9.6 ChannelHeatSource – Энерговыведение в объёме теплоносителя

Элемент Энерговыведение в объёме теплоносителя предназначен для задания подвода тепла к фазам или отвода тепла от фаз теплоносителя. Расчёт распределения тепла между фазами не производится; это распределение задаётся пользователем.

Ниже приведены атрибуты, необходимые для задания элемента Энерговыведение в объёме теплоносителя.

4.9.6.1 Разрешённые связи элемента

Разрешённые связи блока Энерговыведение в объёме теплоносителя с другими элементами кода представлены ниже (см. Таблица 4.116).

Таблица 4.116 – Связи энерговыведения в объёме теплоносителя с другими элементами кода

Энерговыведение в объёме теплоносителя	Кол-во связей	Связуемый элемент
Энерговыведение в объёме теплоносителя	Один	Канал Channel.
		Активная зона Core.

Данный источник может использоваться лишь в одном объекте (Канал или Активная зона). Разные Энерговыведения в объёме теплоносителя могут использоваться в одном и том же объекте (Канале, Активной зоне), то есть разные источники могут использоваться в одной активной зоне или разных или даже одинаковых каналах.

Если пользователь задаст вклад от одного и того же Энерговыведения в объёме теплоносителя в разные Каналы или в Канал и Активную зону (Core) одновременно, то программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке.

При задании связи Энерговыведения в объёме теплоносителя с Каналом необходимо задать один дополнительный атрибут – координату начала вклада тепла в Канал (см. Таблица

4.122, атрибут XCh). В случае, если координата окажется больше общей длины Канала, программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке.

При задании связи Энерговыведения в объёме теплоносителя с Активной зоной (Core) (см. Таблица 4.117) необходимо задать два дополнительных атрибута – Z-координату начала вклада тепла в каналы активной зоны (см. Таблица 4.117, атрибут XCh) и список зон ListZones, входящих в активную зону, в которые необходимо поместить заданное энерговыведение (см. Таблица 4.118). Отметим, что источник энерговыведения – один на все аксиальные каналы зоны, заданные в атрибуте NCellHydra блока Core. В этом случае в блоке Энерговыведение в объёме теплоносителя задаётся вклад (не суммарный) тепла на одну зону (в зоне может быть несколько последовательных каналов). Этот вклад будет автоматически помещён во все зоны, перечисленные в списке ListZones, то есть общий вклад тепла будет равен вкладу, заданному пользователем, умноженному на количество зон в списке ListZones.

Таблица 4.117 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи Энерговыведения в объёме теплоносителя с Каналом и активной зоной (Core)

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
XCh	REAL	Координата начала вклада тепла в теплоноситель в канале, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____

Таблица 4.118 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи Энерговыведения в объёме теплоносителя с Активной зоной

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
ListZones	CHAR	Список номеров зон, входящих в активную зону или тепловыделяющую сборку Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания: : – все зоны; : 5 – с первой до пятой зоны; 8 : – с восьмой до последней зоны. Необязательный атрибут.	Любой из номеров зон, заданных в объекте Core	“.” (все зоны)

Пример описания связи Энерговыведения в объёме теплоносителя MuHeat с каналом CH1 показан на Рисунок 4.81.

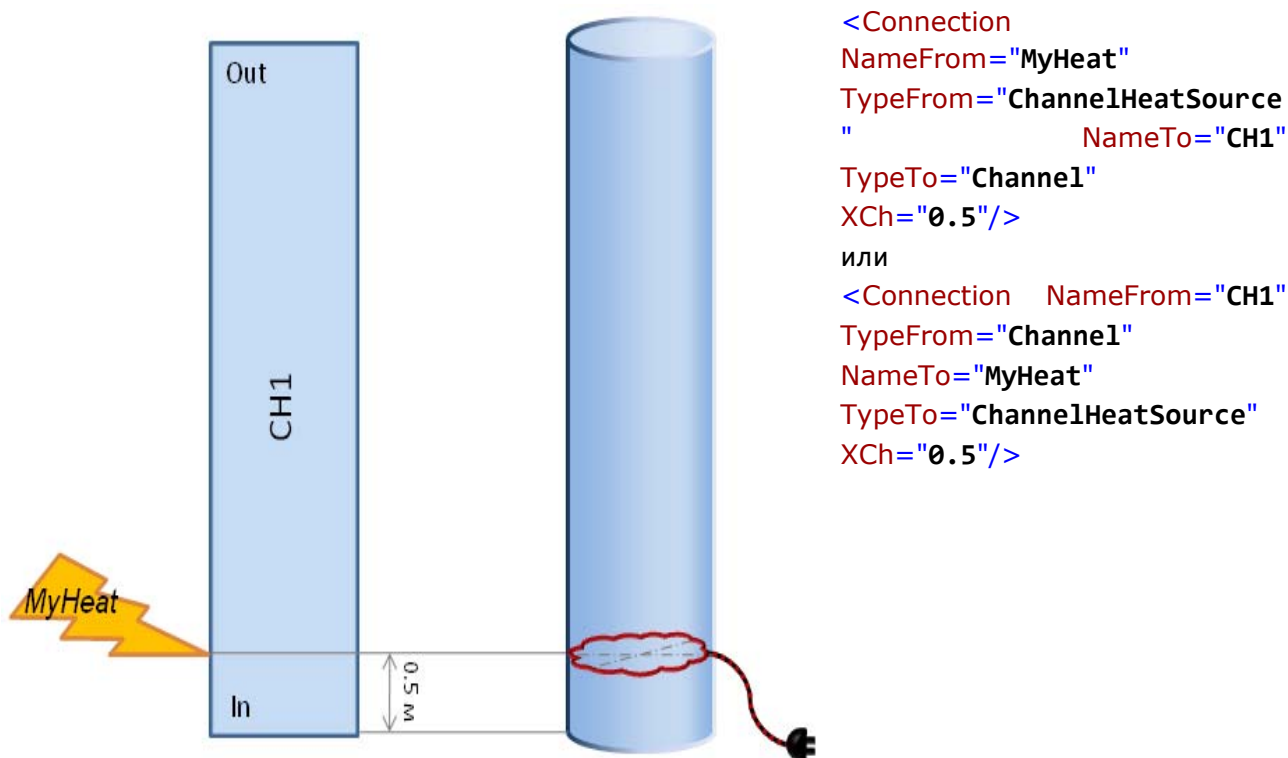


Рисунок 4.81 – Пример описания связи Энерговыведения в объёме теплоносителя MyHeat с каналом CH1

Пример описания связи Энерговыведения в объёме теплоносителя CoreHeat с активной зоной TestCore показан на Рисунок 4.82.

```

<Connection NameFrom="CoreHeat" TypeFrom="ChannelHeatSource" NameTo="TestCore"
TypeTo="Core" XCh="0.5" ListZones=":" />
или
<Connection NameFrom="TestCore" TypeFrom="Core" NameTo="CoreHeat" TypeTo="ChannelHeatSource" XCh="0.5" ListZones=":" />

```

Рисунок 4.82 – Пример описания связи Энерговыведения в объёме теплоносителя CoreHeat с активной зоной TestCore

4.9.6.2 Свойства элемента

Основные параметры Энерговыведения в объёме теплоносителя задаются в теге ChannelHeatSource, являющимся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см. Таблица 4.119).

Таблица 4.119 – Атрибуты тега ChannelHeatSource

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому энерговыведению в объёме теплоносителя должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Length	REAL	Обогреваемая длина канала (энерговыведение будет помещено в канал (каналы активной зоны Core), м Обязательный атрибут.	$[10^{-10}, 10^{10}]$	_____
TypeQfluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт суммарную мощность, передаваемую жидкой фазе: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeQgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт суммарную мощность, передаваемую газовой фазе: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeQfluid Если TypeQfluid ="CF"				
Qfluid	CHAR	Имя функции, определяющей суммарную мощность, передаваемую жидкой фазе, в Ваттах Обязательный атрибут, если TypeQfluid ="CF"	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeQfluid ="TF"				
Qfluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей суммарную мощность, передаваемую жидкой фазе в Ваттах в зависимости от времени Обязательный атрибут, если TypeQfluid ="TF"	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeQfluid ="Const"				
Qfluid	REAL	Суммарная мощность, передаваемая жидкой фазе, Вт Обязательный атрибут, если TypeQfluid ="Const"	$[-10^{15}, 10^{15}]$	_____
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeQgas Если TypeQgas ="CF"				
Qgas	CHAR	Имя функции, определяющей суммарную мощность, передаваемую газовой фазе, в Ваттах Обязательный атрибут, если TypeQgas ="CF"	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeQgas ="TF"				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Qgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей суммарную мощность, передаваемую газовой фазе в Втгах в зависимости от времени Обязательный атрибут, если TypeQgas = "TF"	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeQgas = "Const"				
Qgas	REAL	Суммарная мощность, передаваемая газовой фазе, Вт Обязательный атрибут, если TypeQgas = "Const".	$[-10^{15}, 10^{15}]$	_____

Энерговыведение в объёме теплоносителя может быть задано на своей сетке, не совпадающей с сеткой канала. Сетка для задания энерговыведения состоит из секций, задаваемых в теге Section. Каждая секция в свою очередь состоит из набора расчётных ячеек. Переинтерполяция с сетки объекта Энерговыведение в объёме теплоносителя на сетку канала будет произведена программой автоматически (необходимое количество тепла будет помещено в расчётные ячейки канала). Для задания профиля тепловыведения по высоте (тепловыведения на сетке) вводится дополнительный тег Section, который является обязательным. Атрибуты тега Section приведены в

Таблица 4.120.

Таким образом, энерговыведение в жидкой фазе теплоносителя в расчётной ячейке секции равно (3.17)

$$q_{fluid,i,j} = \frac{Q_{fluid} \cdot K_{fluid,i,j} \cdot dz_{i,j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{N_{cell}} K_{fluid,i,j} \cdot dz_{i,j}}, \text{ Вт}, \quad (3.17)$$

где $dz_{i,j}$ – длина расчётной ячейки секции, м;

Q_{fluid} – суммарная мощность, передаваемая жидкой фазе, Вт;

$K_{fluid,i,j}$ – профиль плотности энерговыведения в жидкую фазу на единицу длины, заданный пользователем, 1/м;

N – число секций;

N_{cell} – число ячеек в данной секции.

Переинтерполяция на сетку канала производится с сохранением величины полного энерговыведения.

Формула для определения энерговыведения в газовой фазе теплоносителя имеет аналогичный вид.

Таблица 4.120 – Атрибуты тега Section

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
CellNumber	CHAR	Количество ячеек сетки для задания профиля энерговыведения Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Z	REAL	Координата начала секции, состоящей из CellNumber расчётных ячеек, для которой распределение тепла будет задано множителями Kfluid и Kgas. Координаты должны быть монотонно возрастающими и меньше длины Length. Значение в первой секции должно быть равно 0. Если это значение не равно 0, то программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке, м Обязательный атрибут.	[0, 1010]	_____
Kfluid	REAL	Профиль плотности энерговыделения в жидкую фазу на единицу длины, 1/м. Энерговыделение в жидкую фазу в данной расчётной ячейке секции будет равно $Q_{fluid,i,j} = Kf_{i,j} \cdot Q_{fluid} \cdot dz_{i,j}$, где $Kf_{i,j}$ – нормированная плотность энерговыделения: $Kf_{i,j} = \frac{Kfluid_{i,j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{CellNumber} Kfluid_{i,j} \cdot dz_{i,j}}, \quad 1/м,$ где N – число секций, CellNumber – число ячеек в данной секции. Значение Kfluid можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел букву “Z” в качестве аргумента (что удобно для задания профиля мощности тепловыделения), где Z – аксиальная координата. Например, Kfluid="abs(cos(Z))" Если все Kfluid и Kgas во всех ячейках равны 0, то энерговыделение будет также равно 0 вне зависимости от значений Qgas и Qfluid. Необязательный атрибут.	[-1015, 1015]	0

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Kgas	REAL	<p>Профиль плотности энерговыделения в газовую фазу на единицу длины, 1/м. Энерговыделение в газовую фазу в данной расчётной ячейке секции будет равно $Q_{gas,i,j} = K_{g,i,j} \cdot Q_{gas} \cdot dz_{i,j}$, где $K_{g,i,j}$ – нормированная плотность энерговыделения:</p> $K_{g,i,j} = \frac{K_{gas,i,j}}{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^{CellNumber} K_{gas,i,j} \cdot dz_{i,j}}, 1/м, \text{ где}$ <p>N – число секций, CellNumber – число ячеек в данной секции.</p> <p>Значение Kgas можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел букву “Z” в качестве аргумента (что удобно для задания профиля мощности тепловыделения), где Z – аксиальная координата. Например, Kgas="abs(cos(Z))"</p> <p>Если все Kfluid и Kgas во всех ячейках равны 0, то энерговыделение будет также равно 0 вне зависимости от значений Qgas и Qfluid.</p> <p>Необязательный атрибут.</p>	[-1015, 1015]	0

4.9.6.3 Запись элемента в XML-формате

Примеры ввода исходных данных объекта Энерговыделение в объёме теплоносителя в XML-формате представлены ниже на Рисунок 4.83.

```
<ChannelHeatSource Name="ChHeat" Qfluid="5000" Qgas="0.0" Length="1">
<Section CellNumber="10" Z="0" Kfluid="abs(cos(Z))" />
<Section CellNumber="5" Z="0.5" Kfluid="abs(cos(Z))" />
</ChannelHeatSource>
```

Рисунок 4.83 – Примеры ввода исходных данных объекта Энерговыделение в объёме теплоносителя ChHeat

4.9.7 Pump – насос

Элемент типа насос предназначен для расчёта напора, создаваемого насосом, с учётом инерционности насосного агрегата, кавитационных характеристик насоса и двухфазности перекачиваемой среды. Параметры среды рассчитываются в ячейке элемента Канал (Channel), с которой связывается насос. Элементом типа Насос рассчитывается диссипация механической энергии рабочего колеса в теплоносителе, величина которой учитывается в связанной с насосом ячейке канала. Полное описание математической модели насоса, реализованной в коде HYDRA, приведено в Руководстве по моделям кода HYDRA.

4.9.7.1 Разрешённые связи элемента

Разрешённые связи элемента Насос с другими элементами кода представлены ниже (см.

Таблица 4.121).

Таблица 4.121 – Связи насоса

Название элемента	Количество связей	Связуемый элемент
Вход/выход насоса	1	Соединение Канала

При задании связи Насоса с соединением Канала необходимо задать два дополнительных атрибута – определить, совпадает ли прямое подключение насоса с положительным направлением канала, и задать координату расположения насоса в канале (см. Таблица 4.122). Код HYDRA по координате определит соединение канала, в котором расположен насос. В случае, если координата попадает в расчётную ячейку канала, насос будет добавлен в левое соединение канала. Если координата окажется больше общей длины Канала, то программа автоматически поместит насос в последнее соединение Канала и выдаст предупреждение. Один насос может быть связан только с одним соединением одного канала.

Таблица 4.122 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme при связи Насоса с Каналом

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
InOut/ InOutTo	CHAR	Параметр, определяющий, совпадает ли прямое подключение насоса с положительным направлением канала (объект "From"/объект "To") In – прямое подключение насоса совпадает с положительным направлением канала; Out – прямое подключение насоса совпадает с отрицательным направлением канала Обязательный атрибут.	[In, Out]	_____
XCh	REAL	Координата точки расположения насоса в канале, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____

Пример описания связи Насоса TestPump с соединением Канала CH1 показан на Рисунок 4.83 и Рисунок 4.84.

```
<Connection NameFrom="TestPump" TypeFrom="Pump" InOut="In" NameTo="CH1"
TypeTo="Channel" XCh="1.0"/>
```

или

```
<Connection NameFrom="CH1" TypeFrom="Channel" InOutTo="In" NameTo="TestPump"
TypeTo="Pump" XCh="1.0"/>
```

Рисунок 4.84 – Пример описания связи Насоса TestPump с соединением Канала CH1

4.9.7.2 Свойства элемента

Основные параметры Насоса задаются в теге Pump, являющемся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см. Таблица 4.123).

Таблица 4.123 – Атрибуты тега Pump

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому насосу должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
PumpModel	INT	Тип насоса В программе предусмотрены следующие типы насосов: FourQuadrant – четырёхквadrантные характеристики; MassFluxExternal – заданный поток массы; PressureHead – заданный перепад давления, HeadRatePerformance – насос с напорно-расходной характеристикой, заданной или таблично или в виде квадратичной зависимости. При этом и скорость и давление в численную схему входят неявно. (Обязательно определение типа характеристики при помощи атрибута PerformanceType, который может принимать значение “Table” или “Squared”). Обязательный атрибут.	[FourQuadrant, MassFluxExternal, PressureHead, HeadRatePerformance]	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
PerformanceType	INT	Только для насоса типа HeadRatePerformance. Table – насос с таблично заданной напорно-расходной характеристикой; Squared – насос с квадратичной напорно-расходной характеристикой (уравнение (3.19)). Обязательный атрибут для насоса типа HeadRatePerformance.	[Squared, Table]	_____

Количество и тип дополнительных вводимых пользователем параметров зависит от выбранного пользователем типа Насоса – значение параметра PumpModel (см. Таблица 4.123). Значения дополнительных параметров могут задаваться в виде константы, временной зависимости (таблица от времени) или функциональной зависимости.

Формулы для дополнительных параметров, описанных ниже, могут содержать изменяющиеся во времени, рассчитываемые параметры задачи.

Для всех типов насосов возможно задание выбега (останова) насоса (кроме насоса типа HeadRatePerformance, для которого выбег задаётся просто зависимостью оборотов от времени, при этом останов насоса происходит при достижении частотой значения OmegaMin). Для задания выбега необходимо задать условие начала выбега (останова) насоса и профиль постепенного останова насоса (см. Таблица 4.124). В момент времени, соответствующий началу выбега насоса, запоминается значение управляющего параметра (для разных типов насосов – разное: массовый расход, перепад давления, угловая скорость, напор мотора). Профиль предполагается изменяемым от 1 до 0 и по времени начинается с времени начала останова. Принудительная нормировка не выполняется! Если условие начала и профиль выбега не заданы, то останов предполагается мгновенным.

Таблица 4.124 – Дополнительные атрибуты тега Pump для задания выбега

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
StopCondition	CHAR	Имя функции, определяющей условие начала выбега (останова) насоса в секундах. При отсутствии данного атрибута выбега не будет (время выбега будет установлено равным 1.0E+35) Необязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
StopProfile	CHAR	Имя функции, определяющей профиль постепенного останова насоса. При отсутствии данного атрибута останов до нуля будет мгновенным Необязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

В случае задания насоса типа PressureHead пользователь должен определить дополнительный к перепаду давления в ячейке канала перепад давления (см. Таблица 4.125), который будет добавлен в правую часть уравнений сохранения импульса. Дополнительный перепад давления может иметь положительное или отрицательное значение. Положительное – совпадает с положительным направлением канала.

Таблица 4.125 – Дополнительные атрибуты тега Pump для насоса типа PressureHead

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypePressureHead	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт дополнительный перепад давлений: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypePressureHead Если TypePressureHead ="CF"				
PressreHead	CHAR	Имя функции, определяющей дополнительный перепад давления для насоса в Паскалях Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypePressureHead ="TF"				
PressureHead	CHAR	Имя таблицы, определяющей дополнительный перепад давления для насоса (в Паскалях) в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypePressureHead ="Const"				
PressureHead	REAL	Дополнительный перепад давления для насоса, Па Обязательный атрибут.	[1.0E-06, 1.0E+06]	_____

В случае задания насоса типа MassFluxExternal пользователь должен определить навязанный массовый расход (q_m), (см. Таблица 4.126). Фактически, через навязанный расход определяется скорость (3.18):

$$v_{2ph} = \frac{q_{m,2ph}}{\rho_{2ph} \cdot S} \quad (3.18)$$

Предполагается, что скорости жидкой и газовой фазы равны.

Навязанный расход может иметь положительное или отрицательное значение. Положительное – совпадает с положительным направлением канала.

Таблица 4.126 – Дополнительные атрибуты тега Pump для насоса типа MassFluxExternal

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypeMassFluxExternal	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт навязанный массовый расход: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeMassFluxExternal Если TypeMassFluxExternal = "CF"				
MassFluxExternal	CHAR	Имя функции, определяющей навязанный массовый расход для насоса в кг/с Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFluxExternal = "TF"				
MassFluxExternal	CHAR	Имя таблицы, определяющей навязанный массовый расход для насоса (в кг/с) в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeMassFluxExternal = "Const"				
MassFluxExternal	REAL	Навязанный массовый расход для насоса, кг/с Обязательный атрибут.	[1.0E-03, 1.0E+05]	_____

Для насоса типа HeadRatePerformance необходимо задать тип напорно-расходной характеристики. В случае выбора типа насоса Type = "Squared" используется следующее уравнение насоса, которое определяет связь между перепадом давления и расходом, и зависимость напорно-расходной характеристики от частоты вращения насоса:

$$K_t \frac{dq_v}{dt} = -\Delta P - K_Q |q_v| q_v + K_m \omega^2. \quad (3.19)$$

Коэффициенты K_t , K_Q , K_m , определяются по гидравлическим характеристикам насоса и должны быть заданы пользователем (см. Таблица 4.127).

Таблица 4.127 – Дополнительные атрибуты тега Pump для насоса типа HeadRatePerformance (PerformanceType="Squared")

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Kt	REAL	Коэффициент, определяющий режим работы насоса, K_t в уравнении (3.19) Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+08]	_____
Kq	REAL	Коэффициент, определяющий режим работы насоса, K_q в уравнении (3.19) Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+08]	_____
Km	REAL	Коэффициент, определяющий режим работы насоса, K_m в уравнении (3.19) Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+08]	_____
OmegaMin	REAL	Минимальная угловая скорость вращения, ниже которой расчет узла переходит на обычное уравнение импульса, об/с Необязательный атрибут	[0.0E, 1.0E+06]	0.1
TypeOmega	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт угловую скорость вращения в оборотах в секунду: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeOmega Если TypeOmega ="CF"				
Omega	CHAR	Имя функции, определяющей угловую скорость вращения в оборотах в секунду Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeOmega ="TF"				
Omega	CHAR	Имя таблицы, определяющей угловую скорость вращения для насоса в оборотах в секунду в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Если TypeOmega ="Const"				
Omega	REAL	Угловая скорость вращения в оборотах в секунду Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+06]	_____

В случае задания насоса типа HeadRatePerformance с таблично заданной напорно-расходной характеристикой (Type="Table"), характеристика задается в "номинальных" координатах, при этом обязательным является задание номинальной частоты вращения насоса (OmegaNom).

Напорно-расходная характеристика преобразуется по следующему закону:

$$\begin{aligned} \Delta p &\rightarrow \omega^2 \cdot \Delta p_n, \\ Q &\rightarrow \omega \cdot Q_n, \end{aligned} \quad (3.20)$$

где $\omega = \omega_{\text{текущие}} / \omega_{\text{номинальные}}$ - частота вращения насоса относительно номинального значения частоты вращения. Т.к. в закон преобразования частота входит как относительная величина, то единица измерения частоты может быть выбрана любой (к примеру, в виде процентов от номинальной частоты, в этом случае OmegaNom="100.0").

Уравнение насоса в случае таблично заданной характеристики принимает след. вид:

$$-\Delta p = K_t \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right) - \Delta p_\omega(q), \quad (3.21)$$

где Δp - вычисляемый перепад давления на насосе, $\Delta p_\omega(q)$ - табличная напорно-расходная характеристика, $K_t \left(\frac{\partial q}{\partial t} \right)$ - член, который определяет инерционность насоса при изменении расхода.

Номинальные значения частоты вращения насоса должны быть заданы пользователем (см.

Таблица 4.128).

Таблица 4.128 – Дополнительные атрибуты тега Pump для насоса типа HeadRatePerformance (PerformanceType="Table")

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
OmegaNom	REAL	Номинальное значение угловой скорости насоса, об/с Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+08]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
OmegaMin	REAL	Минимальная угловая скорость вращения, ниже которой расчет узла переходит на обычное уравнение импульса (останов насоса). Это относительная величина (задаётся относительно номинального значения частоты вращения (OmegaNom)), об/с Необязательный атрибут	[0.0E, 1.0E+06]	1.E-3 (0,1 %)
Kt	REAL	Коэффициент, определяющий режим работы насоса, K_t в уравнении (3.21) Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+08]	_____
TypeOmega	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт угловую скорость вращения: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeOmega Если TypeOmega ="CF"				
Omega	CHAR	Имя функции, определяющей угловую скорость вращения. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeOmega ="TF"				
Omega	CHAR	Имя таблицы, определяющей угловую скорость вращения: для насоса в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeOmega ="Const"				
Omega	REAL	Угловая скорость вращения, об/с Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+06]	_____

Подузлы PumpPerformanceTable задают напорно-расходную характеристику.

Таблица 4.129 – Дополнительные атрибуты подтегов PumpPerformanceTable тега Pump для задания напорно-расходных характеристик. По крайней мере две строки должны быть заданы.

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
X	REAL	Значение аргумента функции - номинального объёмного расхода. Значения X должны быть положительны и монотонно возрастать. В противном случае программа семантического контроля выдаст ошибку. Обязательный атрибут.	[0, 1.e8]	_____
Y	REAL	Значение функции (номинальный напор. Значения Y должны быть положительны. В противном случае программа семантического контроля выдаст ошибку. Обязательный атрибут.	[0., 1.e8]	_____

Пример ввода насоса показан на Рисунок 4.85.

```

<!-- OmegaMin = Omega/OmegaNominal - для замены насоса на локальное
сопротивление
    PumpPerformanceTable - таблица пар номинальных расходов и напоров
-->
<Pump Name="PumpTable" PumpModel="HeadRatePerformance"
PerformanceType="Table"
    Kt = "1."
    OmegaNom = "100.0"
    TypeOmega="TF" Omega="OMEGA" OmegaMin="1.e-1">
    <PumpPerformanceTable X = " 1.10E-06 " Y=" 80000. "/>
    <PumpPerformanceTable X = " 1.10E-05 " Y=" 70000. "/>
</Pump>

<Table Name="OMEGA" ScalarFactor="0." MultiplFactor="1.">
    !- X - время, Y - обороты (% от номинальных)
<PairXY X="0." Y="88."/>
<PairXY X="5.e-2" Y="90."/>
<PairXY X="1." Y="100."/>
    <PairXY X="25." Y="100."/>
<PairXY X="30." Y="0.01"/>
</Table>

```

Рисунок 4.85 – Пример задания насоса во входном файле

Пользовательский ввод данных для насоса FourQuadrant (расчёт с использованием четырёхквadrантных характеристик) можно разбить на две группы. К первой группе относятся параметры управления работой насоса, ко второй – характеристики самого насоса.

Для рабочего цикла и для выбега (останова) насоса можно выбрать два режима – задание зависимости частоты вращения или определение частоты с помощью решения уравнения моментов. В последнем случае управление осуществляется заданием внешних моментов мотора и трения.

Рабочий режим определяется аргументом OmegaWorkHystory. При задании OmegaWorkHystory = “External” аргументом Omega = “Const/CF/TF” задается частота при выборе OmegaWorkHystory = “Solved” частота определяется решением уравнения моментов, для чего необходимо задать дополнительные параметры: Inertia, TorqueMotor, TorqueFriction для решения уравнения, а также OmegaStart и BranchStart для определения начальной точки характеристик.

Независимо от того, как управлялся рабочий режим, выбег (останов) также можно определить либо непосредственным заданием профиля изменения частоты, либо торможением TorqueMotor. Режим выбирается заданием параметра OmegaStopHystory = “External” для изменения частоты, или OmegaStopHystory = “Solved” со своими дополнительными параметрами.

Дополнительный перепад давления, создаваемый насосом, задаётся при помощи таблиц (четырёхквadrантных характеристик) в зависимости от аргумента $\frac{\omega}{q_v}$, где ω – угловая скорость вращения, q_v – объёмный расход.

Значение объёмного расхода (q_v) берётся из соединения канала, в котором расположен насос.

Угловая скорость вращения ω может задаваться двумя разными способами:

- либо в виде константы, временной зависимости (таблица от времени) или функциональной зависимости (см. уравнение (0.10));
- либо определяться согласно уравнению изменения моментов количества движения

(см. уравнение (3.24)), в котором величины $J, M_{TorqueMotor}, M_{TorqueFriction}$ задаются в виде константы, временной зависимости или функциональной зависимости, а член $M_{TorquePump}$ задаётся в виде четырёхквadrантной характеристики.

В первом случае не нужно задавать величины $J, M_{TorqueMotor}, M_{TorqueFriction}$, а задание ω обязательное. Во втором случае наоборот, обязателен ввод величин $J, M_{TorqueMotor}, M_{TorqueFriction}$, а ввод ω не требуется.

В случае задания насоса типа FourQuadrant все величины (перепад давления (Δp), угловая скорость вращения (ω), объёмный расход (q_v) и вращательный момент ($M_{TorquePump}$)) задаются в нормированном виде. Нормировочные значения должны быть определены пользователем (см. Таблица 4.130).

Таблица 4.130 – Дополнительные атрибуты тега Pump для насоса типа FourQuadrant

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
OmegaNom	REAL	Номинальная угловая скорость вращения, об/с Обязательный атрибут.	[0, 1.e10]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
VolFluxNom	REAL	Номинальный объёмный расход, м ³ /с Обязательный атрибут.	[0, 1.e10]	_____
PressureHeadNom	REAL	Номинальный перепад давления, Па Обязательный атрибут.	[0, 1.e10]	_____
TorquePumpNom	REAL	Внутренний момент насоса, Н·м Обязательный атрибут.	[0, 1.e10]	_____

Таблица 4.131 – Дополнительные атрибуты тега Pump для насоса типа FourQuadrant в случае задания угловой скорости вращения константой, табличной функцией или функциональной зависимостью

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
OmegaWorkHystory	CHAR	Определяет, как задается частота рабочего участка: External - непосредственно задается Omega (см. следующие строки таблицы) Solved – частота рассчитывается решением уравнения моментов (дополнительные параметры см. строки ниже) Обязательный атрибут.	[External, Solved]	
OmegaStopHystory	CHAR	Определяет, как задается частота для выбега: External - непосредственно задается Omega (см. задание выбега) Solved – частота рассчитывается решением уравнения моментов (дополнительные параметры см. далее) Обязательный атрибут.	[External, Solved]	
TypeOmega	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт угловую скорость вращения: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeOmega				
Если TypeOmega ="CF"				
Omega	CHAR	Имя функции, определяющей угловую скорость вращения в об/с Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Если TypeOmega ="TF"				
Omega	CHAR	Имя таблицы, определяющей угловую скорость вращения для насоса (об/с) в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeOmega ="Const"				
Omega	REAL	Угловая скорость вращения, об/с Обязательный атрибут.	[-1.e6, 1.0E+06]	_____

В этом случае (явного задания угловой скорости мотора) не нужно задавать величины J , $M_{TorqueMotor}$, $M_{TorqueFriction}$, необходимые для расчета угловой скорости уравнению изменения моментов количества движения (см. уравнение (3.24)).

В случае, если пользователь задаёт угловую скорость с помощью константы, табличной функции или функциональной зависимости (дополнительных атрибутов, определённых в Таблица 4.131), выбег, тем не менее, можно считать по уравнению моментов. Для этого обязательно нужно задать, как и в случае решения уравнения для угловой скорости, все характеристики (см. ниже), кроме момента мотора (мотор считается выключенным, и его момент равен нулю).

Если эти характеристики не заданы, то для останова «по профилю» должен быть задан, как и во всех других случаях расчёта выбега, профиль постепенного останова вращения мотора (напомним, что если и профиль не задан, то останов по умолчанию мгновенный).

Если угловая скорость вращения определяется согласно теореме об изменении моментов количества движения, то справедливо выражение (3.22)

$$J \frac{d\omega}{dt} = \sum Mom, \quad (3.22)$$

где J – момент инерции мотора. Правая часть выражения ($\sum Mom$) определяет сумму моментов внешних сил, действующих на систему. Она складывается из момента сил тяжести (который равен нулю, так как плечо сил равно нулю (они проходят через ось вращения колеса)), момента сил давления в расчётных сечениях (который также равен нулю по той же причине), момента сил трения, момента динамического воздействия рабочего колеса на протекающую через него жидкую фазу и внутреннего момента насоса. Таким образом (3.23), (3.24):

$$\sum Mom = M_{TorqueMotor} - M_{TorqueFriction} - M_{TorquePump}. \quad (3.23)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{TorqueMotor} - M_{TorqueFriction} - M_{TorquePump}. \quad (3.24)$$

Величины J , $M_{TorqueMotor}$, $M_{TorqueFriction}$, входящие в уравнение (3.24), должны быть заданы в виде табличной функции или функциональной зависимости. В этом случае кроме задания значений атрибутов OmegaWorkHistory = “Solved” (для рабочего участка) или OmegaStopHistory = “Solved” (для выбега) необходимо задать атрибуты выбора линии характеристик BranchStart и начальной точки на ней OmegaStart, а также параметров уравнения; Inertia, TorqueMotor, TorqueFriction.

Эти параметры должны быть заданы, если не задана угловая скорость в явном виде (см. Таблица 4.131).

Таблица 4.132 – Дополнительные атрибуты тега Pump для насоса типа FourQuadrant в случае определения угловой скорости согласно теореме об изменении моментов количества движения.

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
BranchStart	CHAR	Выбор линии начальной точки: VolFlux_Plus – линия VolFlux_Plus (режим «насос») характеристики VolFlux_Minus – линия VolFlux_Minus (режим «турбина») характеристики Необязательный атрибут.	[VolFlux_Plus, VolFlux_Minus]	VolFlux_Plus
OmegaStart	REAL	Значение частоты на линии BranchStart Необязательный атрибут.	[-1.e6,1.e6]	OmegaNom
TypeTorqueMotor	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт момент динамического воздействия рабочего колеса на протекающую через него жидкую фазу ($M_{TorqueMotor}$ в уравнении (3.24)): CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTorqueMotor Если TypeTorqueMotor ="CF"				
TorqueMotor	CHAR	Имя функции, определяющей момент динамического воздействия рабочего колеса на протекающую через него жидкую фазу в Н·м Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTorqueMotor ="TF"				
TorqueMotor	CHAR	Имя таблицы, определяющей момент динамического воздействия рабочего колеса на протекающую через него жидкую фазу (в Н·м) в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Если TypeTorqueMotor ="Const"				
TorqueMotor	REAL	Момент динамического воздействия рабочего колеса на протекающую через него жидкую фазу, Н·м Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+06]	_____
TypeTorqueFriction	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт момент сил трения ($M_{TorqueFriction}$ в уравнении (3.24)): CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTorqueFriction Если TypeTorqueFriction ="CF"				
TorqueFriction	CHAR	Имя функции, определяющей момент сил трения в Н·м Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTorqueFriction ="TF"				
TorqueFriction	CHAR	Имя таблицы, определяющей момент сил трения (Н·м) в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTorqueFriction ="Const"				
TorqueFriction	REAL	Момент сил трения, Н·м Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+06]	_____
TypeInertia	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт момент инерции мотора (J в уравнении (3.24)): CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeInertia Если TypeInertia ="CF"				
Inertia	CHAR	Имя функции, определяющей момент инерции мотора в Н·м Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeInertia ="TF"				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Inertia	CHAR	Имя таблицы, определяющей момент инерции мотора (Н·м) в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeInertia ="Const"				
Inertia	REAL	Момент инерции мотора, Н·м Обязательный атрибут.	[0.0E, 1.0E+06]	_____

Внутренний момент насоса (величина $M_{TorquePump}$) в уравнении (3.24) должен быть задан в виде четырёхквadrантной характеристики.

4.9.7.3 Задание четырёхквadrантных характеристик.

В случае задания четырёхквadrантных характеристик насоса (см. Таблица 4.133) (перепада давления и внутреннего момента насоса $M_{TorquePump}$ в уравнении (3.24)) они

задаются в виде табличных зависимостей от $\frac{\omega}{q_V}$. Диапазон изменения аргумента $\frac{\omega}{q_V}$ – от

минус бесконечности до плюс бесконечности. Для задания зависимостей во всём диапазоне изменения аргумента используется следующий приём: в диапазоне от минус 1 до плюс 1

используется одна функция от аргумента $\frac{\omega}{q_V}$, а вместо диапазонов от минус бесконечности

до минус 1 и от плюс 1 до плюс бесконечности используется вторая функция уже от $\frac{q_V}{\omega}$.

Таким образом, аргумент всегда остаётся в диапазоне от минус 1 до плюс 1, но вместо двух функций (отдельно для положительных ω – Omega_Plus и отдельно для отрицательных ω – Omega_Minus) необходимо задать четыре. Дополнительные функции для больших значений

$\frac{\omega}{q_V}$ имеют мнемоники VolFlux_Plus и VolFlux_Minus.

Величины ω и q_V в аргументах функций и значения самих функций – нормированы на номинальные величины, обязательные во вводе (см. Таблица 4.130).

На каждую характеристику, задаваемую четырёхквadrантными характеристиками, должно быть задано по 4 однофазные таблицы плюс 4 деградиационные (кавитационные, двухфазные) таблицы.

Характеристики насоса в относительных координатах имеют одинаковые значения при перекачке однофазной среды, независимо от того, вода это или пар, при этом рассчитываемый напор насоса соответствует давлению столба перекачиваемой среды. Двухфазность среды приводит к деградации относительных характеристик, которые для этого случая должны сниматься отдельно. Учёт влияния двухфазности на характеристики насоса производится введением корректирующих коэффициентов, зависящих от паросодержания α . Для дополнительного перепада давления (напора) насоса и внутреннего момента насоса (3.25), (3.26):

$$\frac{\Delta p}{a^2} = \frac{\Delta p_1}{a^2} - Kp(\alpha) \cdot \left(\frac{\Delta p_1}{a^2} - \frac{\Delta p_2}{a^2} \right); \quad (3.25)$$

$$\frac{M_{TorquePump}}{a^2} = \frac{M_{TorquePump1}}{a^2} - Km(\alpha) \cdot \left(\frac{M_{TorquePump1}}{a^2} - \frac{M_{TorquePump2}}{a^2} \right). \quad (3.26)$$

Здесь a обозначает отношения объёмного расхода q_V к угловой скорости вращения ω (или наоборот), в зависимости от того, на каком участке рассматриваются функции внутреннего момента насоса или дополнительного перепада давления, а индексы 1 и 2 относятся к однофазной и двухфазной характеристикам насоса, соответственно. Корректирующие коэффициенты Kp и Km принимают нулевое значение при $\alpha = 0$ и $\alpha = 1$ и равны единице в широком диапазоне промежуточных значений паросодержаний. Естественно, что если $Kp = Km = 0$ независимо от паросодержания, учёт влияния двухфазности исключается.

Таким образом, для полного определения двухфазных характеристик насоса необходимо задать:

- значения однофазной характеристики;
- значения разности однофазной и двухфазной характеристик (для перепада давления $-\Delta p_1 - \Delta p_2$ и для внутреннего момента насоса $M_{TorquePump1} - M_{TorquePump2}$);
- значения функций $Kp(\alpha)$ и $Km(\alpha)$.

Все значения задаются в табличном виде в качестве подтегов тега Pump; промежуточные значения получают линейным интерполированием между точками задания. Подтеги тега Pump для задания четырёхквadrантных характеристик имеют следующие названия:

- **PressureHead_Omega_Plus** – таблица нормированного давления при $\omega > 0$ (для $\frac{\omega}{q_V}$);
- **PressureHead_VolFlux_Plus** – таблица нормированного давления при $\omega > 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$);
- **PressureHead_Omega_Minus** – таблица нормированного давления при $\omega < 0$ (для $\frac{\omega}{q_V}$);
- **PressureHead_VolFlux_Minus** – таблица нормированного давления при $\omega < 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$);
- **PressureHead21_Omega_Plus** – деградационные характеристики нормированного давления (значение $(\frac{\Delta p_1 - \Delta p_2}{PressureHeadNom})$ в выражении (3.25)) при $\omega > 0$ (для $\frac{\omega}{q_V}$);
- **PressureHead21_VolFlux_Plus** – деградационные характеристики нормированного давления (значение $(\frac{\Delta p_1 - \Delta p_2}{PressureHeadNom})$ в выражении (3.25)) при $\omega > 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$);

- **PressureHead21_Omega_Minus** – деградационные характеристики нормированного давления (значение $(\frac{\Delta p_1 - \Delta p_2}{PressureHeadNom})$ в выражении (3.25)) при $\omega < 0$ (для $\frac{\omega}{q_V}$);
- **PressureHead21_VolFlux_Minus** – деградационные характеристики нормированного давления (значение $(\frac{\Delta p_1 - \Delta p_2}{PressureHeadNom})$ в выражении (3.25)) при $\omega < 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$);
- **PressureHead_Void** – учёт паросодержания (член $Kp(\alpha)$ в выражении (3.25)). В соответствии с формулами, учёт двухфазности отключается, если эта таблица содержит 2 узла и значения Y этой таблицы – нули.
- **TorquePump_Omega_Plus** – таблица нормированного внутреннего момента насоса при $\omega > 0$ (для $\frac{\omega}{q_V}$);
- **TorquePump_VolFlux_Plus** – таблица нормированного внутреннего момента насоса при $\omega > 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$);
- **TorquePump_Omega_Minus** – таблица нормированного внутреннего момента насоса при $\omega < 0$ (для $\frac{\omega}{q_V}$);
- **TorquePump_VolFlux_Minus** – таблица нормированного внутреннего момента насоса при $\omega < 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$);
- **TorquePump21_Omega_Plus** – деградационные характеристики нормированного внутреннего момента насоса (значение $(\frac{M_{TorquePump1} - M_{TorquePump2}}{TorquePumpNorm})$ в выражении (3.26)) при $\omega > 0$ (для $\frac{\omega}{q_V}$);
- **TorquePump21_VolFlux_Plus** – деградационные характеристики нормированного внутреннего момента насоса (значение $(\frac{M_{TorquePump1} - M_{TorquePump2}}{TorquePumpNorm})$ в выражении (3.26)) при $\omega > 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$);
- **TorquePump21_Omega_Minus** – деградационные характеристики нормированного внутреннего момента насоса (значение $(\frac{M_{TorquePump1} - M_{TorquePump2}}{TorquePumpNorm})$ в выражении (3.26)) при $\omega < 0$ (для $\frac{\omega}{q_V}$);

- **TorquePump21_VolFlux_Minus** – деградационные характеристики нормированного внутреннего момента насоса (значение $(\frac{M_{TorquePump1} - M_{TorquePump2}}{TorquePumpNorm})$ в выражении (3.26)) при $\omega < 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$);
- **TorquePump_Void** – учёт паросодержания (член $Km(\alpha)$ в выражении (3.26)).

Таблица 4.133 – Дополнительные атрибуты подтегов тега Pump для задания четырёхквadrантных характеристик для насоса типа FourQuadrant

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
X	REAL	Значение аргумента функции ($\frac{\omega}{q_V}$ или $\frac{q_V}{\omega}$). Первое значение X обязательно должно быть равно минус 1., последнее значение – плюс 1. Промежуточные значения X должны монотонно возрастать. В противном случае программа семантического контроля выдаст ошибку. Обязательный атрибут.	[-1., 1.]	_____
Y	REAL	Значение функции (нормированный перепад давления, нормированный внутренний момент насоса и т.д.). На «сшивках» X=+1 и X=-1 – значения функций Omega должно быть равно значению функции VolFlux, в противном случае программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке Обязательный атрибут.	[-1.e10, 1.e10]	_____

Таблицы нормированного давления при $\omega > 0$ (две таблицы – для $\frac{q_V}{\omega}$ и для $\frac{\omega}{q_V}$) показаны на Рисунок 4.86.

```
<PressureHead_Omega_Plus X="-1" Y="1.5"/>
<PressureHead_VolFlux_Plus X="-1" Y="0.2"/>
```

Рисунок 4.86 – Таблицы нормированного давления при $\omega > 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$ и для $\frac{\omega}{q_V}$)

Таблицы нормированного давления при $\omega < 0$ (две таблицы – для $\frac{q_V}{\omega}$ и для $\frac{\omega}{q_V}$) показаны на Рисунок 4.87.

```
<PressureHead_Omega_Minus X="-1" Y=".2"/>
<PressureHead_VolFlux_Minus X="-1" Y="1.5"/>
```


Рисунок 4.87 – Таблицы нормированного давления при $\omega < 0$ (для $\frac{q_V}{\omega}$ и для $\frac{\omega}{q_V}$)

Деградационные характеристики нормированного давления (значение $\frac{\Delta p_1 - \Delta p_2}{PressureHeadNom}$ (3.25)) при $\omega > 0$ (две таблицы – для $\frac{q_V}{\omega}$ и для $\frac{\omega}{q_V}$) показаны на Рисунок 4.88.

```
<PressureHead21_Omega_Plus X="-1" Y="1.5"/>  
<PressureHead21_VolFlux_Plus X="-1" Y="0.2"/>
```

Рисунок 4.88 – Деградационные характеристики нормированного давления при $\omega > 0$

Деградационные характеристики нормированного давления при $\omega < 0$ (две таблицы – для $\frac{q_V}{\omega}$ и для $\frac{\omega}{q_V}$) показаны на Рисунок 4.89.

```
<PressureHead21_Omega_Minus X="-1" Y=".2"/>  
<PressureHead21_VolFlux_Minus X="-1" Y="1.5"/>
```

Рисунок 4.89 – Деградационные характеристики нормированного давления при $\omega < 0$

Учёт паросодержания (член $K_p(\alpha)$ в выражении (3.25)) показан на Рисунок 4.90.

```
<PressureHead_Void X="0" Y="0"/>
```

Рисунок 4.90 – Учёт паросодержания (член $K_p(\alpha)$ в выражении (3.25))

Аналогично 9 таблиц моментной характеристики выглядят как показано на Рисунок 4.91.

```
<TorquePump_Omega_Plus X="-1" Y=".7"/>  
<TorquePump_VolFlux_Plus X="-1" Y="-1.5"/>  
<TorquePump_Omega_Minus X="-1" Y="-1.5"/>  
<TorquePump_VolFlux_Minus X="-1" Y="0.7"/>  
<TorquePump21_Omega_Plus X="-1" Y=".7"/>  
<TorquePump21_VolFlux_Plus X="-1" Y="-1.5"/>  
<TorquePump21_Omega_Minus X="-1" Y="-1.5"/>  
<TorquePump21_VolFlux_Minus X="-1" Y="0.7"/>
```

Рисунок 4.91 – Таблицы моментной характеристики

Учёт паросодержания (член $K_m(\alpha)$ в выражении (3.26)) показан на Рисунок 4.92.

```
<TorquePump_Void X="0" Y="0"/>
```

Рисунок 4.92 – Учёт паросодержания (член $K_m(\alpha)$ в выражении (3.26))

Полный пример корректных таблиц показан на Рисунок 4.93.

```

-- PressureHead таблицы
-- +  $\omega$  -+  $q_V$  ,  $x = \frac{\omega}{q_V}$ 
<PressureHead_Omega_Plus X="-1" Y="1.5"/>
<PressureHead_Omega_Plus X="1" Y=".95"/>
-- +  $q_V$  -+  $\omega$  ,  $x = \frac{q_V}{\omega}$ 
<PressureHead_VolFlux_Plus X="-1" Y="0.2"/>
<PressureHead_VolFlux_Plus X="0" Y="-0.5"/>
<PressureHead_VolFlux_Plus X="1" Y=".95"/>
-- -  $\omega$  -+  $q_V$  ,  $x = \frac{\omega}{q_V}$ 
<PressureHead_Omega_Minus X="-1" Y=".2"/>
<PressureHead_Omega_Minus X="1" Y="1.8"/>
-- -  $q_V$  -+  $\omega$  ,  $x = \frac{q_V}{\omega}$ 
<PressureHead_VolFlux_Minus X="-1" Y="1.5"/>
<PressureHead_VolFlux_Minus X="0" Y="0.7"/>
<PressureHead_VolFlux_Minus X="1" Y="1.8"/>
-- деградационные характеристики
-- +  $\omega$  -+  $q_V$  ,  $x = \frac{\omega}{q_V}$ 
<PressureHead21_Omega_Plus X="-1" Y="1.5"/>
<PressureHead21_Omega_Plus X="1" Y=".95"/>
-- +  $q_V$  -+  $\omega$  ,  $x = \frac{q_V}{\omega}$ 
<PressureHead21_VolFlux_Plus X="-1" Y="0.2"/>
<PressureHead21_VolFlux_Plus X="0" Y="-0.5"/>
<PressureHead21_VolFlux_Plus X="1" Y=".95"/>
-- -  $\omega$  -+  $q_V$  ,  $x = \frac{\omega}{q_V}$ 
<PressureHead21_Omega_Minus X="-1" Y=".2"/>
<PressureHead21_Omega_Minus X="1" Y="1.8"/>
-- -  $q_V$  -+  $\omega$  ,  $x = \frac{q_V}{\omega}$ 
<PressureHead21_VolFlux_Minus X="-1" Y="1.5"/>
<PressureHead21_VolFlux_Minus X="0" Y="0.7"/>
<PressureHead21_VolFlux_Minus X="1" Y="1.8"/>
-- Pressure Head - TwoPhase
<PressureHead_Void X="0" Y="0"/>
<PressureHead_Void X="1" Y="0"/>
-- TorquePump таблицы
-- +  $\omega$  -+  $q_V$  ,  $x = \frac{\omega}{q_V}$ 
<TorquePump_Omega_Plus X="-1" Y=".7"/>
<TorquePump_Omega_Plus X="0" Y="0.6"/>

```

```

<TorquePump_Omega_Plus X="1" Y="1.0"/>
-- + qv -+ ω , x =  $\frac{q_v}{\omega}$ 
<TorquePump_VolFlux_Plus X="-1" Y="-1.5"/>
<TorquePump_VolFlux_Plus X="1" Y="1.0"/>
-- - ω -+ qv , x =  $\frac{\omega}{q_v}$ 
<TorquePump_Omega_Minus X="-1" Y="-1.5"/>
<TorquePump_Omega_Minus X="1" Y="-0.1"/>
-- - qv -+ ω , x =  $\frac{q_v}{\omega}$ 
<TorquePump_VolFlux_Minus X="-1" Y="0.7"/>
<TorquePump_VolFlux_Minus X="1" Y="-0.1"/>
-- деградационные характеристики
-- + ω -+ qv , x =  $\frac{\omega}{q_v}$ 
<TorquePump21_Omega_Plus X="-1" Y=".7"/>
<TorquePump21_Omega_Plus X="0" Y="0.6"/>
<TorquePump21_Omega_Plus X="1" Y="1.0"/>
-- + qv -+ ω , x =  $\frac{q_v}{\omega}$ 
<TorquePump21_VolFlux_Plus X="-1" Y="-1.5"/>
<TorquePump21_VolFlux_Plus X="1" Y="1.0"/>
-- - ω -+ qv , x =  $\frac{\omega}{q_v}$ 
<TorquePump21_Omega_Minus X="-1" Y="-1.5"/>
<TorquePump21_Omega_Minus X="1" Y="-0.1"/>
-- - qv -+ ω , x =  $\frac{q_v}{\omega}$ 
<TorquePump21_VolFlux_Minus X="-1" Y="0.7"/>
<TorquePump21_VolFlux_Minus X="1" Y="-0.1"/>
-- TorquePump - TwoPhase
<TorquePump_Void X="0" Y="0"/>
<TorquePump_Void X="1" Y="0"/>

```

Рисунок 4.93 – Полный пример корректных таблиц

4.9.7.4 Запись элемента в XML-формате

Примеры задания разных типов насосов показаны на Рисунок 4.94.

Тип 1 – PressureHead

```

<Pump Name="TestPump" PumpModel="PressureHead" TypePressureHead="CF"
PressureHead="PressureHead" />
<ControlFunc Name="PressureHead" OutFile="rasxod.dat" Func="0."
Formula="interpol([0,50,1000],[0.e-2,4.e5,4.e5],t)">
<Arg ShortName="t" LongName="Time" />
</ControlFunc>

```

Тип 2 – MassFluxExternal

```
<Pump Name="TestPump" PumpModel="MassFluxExternal" TypeMassFluxExternal="CF"
MassFluxExternal="PumpMassFlux" />
<ControlFunc Name="PumpMassFlux" OutFile="vel.dat" Func="0."
Formula="interpol([0,50,1000],[0.e-2,4.e-2,4.e-2],t)">
<Arg ShortName="t" LongName="Time" />
</ControlFunc>
```

Тип 3 – VolFluxSolved

```
<Pump Name="TestPump" PumpModel="VolFluxSolved" TypeOmegaSquared="CF"
OmegaSquared="Omega" Kt="1." Kq="1." Km="1." />
<ControlFunc Name="Omega" OutFile="rasxod.dat" Func="0."
Formula="interpol([0,50,1000],[0.e-2,4.e4,4.e4],t)">
<Arg ShortName="t" LongName="Time" />
</ControlFunc>
```

Тип 4 – FourQuadrant

```
<Pump Name="TestPump" PumpModel="FourQuadrant" TypeOmega="CF" Omega="Omega"
OmegaNom="1.e2" VolFluxNom="1" PressureHeadNom="1.e5" TorqueNom="1.">
-- +Om -+Q , x = Om/Q
<PressureHead_Omega_Plus X="-1" Y="1.5" />
<PressureHead_Omega_Plus X="1" Y=".95" />
-- +Q -+Om , x = Q/Om
<PressureHead_VolFlux_Plus X="-1" Y="0.2" />
<PressureHead_VolFlux_Plus X="0" Y="-0.5" />
<PressureHead_VolFlux_Plus X="1" Y=".95" />
-- -Om -+Q , x = Om/Q
<PressureHead_Omega_Minus X="-1" Y=".2" />
<PressureHead_Omega_Minus X="1" Y="1.8" />
-- -Q -+Om , x = Q/Om
<PressureHead_VolFlux_Minus X="-1" Y="1.5" />
<PressureHead_VolFlux_Minus X="0" Y="0.7" />
<PressureHead_VolFlux_Minus X="1" Y="1.8" />
-- Pressure Head - TwoPhase
<PressureHead_Void X="0" Y="0" />
<PressureHead_Void X="1" Y="0" />
-- деградационные характеристики -- +Om -+Q , x = Om/Q
<PressureHead21_Omega_Plus X="-1" Y="1.5" />
<PressureHead21_Omega_Plus X="1" Y=".95" />
-- +Q -+Om , x = Q/Om
<PressureHead21_VolFlux_Plus X="-1" Y="0.2" />
<PressureHead21_VolFlux_Plus X="0" Y="-0.5" />
<PressureHead21_VolFlux_Plus X="1" Y=".95" />
-- -Om -+Q , x = Om/Q
<PressureHead21_Omega_Minus X="-1" Y=".2" />
<PressureHead21_Omega_Minus X="1" Y="1.8" />
-- -Q -+Om , x = Q/Om
<PressureHead21_VolFlux_Minus X="-1" Y="1.5" />
<PressureHead21_VolFlux_Minus X="0" Y="0.7" />
```

```
<PressureHead21_VolFlux_Minus X="1" Y="1.8" />
</Pump>
```

Рисунок 4.94 – Пример задания различных типов насосов

4.9.8 Radiation – Теплообмен излучением

Элемент Теплообмен излучением предназначен для расчета теплообмена между поверхностями твёрдых тел за счёт излучения. Этими поверхностями являются внутренняя или внешняя поверхности (или их части) теплопроводящих структур.

В настоящей версии кода реализованы две конфигурации расчета:

- расчет только радиального переноса произвольного набора поверхностей;
- радиальный и аксиальный теплообмен в элементах ТВС.

4.9.8.1 Радиальный перенос

В предположении радиального переноса теплообмен осуществляется послойно, в поперечном направлении. Взаимное расположение поверхностей учитывается посредством угловых коэффициентов.

Компонентами объекта Теплообмен излучением являются расчётные слои (Layers) и поверхности теплопроводящих структур (Surfaces). Каждый объект Теплообмен излучением состоит из набора поверхностей теплопроводящих структур (Surfaces), которые разбиваются по высоте на слои (Layers). Таким образом, каждый слой содержит расчётные ячейки поверхностей разных теплопроводящих структур, участвующих в теплообмене излучением. Если граничным условием для этих ячеек являются ячейки канала, то в каждом слое рассчитывается свое среднее по слою паросодержание, а значит и поглощённое излучение. Предполагается, что угловые коэффициенты одинаковы для всех слоёв, то есть взаимное расположение поверхностей одинаково для каждого расчётного слоя данного элемента Radiation.

Угловые коэффициенты для расчета излучения задаются пользователем. Во вводе проверяется выполнение условий взаимности и замкнутости и при их невыполнении производится коррекция с предупредительной диагностикой.

4.9.8.2 Радиальный или аксиальный перенос в ТВС

При расчете теплообмена излучением в инженерном объекте ТВС (FuelAssembly) пользователь обязан ввести дополнительный параметр – флаг учета аксиального переноса. Угловые коэффициенты в этом случае рассчитываются автоматически с учетом вышеприведенных параметров. Подробное описание параметров, необходимых для расчёта теплообмена излучением в ТВС, приведены в разделе, описывающем объект ТВС (FuelAssembly).

4.9.8.3 Разрешённые связи элемента

У объекта Теплообмен излучением нет связей с другими элементами кода.

4.9.8.4 Свойства элемента

Основные параметры объекта Теплообмена излучением задаются в теге Radiation, являющимся верхним уровнем иерархии файла ввода входных данных в XML-формате (см. Таблица 4.134). Тег Radiation содержит один атрибут – имя данного объекта Теплообмен излучением.

Таблица 4.134 – Атрибуты тега Radiation

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому объекту Излучение должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Данные для поверхностей теплопроводящих структур, определённых в элементе Теплообмен излучением с именем Name (см. Таблица 4.134), задаются в подтегах Surface тега Radiation, атрибуты которых описаны в Таблица 4.135.

При обработке входного файла каждой поверхности будет присвоен идентификационный номер, который используется для вывода информации для поверхностей в выходной файл или plot-файл, и соответствует порядковому номеру задания данных пользователем в файле ввода входных данных.

Таблица 4.135 – Атрибуты тега Surface

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
NameHCS	CHAR	Имя теплопроводящей структуры, которая будет участвовать в теплообмене излучением Обязательный атрибут.	Любое имя Name из списка структур, заданных в тегах HeatStruct	_____
Boundary	CHAR	Граничная поверхность теплопроводящей структуры с именем NameHCS Обязательный атрибут.	[Internal, External]	_____
XHS	REAL	Координата точки начала первого слоя для поверхности теплопроводящей структуры с идентификатором ID, м Обязательный атрибут.	[0., Length], где Length – общая длина теплопроводящей структуры	_____
ViewFactors	REAL	Значения угловых коэффициентов Одинаковы для всех слоёв данного объекта «Теплообмен излучением». Задаются в кавычках через запятую. Число коэффициентов должно соответствовать числу поверхностей теплопроводящих структур NumSurf. Угловые коэффициенты соответствуют поверхностям в порядке их задания во вводе пользователем в тегах Surface. Обязательный атрибут.	[0., 1.]	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Примечание – Значение параметра XHS не может превышать значение общей длины теплопроводящей структуры. В противном случае программе семантического контроля выдаст сообщение об ошибке и расчёт будет остановлен.				

Сумма угловых коэффициентов, заданных атрибутом ViewFactors, описанном в Таблица 4.135, для каждой поверхности должна быть равна 1 (условие замкнутости), то есть для поверхности теплопроводящей структуры с идентификационным номером ID

$$\sum_{j=1}^{\text{NumSurf}} Vf_{ID,j} = 1, \text{ где NumSurf – число поверхностей теплопроводящих структур,}$$

заданных для данного объекта «Теплообмен излучением», Vf – угловые коэффициенты данной поверхности с идентификационным номером ID.

Для угловых коэффициентов должно выполняться соотношение (условие взаимности):

$S_i \cdot Vf_{i,j} = S_j \cdot Vf_{j,i}$, где i, j – индексы двух поверхностей, участвующих в теплообмене излучением; S – площади поверхностей (m^2).

Программа семантического контроля после чтения данных из входного файла проверяет выполнение условия взаимности и условия замкнутости. Если условия не выполнены – программа семантического контроля выдаст предупреждение и произведёт пересчёт диагональных элементов из условия замкнутости, а нижнетреугольных – из условия взаимности. В случае, если диагональные элементы меньше 0, программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке и расчёт будет остановлен.

Данные для слоёв, входящих в состав объекта «Теплообмен излучением», должны быть заданы в подтегах Layer тега Radiation. Подтеги Layer содержат один атрибут, который определяет высоту каждого слоя (Таблица 4.136). При обработке входного файла каждому слою будет присвоен идентификационный номер, который используется для вывода информации для слоёв в выходной файл или plot-файл, и соответствует порядковому номеру задания данных пользователем в файле ввода входных данных.

Таблица 4.136 – Атрибуты тега Layer

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Length	REAL	Длина участка поверхностей теплопроводящей структуры, соответствующей данному слою, м Обязательный атрибут.	[10-7., 1010]	_____
Примечание – Значение параметра XHS+Length для каждой теплопроводящей структуры не должно превышать значения общей длины теплопроводящей структуры. В противном случае программе семантического контроля выдаст сообщение об ошибке и расчёт будет остановлен.				

4.9.8.5 Запись элемента в XML-формате

Примеры задания объекта Теплообмен излучением представлен ниже на Рисунок 4.95.

<Radiation Name="TestRad" >

```

<Surface NameHCS="HCS1" XHS="0." Boundary="External" ViewFactors="0., 1." />
<Surface NameHCS="HCS2" XHS="0." Boundary="Internal" ViewFactors=".5, 0.5" />
  <Layer Length="0.5" >
  <Layer Length="1." >
</Radiation>

```

Рисунок 4.95 – Примеры задания объекта Теплообмен излучением TestRad

4.9.9 Pressurizer – Компенсатор давления

Элемент Компенсатор давления предназначен для приближенного расчета конструкций типа общий газовый объем, соединенный снизу с одним или более вертикальными каналами. Эти вертикальные каналы частично, снизу заполнены жидкой фазой, сверху – газовой фазой. Предполагается, что уровень разделения фаз газ-жидкость в этих вертикальных каналах может совершать колебательные движения так, что уровень не может опуститься ниже нижней границы вертикального канала и не может подняться выше верхней границы этого вертикального канала.

4.9.9.1 Разрешенные связи элемента

Разрешённые связи элемента Компенсатор давления с другими элементами кода представлены в Таблица 4.137. Элемент Компенсатор давления (Pressuizer) соединяется с другими элементами с помощью своих составных частей – трубок с уровнем (LevelPipe).

Таблица 4.137 – Связи элемента Компенсатор давления

Элемент (Компенсатор давления)	Кол-во связей	Связуемый элемент
LevelPipe	Одна	Канал Channel

При соединении Компенсатора давления с элементом Канал в разделе описания связей элементов файла ввода исходных данных в XML-формате (NodalizationScheme) необходимо использовать составное имя, в котором сначала указывается имя элемента Pressuizer, затем специальный символ «/», затем имя трубки с уровнем (пример – Рисунок 4.96). Для правильного расчета контура с элементом Pressurizer все элементы LevelPipe должны быть соединены с вертикальной секцией канала с той же площадью сечения, что и соответствующий элемент LevelPipe. Дополнительных атрибутов, относящихся к элементу Компенсатор давления (Pressuizer) нет, а дополнительные атрибуты элемента Канал описаны в соответствующем разделе описания элемента Канал (4.9.1.1).

```

<Connection      NameFrom="Ch_upAZ"      TypeFrom="Channel"      InOut="Out"
                  NameTo="GasCup/Pipe_upAZ" TypeTo="LevelPipe" />
<Connection      NameFrom="Ch_OT"        TypeFrom="Channel"      InOut="In"
                  NameTo="GasCup/Pipe_OT" TypeTo="LevelPipe"/>
<Connection      NameFrom="Ch_NK_1"      TypeFrom="Channel"      InOut="In"
                  NameTo="GasCup/Pipe_NK_1" TypeTo="LevelPipe"/>

```

Рисунок 4.96 – Пример задания связей элемента Компенсатор давления (Pressuizer)

4.9.9.2 Свойства элемента

Характеристики Компенсатора давления условия приведены ниже.

Атрибуты, описанные в Таблица 4.138, задаются в теге `Pressurizer`, являющемся верхним уровнем иерархии при задании параметров элемента Компенсатор давления.

Таблица 4.138 – Параметры элемента Компенсатор давления (`Pressurizer`)

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому элементу Компенсатор давления в HYDRA должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Type	CHAR	Тип условия в газовом объеме элемента Компенсатор давления: Pressure – по давлению, условие открытого типа; Plug – заглушка, условие закрытого типа. Необязательный атрибут.	[Pressure, Plug]	[Pressure]
Coolant	CHAR	Имя теплоносителя. Необязательный атрибут.	Имя теплоносителя который задан в объекте с которым соединяется данный <code>Pressurizer</code> (для теплоносителя <code>Pb</code> должен быть также задан <code>NCG</code>).	Первое имя (атрибут Name) из заданных в списке <code>Coolant</code>
Volume	REAL	Величина газового объема (без учета газа в трубках), м ³ Необязательный атрибут, для <code>Type="Pressure"</code> Обязательный атрибут, для <code>Type="Plug"</code>	[1.e-10, 1.e3]	_____

Остальные атрибуты элемента Компенсатор давления зависят от типа условия в газовом объеме (атрибут `Type`).

В случае, если пользователь задал условие открытого типа (условие по давлению, `Type="Pressure"`), дополнительно необходимо определить значения термодинамических параметров: давления, температуры (или энтальпии), массового содержания неконденсирующихся газов (см. Таблица 4.139 и Таблица 4.140). Значения дополнительных параметров могут задаваться в виде константы, временной зависимости (таблица от времени) или функциональной зависимости.

В случае, если пользователь задал условие закрытого типа (условие типа заглушка, `Type="Plug"`), то значения термодинамических параметров: давления, температуры (или

энтальпии), массового содержания неконденсирующихся газов должны быть заданы только в виде констант. Эти значения являются начальными данными для газового объема закрытого типа, в процессе расчета эти параметры пересчитываются.

Указанные выше термодинамические параметры должны быть заданы либо во вводе элемента Компенсатор давления, либо в блоке Coolant (отметим, что в случае использования значений из блока Coolant – эти величины будут неизменны во времени). В противном случае программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке. Задание одновременно значений температур и энтальпий недопустимо.

Отметим особенности использования значения “SAT” при задании температур и энтальпий. Для газовой фазы, при наличии NCG, температуры или энтальпии вычисляются при парциальном давлении пара, зависимом от состава смеси и полного давления. В случае изменения давления со временем насыщенные температуры и энтальпии также пересчитываются.

Таблица 4.139 – Атрибуты термодинамических параметров тега Pressurizer для газового объема

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
TypePressure	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт давление: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeTfluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт температуру жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeHfluid	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт энтальпию жидкой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
TypeTgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт температуру газовой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа.	[CF, TF, Const]	Const

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		Необязательный атрибут.		
TypeHgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт энтальпию газовой фазы: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypePressure Если TypePressure = "CF"				
Pressure	CHAR	Имя функции, определяющей значение давление в Па Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypePressure = "TF"				
Pressure	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения давление в Па в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypePressure = "Const"				
Pressure	REAL	Давление, Па Для того чтобы задать давление на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[611.2, 1.e8] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTfluid Если TypeTfluid = "CF"				
Tfluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение температуры жидкой фазы в К Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTfluid = "TF"				
Tfluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения температуры жидкой фазы в К в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTfluid = "Const"				

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Tfluid	REAL	Температура жидкой фазы, К Для того чтобы задать температуру на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeHfluid Если TypeHfluid ="CF"				
Hfluid	CHAR	Имя функции, определяющей значение энтальпии жидкой фазы в Дж/кг Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHfluid ="TF"				
Hfluid	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения энтальпии жидкой фазы в Дж/кг в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHfluid ="Const"				
Hfluid	REAL	Энтальпия жидкой фазы, Дж/кг Для того чтобы задать энтальпию на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово "SAT". Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeTgas Если TypeTgas ="CF"				
Tgas	CHAR	Имя функции, определяющей значение температуры газовой фазы в К Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTgas ="TF"				
Tgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения температуры газовой фазы в К в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeTgas ="Const"				
Tgas	REAL	Температура газовой фазы, К Для того чтобы задать температуру на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово	[165., 2273.15] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		«SAT». Необязательный атрибут.		
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeHgas Если TypeHgas =»CF»				
Hgas	CHAR	Имя функции, определяющей значение энтальпии газовой фазы в Дж/кг Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Если TypeHgas =»TF»				
Hgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения энтальпии газовой фазы в Дж/кг в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeHgas =»Const»				
Hgas	REAL	Энтальпия газовой фазы, Дж/кг Для того чтобы задать энтальпию на линии насыщения, необходимо использовать ключевое слово «SAT». Необязательный атрибут.	[0., 1.e8] [SAT]	Если не задано, берётся из блока Coolant.

Содержание неконденсируемых газов в газовом объеме задаётся в тегах NCG. Теги NCG являются тегами следующего уровня по отношению к тегам Pressurizer. Предполагается, что в газовой объем элемента Компенсатор давления состоит только из газовой фазы, поэтому Void=1, XFluid=0 всегда для газового объема элемента Pressurizer.

Таблица 4.140 – Атрибуты тега NCG элемента Компенсатор давления

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя неконденсируемого газа Обязательный атрибут.	Любое имя из набора NCG того теплоносителя, который задан в атрибуте Coolant.	_____
TypeXgas	CHAR	Ключ, определяющий, в каком виде пользователь задаёт значение относительного массового содержания неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе: CF – функциональная	[CF, TF, Const]	Const

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
		зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.		
Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeXgas Если TypeXgas ="CF"				
Xgas	CHAR	Имя функции, определяющей значение относительного массового содержания (концентрации) неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeXgas ="TF"				
Xgas	CHAR	Имя таблицы, определяющей значения относительного массового содержания (концентрации) неконденсируемого газа с именем Name в газовой фазе в зависимости от времени Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeXgas ="Const"				
Xgas	REAL	Относительное массовое содержание (концентрация) неконденсируемого газа с именем Name Необязательный атрибут.	[0., 1.0]	Если не задано, берётся из блока Coolant. Если не задана и в блоке Coolant, Xgas = 0.

Атрибуты вертикальных трубок, входящих в элемент Компенсатор давления, описаны в тэге LevelPipe (Таблица 4.141). Тэги LevelPipe являются вложенными в тэг Pressurizer.

Таблица 4.141 – Атрибуты тэга LevelPipe элемента Компенсатор давления

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя трубки. Обязательный атрибут.	Любая строка	_____
Area	REAL	Площадь поперечного сечения трубки, м ² . Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e3]	_____
Length	REAL	Длина трубки, м. Является также высотой, так как трубка – вертикальная. Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e3]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
HLevel	REAL	Высота уровня жидкой фазы, м. Измеряется от нижнего сечения трубки. Задает значение уровня жидкой фазы в начальный момент времени. Обязательный атрибут.	[1.e-10, Length]	_____

4.9.9.3 Запись элемента в XML - формате

Ниже приведен пример задания элемента Компенсатор давления, состоящего из трех трубок с уровнем (Рисунок 4.97).

```
<Pressurizer      Name="GasCup"      Volume="2.0e+2"      Pressure="0.104e6"
                  Coolant="Pb" Tgas="800.">
  <NCG Name="Ar" Xgas="1.0" Xfluid="0.0"></NCG>
  <NCG Name="H2OVap" Xgas="0." Xfluid="0.0"></NCG>

  <LevelPipe      Name="Pipe_upAZ"      Area="20.447"      Length="2.3"
                  HLevel="0.15"></LevelPipe>
  <LevelPipe      Name="Pipe_OT"      Area="10.605"      Length="1.5"
                  HLevel="1.2"></LevelPipe>
  <LevelPipe      Name="Pipe_NK_1"      Area="22.464"      Length="1.1"
                  HLevel="0.82"></LevelPipe>
</Pressurizer>
```

Рисунок 4.97 – Пример задания элемента Компенсатор давления (Pressuizer)

4.9.10 Моделирование теплообмена между поверхностью расплава ТЖМТ и внутренней поверхностью верхней крышки РУ

Для оценочных расчетов по теплообмену между поверхностью свинцового теплоносителя и крышкой над активной зоной реактора в расчетный код была внедрена опция, позволяющая учитывать в расчете лучистый и конвективный теплообмен с поверхности свинцового теплоносителя. Для этого при моделировании необходимо указать флаг IsLevel у канала, в котором находится уровень свинца, а также указать флаг IsTop для теплопроводящей структуры, которая моделирует крышку. При этом эта теплопроводящая структура должна иметь параметр Geometry="Rectangular", а геометрические параметры должны быть заданы таким образом, чтобы площадь боковой поверхности была равна площади поверхности свинца.

Пример входного файла представлен на Рисунок 4.98:

```
<Channel Name="CH1" Multiplicity="1" Coolant="Pb" IsLevel="1">
  <Section CellNumber="9" Length="0.9" Deqv="10.0" Area="(pi*10.0*10.0)/4"
  Dh="0.9" Roughness="1.e-6" TypeCrossSection="Circle" Void="0.0">
    <NCG Name="Ar" Xgas="1.0" Xfluid="0.0"></NCG>
  </Section>
  <Section CellNumber="1" Length="0.1" Deqv="10.0" Area="(pi*10.0*10.0)/4"
  Dh="0.1" Roughness="1.e-6" TypeCrossSection="Circle" Void="1.0" >
    <NCG Name="Ar" Xgas="1.0" Xfluid="0.0"></NCG>
```

```

    </Section>
</Channel>

    <HeatStruct      Name="HCS1"      Dimension="1"      Geometry="Rectangular"
Width="7.85398" IsTop="1">
    <AxialSection Z0="0." Length="10.0" NZ="1">
    <RadialSection  R0="0.0"  Length="5.e-1"  NR="5"  Material="09X18H9"
Temp="300"/>
    </AxialSection>
    </HeatStruct>

```

Рисунок 4.98 – Пример входного файла

4.10 Описание ввода инженерных объектов ПК HYDRA

В ПК HYDRA, как было описано выше (раздел 4.5), основным уровнем ввода является модельный уровень. Вместе с тем, современной тенденцией является разработка и использование в кодах более сложных объектов со своим вводом и выводом, называемых, инженерными. Инженерные объекты состоят из модельных.

4.10.1 Core – Активная зона

Одним из инженерных объектов является объект Core, используемый для описания активной зоны. Объект создан для того, чтобы пользователю не приходилось вводить огромное количество однотипной информации. Например, в подавляющем большинстве теплогидравлических кодов для задания активной зоны необходимо определить каждый гидравлический канал, на который разбита зона, а при необходимости учёта поперечных перетечек – камеры и дополнительные каналы. Таким образом, моделирование каждой ТВС отдельным каналом или каждого твэла отдельным каналом практически не представляется возможным, поскольку в этом случае пользователю необходимо задать более 300 (для ТВС) и более 50 000 (для твэлов) каналов. Между тем, с точки зрения расчётной программы создание 50 000 объектов типа канал не представляет труда, необходимо только определить правило, по которому создавать каналы.

Объект Core позволяет моделировать каждую ТВС (или их набор) активной зоны отдельным каналом и автоматически учитывать поперечные перетечки в заданном пользователем числе аксиальных уровней. Для того, чтобы задать разбиение активной зоны на каналы в радиальном направлении, необходимо нарисовать картограмму активной зоны, на которой цифрами обозначить различные каналы (смотреть описание в Таблица 4.146 тега LoadTHMAP). Геометрические размеры каналов определяются картой зоны и типом решетки (гексагональной или квадратной).

Вертикальные каналы:

- Площадь определяется суммарной свободной для течения площадью сборок (площади ТВС без площадей стержней).
- Площадь поперечного сечения канала (сечения, в котором течёт теплоноситель):

$$S = N_{TBC} \cdot \left(S_{TBC} - \pi \sum_k r_k^2 \right), \quad (3.27)$$

где N_{TBC} – число ТВС в данном канале (определяется по картограмме активной зоны);

r_k – внешние радиусы твэлов в ТВС, м.

- Полная площадь сечения ТВС, включая твэлы, для квадратной решётки

$$S_{TBC} = P^2, \quad (3.28)$$

для гексагональной решётки:

$$S_{TBC} = P^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (3.29)$$

где P – шаг ТВС, м.

- Периметр смачивания определяется суммой периметров стержней:

$$P = N_{TBC} 2\pi \sum_k r_k, \quad (3.30)$$

где сумма берётся по всем стержням в ТВС.

Атрибут тега Core NCellHydra в Таблица 4.144 определяет количество расчётных ячеек, на которые разбиты каналы по высоте, а также количество поперечных перетечек. Поперечные перетечки не будут использоваться, если в строке NCellHydra введено только одно число – в аксиальном направлении будет единственный канал в каждой зоне, будут отсутствовать камеры и поперечные каналы. Каналы-перетечки можно использовать только в двух случаях: либо при наличии у ТВС чехла и своей внутренней картограммы – в этом случае перетечки будут формироваться внутри самой ТВС, либо в случае бесчехловых ТВС будут сформированы перетечки между зонами-каналами объекта Core. В остальных случаях код выдаст ошибку и прекратит работу. Если необходимо использование перетечек для первого случая, то у ТВС, для которой необходимы перетечки необходимо указать значение тега IsLeak=1.

В случаях, когда каналы-перетечки должны быть сгенерированы, каждый канал разделяется на несколько каналов с длинами, пропорциональными тем целым числам, что заданы в строке NCellHydra. Между этими вертикальными каналами ставятся камеры, а между камерами разных граничащих каналов ставятся дополнительные горизонтальные каналы для моделирования горизонтальных перетечек в активной зоне. Высотные отметки горизонтальных каналов равны высотным отметкам камер, а характерные высотные интервалы влияния определяются серединами между высотными отметками (началом зоны для первого канала и концом для последнего). Эти вертикальные размеры зон влияния перетечек используются для задания площадей и периметров каналов-перетечек.

Площадь определяется суммарной площадью доли границ зон, относящейся к данному каналу для горизонтальных перетечек.

Периметр смачивания определяется длиной одного ряда стержней в аксиальном направлении, также доля от полной высоты для данного горизонтального канала.

Приведем соответствующие формулы, используемые в расчетах (для случая отсутствия картограммы у ТВС).

Пусть во вводе задано K чисел, задающих количества ячеек K вертикальных каналов с полной длиной H :

$$NCellHydra = "N_1, N_2, \dots, N_K"$$

$$LengthHydra = "H"$$

Тогда длины каналов определяются как

$$H_n = H \cdot N_n / \sum_k N_k$$

А характерные вертикальные размеры каналов-перетечек определяются как

$$D_1 = 0.5H_1$$

$$D_k = 0.5(H_k + H_{k-1}), k = 2, \dots, K - 2$$

$$D_{K-1} = 0.5H_K$$

Характерный горизонтальный размер определяется числом границ ТВС различных каналов и длиной границы (принимается равной шагу ТВС - P):

$M_{i,j}$ – число границ ТВС зоны i и зоны j

P - шаг ТВС (в вводе - FAPitch)

$$H = P \cdot M_{i,j}$$

Периметр смачивания определяется числом стержней по стороне (отношением шагов ТВС и стержней) и числом границ:

$$N_{TBC} = P / p$$

p – шаг стержней (в вводе FRPitch)

Теперь площадь, длина и периметр смачивания каналов перетечек определяются как:

$$S_k = D_k H$$

$$l = P$$

$$P_k = 2N_{TBC}M_{i,j}D_k$$

Параметры твэлов (тег FuelRod) используются для вычисления площади поперечного сечения и смоченного периметра канала.

Аналогично Каналу в Core можно использовать объект LocalResistance.

Задание тепловклада

В объекте Core внешний тепловклад можно задать двумя способами.

Первый способ – тепловклад задается прямо в вертикальные каналы с помощью объекта ChannelHeat, коннекции с которым также задаются аналогично каналам, только список каналов, куда подается тепло задается, дополнительным тегом в коннекциях ListZones="список зон".

Если в объекте FuelRod имеются разделы RadialSection и Region (аналогичный как при вводе 2D материалов теплопроводящих структур), а в узле FuelRodList задана мощность тепловклада Q="..." для каждого FuelRod автоматически создается по теплопроводящей структуре с заданными размерами и, полностью аналогично теплопроводящим структурам, решается задача теплопроводности с данным тепловкладом.

Пользователь может использовать любое количество разных тепловкладов непосредственно в каналы и одновременно решать задачу теплопроводности с тепловкладом в стержни и передачей тепла в каналы через поверхность соприкосновения.

Отметим, что тепловклад в каналы при заданном списке ListZones вносится в каждый канал из этого списка. Тепловклад, заданный в FuelRodList, предполагается на один стержень (аналогично сделано в теплопроводящих структурах – не учитывается параметр Multiplicity). Здесь Multiplicity заменяет параметр Number в разделе FuelRodList.

4.10.1.1 Разрешённые связи элемента

Разрешённые связи элемента Core с другими элементами кода представлены ниже (см. Таблица 4.142).

Таблица 4.142 – Связи инженерного объекта Core с другими объектами кода

Компонент активной зоны	Кол-во связей	Связуемый элемент
Вход/Выход Core	любое	Гидравлическое граничное условие BoundCell. Дополнительный атрибут ListZones позволяет использовать разные условия для разных каналов Core. Дополнительный атрибут ListZonesFA позволяет использовать разные условия для разных каналов Core в случае наличия у ТВС собственной картограммы.
	любое	Камера Chamber. Дополнительный атрибут ListZones позволяет использовать разные камеры для разных каналов Core.
Каналы Core	любое	Энерговыведение в объёме теплоносителя ChannelHeatSource. Дополнительный атрибут ListZones позволяет использовать разные тепловклады для разных каналов Core. Подробное описание атрибутов приведено в разделе ChannelHeatSource
Канал межкассетного пространства	одна	Внутренняя поверхность HeatStruct. Связь возможна только с внутренней поверхностью. Используется только для моделирования обечайки активной зоны (конструкции, окружающей всю активную зону реактора). В этом случае, аксиальное разбиение Тепловой структуры должно быть таким же, как и в объекте Core.
	любое	Гидравлическое граничное условие BoundCell. Дополнительный атрибут ListBy_Passes позволяет использовать разные условия для разных каналов межкассетного пространства Core. Если в коннекциях для всех каналов Core используется одно граничное условие (т.е. либо не используется атрибут ListZones, либо его значение равно ":"), то по умолчанию для всех каналов межкассетного пространства будет использоваться то же граничное условие, если для них не будет задано отдельной связи.

Дополнительные параметры тега Connection при Активной зоне с Гидравлическим граничным условием и Камерой описаны в разделах 4.8.6 и 4.9.3.

Пример описания связи активной зоны TestCore с гидравлическими граничными условиями BVOL1 и BVOL2 показан на Рисунок 4.99.

```
<Connection TypeFrom="Core" NameFrom="TestCore" InOut="In" TypeTo="BoundCell" NameTo="BVOL1" />
```

```
<Connection TypeFrom="Core" NameFrom="TestCore" InOut="Out" TypeTo="BoundCell" NameTo="BVOL2" />
```

или

```
<Connection TypeFrom="BoundCell" NameFrom="BVOL1" InOutTo="In" TypeTo="Core" NameTo="TestCore" />
```

```
<Connection TypeFrom="BoundCell" NameFrom="BVOL2" InOutTo="Out" TypeTo="Core" NameTo="TestCore" />
```

```
<Connection TypeFrom="Core" NameFrom="TestCore" InOut="In" TypeTo="BoundCell" NameTo="BVOL1" />
```

```
<Connection TypeFrom="Core" NameFrom="TestCore" InOut="Out" TypeTo="BoundCell"
NameTo="BVOL2" />
```

или

```
<Connection TypeFrom="BoundCell" NameFrom="BVOL1" InOutTo="In"
TypeTo="Core" NameTo="TestCore" />
```

```
<Connection TypeFrom="BoundCell" NameFrom="BVOL2" InOutTo="Out" TypeTo="Core"
NameTo="TestCore" />
```

Рисунок 4.99 – Пример связи Активной зоны TestCore с Гидравлическими граничными условиями BVOL1 и BVOL2

Пример описания связи Энерговыведения в объёме теплоносителя с каналом с именем «1» Активной зоной TestCore показан на Рисунок 4.100.

```
<Connection NameFrom="CoreHeat" TypeFrom="ChannelHeatSource"
NameTo="TestCore" TypeTo="Core" XCh="0.5"
ListZones="1"/>
```

Рисунок 4.100 – Пример связи Активной зоны TestCore с Энерговыведением в объёме теплоносителя CoreHeat

4.10.1.2 Свойства элемента

В теге Core должны быть заданы подтеги, перечисленные в Таблица 4.143. Все подтеги, кроме CRGT_I_T и Canister, являются обязательными. В случае их отсутствия программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке. В объекте Core используется первый по счету теплоноситель из тэгов Coolant входного файла.

Таблица 4.143 – Подтеги тега Core

Имя подтега	Описание
Section	Описание разбиения активной зоны на ячейки в аксиальном направлении. Необязательный.
LoadTHMAP	Картограмма активной зоны. Обязательный.
Zone	Выделенная часть активной зоны (соответствует одному гидравлическому каналу). Обязательный.
FuelAssembly	Тепловыделяющая сборка. Обязательный.
CRGT_I_T	Блок задания параметров для контрольных и управляющих стержней. Необязательный.
FuelRod	Тепловыделяющий стержень. Обязательный.
AbsorbingRod	Поглощающий стержень. Необязательный.
Canister	Чехол тепловыделяющей сборки. Необязательный.
By_Pass	Канал межкассетного пространства. Необязательный.
InnerHS	Фиктивная тепловая структура между каналами межкассетного пространства. Необязательный.

В Таблица 4.144 перечислены атрибуты тега Core.

Таблица 4.144 – Атрибуты тега Core

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя активной зоны Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символа)	_____
FAPitch	REAL	Шаг ТВС (расстояние между центрами ТВС), м Обязательный атрибут.	[0., 10.]	_____
LengthHydra	REAL	Длина гидравлического канала, м (при наличии перетечек – суммарная длина аксиальных каналов) Обязательный атрибут.	[0, 100]	_____
NCellHydra	CHAR	Количество гидравлических ячеек по вертикальным уровням, разделенных запятыми Обязательный атрибут.	Каждое целое число в диапазоне [0, 300]	_____
FRPitch	REAL	Шаг решётки твэлов (расстояние между центрами твэлов в ТВС), м Обязательный атрибут.	[0., 10.]	_____
ARPitch	REAL	Шаг решётки пэлов (расстояние между центрами пэлов в ТВС), м Обязательный атрибут, если в ТВС есть поглощающие элементы.	[0., 10.]	_____
Roughness	REAL	Шероховатость, м Шероховатость в каждой РЯ всех каналов активной зоны будет равна Roughness. Необязательный атрибут.	[0, 0.1]	5.e-5
ExtHS	BOOL	Признак наличия связи канала межкассетного пространства с тепловой структурой, моделирующей обечайку. Необязательный атрибут.	[0,1]	0

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
XHeat	REAL	Координата, определяющая положение твэла, относительно начала активной зоны, м. Обязательный атрибут, если в активной зоне есть пэлы (есть тег AbsorbingRod). В противном случае – необязательный.	[0, LengthHydra)	0
XHeat_AbsRod	REAL	Координата, определяющая положение пэла, относительно начала активной зоны, м. Обязательный атрибут, если в активной зоне есть пэлы. В противном случае – не используется.	[LengthHeat + XHeat, LengthHydra)	_____
LengthHeat	REAL	Величина, определяющая длину твэла, м. Обязательный, если в активной зоне есть пэлы. В противном случае – необязательный.	(0, LengthHydra]	LengthHydra
LengthHeat_AbsRod	REAL	Величина, определяющая длину пэла, м. Обязательный, если в активной зоне есть пэлы. В противном случае – не используется.	(0, LengthHydra - XHeat_AbsRod]	_____

Разбиение активной зоны на ячейки в аксиальном направлении задается в теге Section. Используется при необходимости задать неравномерное разбиение. При использовании перетечек на каждый аксиальный канал можно задать только одну секцию Section – т.е. количество ячеек в аксиальном канале и в секции, соответствующей этому каналу, должны совпадать. Атрибуты тега Section перечислены в Таблица 4.145.

Таблица 4.145 – Атрибуты тега Section

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
LengthAxial	REAL	Длина аксиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 100]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
CellNumber	INT	Число расчетных ячеек участка заданной длины LengthAxial Обязательный атрибут.	[1, 10000]	_____

В Таблица 4.146 перечислены атрибуты тега LoadTHMAP, которые обрамляет целые значения для задания картограммы активной зоны. Тег LoadTHMAP используется для задания гидравлической сетки для активной зоны. Каждое уникальное значение, помещённое в тег LoadTHMAP, соответствует гидравлическому каналу. Значения должны быть разделены пробелом. Например, если в теге заданы следующие значения

```

0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0
0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0
0 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 0
0 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 0
0 0 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 0 0
0 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 0
0 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 0
0 0 4 4 4 4 4 4 4 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

то пользователь задал четыре гидравлических канала с именами «1», «2», «3», «4». «0» – служебный символ, используемый для разделения значений.

Перед картограммой приводится разметка этой картограммы – число строк и число чисел в каждой строке. Например, перед приведенной выше диаграммой – это строка:

```
17          9 11 13 15 17 17 17 17 17 17 17 17 15 13 11 9
```

Таблица 4.146 – Значения, помещённые в тег LoadTHMAP

Имя значения	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
LoadTHMAP	INT	Картограмма активной зоны Значения: > 0 – имя-номер гидравлического канала; 0 – граница Обязательный атрибут.	[0, 1010]	_____

Параметры каждого гидравлического канала, входящего в активную зону, должны быть заданы в теге Zone. Атрибуты тега Zone перечислены в Таблица 4.147. На основе

параметров, заданных в Таблица 4.147, кодом HYDRA будут сгенерированы гидравлические каналы с необходимыми характеристиками.

Таблица 4.147 – Атрибуты тега Zone

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	INT	Имя зоны (одно из значений картограммы Активной зоны). Обязательный атрибут.	[0, 1010]	_____
Roughness	REAL	Шероховатость, м Шероховатость в каждой РЯ для данного канала активной зоны будет равна Roughness. Необязательный атрибут.	[0, 0.1]	Roughness из тега Core. Если он не задан, то значением по умолчанию будет величина равная 5.e-5

Геометрические параметры каналов рассчитываются автоматически, но при необходимости можно переопределить площадь сечения, периметр и гидравлический диаметр каналов. Для этого нужно использовать тег Section, в котором помимо геометрических параметров можно задать необходимое термодинамическое состояние для канала (Таблица 4.148). Задать диапазон действия тега Section можно двумя способами: определить CellNumber (и StartIdx при необходимости) или определить X и Length. Если не будет определено ни то, ни другое, то код выдаст ошибку.

Если суммарное количество ячеек, на которое распространяется переопределение параметров, окажется больше величины общего числа ячеек в Активной зоне, то код выдаст ошибку и прекратит работу. В случае, если пользователь решит переопределить геометрические размеры в тех ячейках канала, где есть твэлы или пэлы, то код выдаст предупреждение, но работа кода продолжится.

Таблица 4.148 – Атрибуты тега Section

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
StartIdx	INT	Номер ячейки, с которой начинается секция. Необязательный атрибут. Если заданы атрибуты X и Length, то не используется.	[1, NCellHydra]	1 – для первой Section n+1 – для следующих, где n – номер последней ячейки предыдущей Section
CellNumber	INT	Количество ячеек, на которые распространяются заданные параметры Section. Обязательный атрибут, если не заданы атрибуты X и Length. Если же они заданы, то не используется.	(0, NCellHydra]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
X	REAL	Координата расположения начала секции относительно начала Активной зоны, м. Обязательный атрибут, если не задан CellNumber. Если есть CellNumber, то не используется.	[0, LengthHydra]	_____
Length	REAL	Длина секции, м. Обязательный атрибут, если не задан CellNumber. Если есть CellNumber, то не используется.	(0, LengthHydra]	_____
Deqv	REAL	Гидравлический диаметр, м Гидравлический диаметр каждой РЯ, входящей в состав секции, будет равен Deqv. Обязательный атрибут, кроме случая (игнорируется), если заданы атрибуты Area и Perimeter.	[1.e-7, 100.]	_____
Area	REAL	Площадь поперечного сечения, м ² Площадь поперечного сечения каждой РЯ, входящей в состав секции, будет равна Area. Обязательный атрибут, кроме случая (игнорируется), если заданы атрибуты Deqv и Perimeter.	[1.e-10, 2.5e3]	_____
Perimeter	REAL	Смоченный периметр, м Смоченный периметр каждой РЯ, входящей в состав секции, будет равен Perimeter. Обязательный атрибут кроме случая (игнорируется), если заданы атрибуты Deqv и Area.	[1.e-7, 1.e6]	_____

Параметры термодинамического состояния задаются аналогично простому каналу (см. раздел 4.9.1), включая тег NCG.

Также, если же тег AbsorbingRod в активной зоне не используется, можно для описания Zone использовать элемент Pressurizer. В этом случае Zone имеет ряд особенностей. Zone в этом случае состоит из короткого канала с одной расчетной ячейкой, по длине равной длине первой ячейки общей расчетной сетки элемента Core, этот короткий канал соединяется с

элементом Pressurizer. В этом случае предполагается, что сборка, задаваемая в теге FuelAssemblyList, не имеет стержней. Площадь проходного сечения канала и элемента Pressurizer задается по следующей логике: если задана площадь (атрибут Area) в задании элемента Pressurizer, то используется это значение для задания площади в канале (при этом канал считается круглым); если Area у элемента Pressurizer не задано, то при наличии тега Section, из первой секции берутся значения Area и Perimeter для задания геометрии сечения (теги Section, кроме первого игнорируются); если теги Section отсутствуют, то геометрия сечения вычисляется исходя из параметров Core. При задании тега Pressurizer для определения Zone предполагается, что этот элемент Pressurizer имеет только одну трубку (LevelPipe). Если длина трубки элемента Pressurizer не задана, то длина трубки будет равна длине Core за вычетом длины входного канала. Пример задания Zone с использованием элемента Pressurizer представлен на Рисунок 4.106.

Для задания параметров твэлов, помещённых в гидравлический канал, твэлы объединяются в тепловыделяющие сборки. В один гидравлический канал могут быть помещены тепловыделяющие сборки только одного типа. Имя тепловыделяющих сборок, помещённых в гидравлический канал, задаются в подтеге FuelAssemblyList тега Zone. Атрибуты тега FuelAssemblyList перечислены в Таблица 4.149. В настоящей версии в каждой зоне разрешается иметь лишь один тип ТВС, разные ТВС необходимо задавать в разных зонах. Зона, канал, ТВС – всегда «в одной связке».

Таблица 4.149 – Атрибуты тега FuelAssemblyList

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя тепловыделяющей сборки (ТВС). Обязательный атрибут.	Любое из описанных в тегах FuelAssembly (максимум 100 символа)	_____

Тепловыделяющие сборки состоят из твэлов и направляющих трубок для регулирующих стержней. Имена и количество твэлов и направляющих трубок для регулирующих стержней, входящих в данную тепловыделяющую сборку, задаются в подтегах FuelRodList (см. Таблица 4.154) и CRGT_I_TList (см. Таблица 4.155) тега FuelAssembly. При наличии собственной картограммы у ТВС – FuelRodList и CRGT_I_TList будут подтегами тега ZoneFA, т.е. на уровень ниже, чем в случае моделирования активной зоны (см. раздел 4.10.2). Для направляющих трубок и регулирующих стержней теплопроводящие структуры в коде не заводятся, однако, их геометрические размеры используются при расчёте проходного сечения и смоченного периметра. Атрибуты тега FuelAssembly перечислены в Таблица 4.150. Если подтеги FuelRodList и CRGT_I_TList не заданы, то программа семантического контроля выдает сообщение об ошибке.

Кроме того, при необходимости можно моделировать сборки, в которых присутствуют пэлы – поглощающие элементы, который располагаются "вторым этажом" над твэлами в одной и той же сборке. Для их описания нужно воспользоваться тегом AbsorbingRodList, который в точности повторяет все атрибуты тега FuelRodList, и потому не приводится, чтобы исключить дублирование информации.

В случае использования пэлов для ТВС нельзя задавать свою внутреннюю картограмму, а также нельзя использовать перетечки в описании Активной зоны.

Таблица 4.150 – Атрибуты тега FuelAssembly

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя тепловыделяющей сборки Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символа)	_____
NumberRod	INT	Общее количество твэлов и регулирующих стержней в ТВС Обязательный атрибут.	[0, 10 ⁵]	_____
IsLeak	INT	Флаг использования перетечек в данной ТВС. Необязательный атрибут.	[0 (Off), 1 (On)]	0
FRPitch	REAL	Шаг решётки твэлов (расстояние между центрами твэлов в ТВС), м Необязательный атрибут.	[0., 10.]	FRPitch из тега Core
XHeat	REAL	Переопределяет координату, определяющую положение твэла, относительно начала активной зоны, для конкретной ТВС, м. Необязательный атрибут.	[0, LengthHydra)	Атрибут XHeat тега Core
XHeat_AbsRod	REAL	Переопределяет координату, определяющую положение пэла, относительно начала активной зоны, для конкретной ТВС, м. Необязательный атрибут. Не используется, если в Активной зоне нет тега AbsorbingRod	[LengthHeat +XHeat, LengthHydra)	Атрибут XHeat_AbsRod тега Core
LengthHeat	REAL	Переопределяет длину твэла для конкретной ТВС, м. Необязательный.	(0, LengthHydra]	Атрибут LengthHeat тега Core
LengthHeat_AbsRod	REAL	Переопределяет длину пэла, м. Необязательный. Не используется, если в Активной зоне нет тега AbsorbingRod	(0, LengthHydra-XHeat_AbsRod]	Атрибут LengthHeat_AbsRod тега Core

Кроме того, в коде предусмотрена возможность разбиения на каналы внутри самой ТВС. Для этого необходимо задать картограмму ТВС. Подробное описание см. раздел 4.10.2. В этом случае параметры вертикальных каналов рассчитываются следующим образом:

- Площадь определяется суммарной свободной для течения площади сборки (площади ТВС без площадей стержней).
- Площадь поперечного сечения канала (сечения, в котором течёт теплоноситель):

$$S = N_{TVEL} \cdot \left(S_{TVEL} - \pi \sum_k r_k^2 \right), \quad (3.31)$$

где N_{TVEL} – число твэлов в данном канале (определяется по картограмме активной зоны);

r_k – внешние радиусы твэлов в ТВС, м.

- Площадь, приходящаяся на один твэл, для квадратной решётки

$$S_{TVEL} = P^2, \quad (3.32)$$

для гексагональной решётки:

$$S_{TVEL} = P^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (3.33)$$

где P – шаг решетки, м.

Периметр смачивания определяется суммой периметров стержней:

$$P = N_{TVEL} 2\pi \sum_k r_k, \quad (3.34)$$

где сумма берётся по всем стержням в ТВС.

Кроме того, при необходимости использования каналов-перетечек в данной ТВС (при наличии чехла и своей картограммы) нужно задать атрибуты NCellHydra и LengthHydra (более подробно см. в разделе FuelAssembly).

Параметры каждого типа твэлов, входящих в ТВС, должны быть заданы в тэге FuelRodList. Атрибуты тэга ZoneFA, необходимого при наличии картограммы у ТВС, перечислены в Таблица 4.169. При отсутствии картограммы у ТВС тег ZoneFA задавать не нужно. На основе параметров, заданных в Таблица 4.151, кодом HYDRA будут сгенерированы типы твэлов с необходимыми характеристиками.

Таблица 4.151 – Атрибуты тэга ZoneFA

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	INT	Имя зоны (одно из значений в картограмме ТВС). Обязательный атрибут.	[0, 1010]	_____

Также у тепловыделяющей сборки может быть чехол. В этом случае должен быть задан тег Canister (подтег тега Core) – его атрибуты перечислены в Таблица 4.156. Чехол, по описанным в этом тэге параметрам, будет сгенерирован для каждой зоны. При этом для всех типов ТВС он будет одинаков с точки зрения геометрии и материалов. В случае использования чехла все межчехловое пространство моделируется отдельным каналом By_Pass, сгенерированным автоматически, который будет соединен с внешними поверхностями чехлов всех ТВС в активной зоне. При необходимости, межкассетное пространство в случае чехловых сборок, можно разбить на несколько каналов. Для этого необходимо использовать тег <By_Pass>, атрибуты которого представлены в Таблица 4.153.

Для каналов By_Pass можно задать локальное сопротивление аналогично обычным каналам (см. объект Channel). Для этого нужно использовать тег <By_Pass> ... </ By_Pass>, ...

внутри которого должен находиться тег LocalResistance со всем соответствующими атрибутами (см. раздел 4.9.1). При этом, тип у локального сопротивления может принимать значения только TF, CF и Const.

Если есть необходимость моделирования теплообмена между каналами межкассетного пространства, нужно использовать тег InnerHS, атрибуты которого представлены в Таблица 4.152. Этот тег задает фиктивную тепловую структуру, состоящую из материала теплоносителя (жидкометаллического), с помощью которого происходит теплообмен между соседними каналами межкассетного пространства.

Таблица 4.152 – Атрибуты тега InnerHS

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя теплопроводящей структуры. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символа)	_____
NameFirst	CHAR	Имя канала межкассетного пространства, который будет соединен с внутренней поверхностью теплопроводящей структуры. Обязательный атрибут.	Любое из имен каналов межкассетного пространства (максимум 100 символа)	_____
NameSecond	CHAR	Имя канала межкассетного пространства, который будет соединен с внешней поверхностью теплопроводящей структуры. Обязательный атрибут.	Любое из имен каналов межкассетного пространства (максимум 100 символа)	_____
Area	REAL	Площадь внутренней поверхности теплопроводящей структуры, м ² . Обязательный атрибут.	[0; 1000]	_____
Thickness	REAL	Толщина теплопроводящей структуры, м. Обязательный атрибут.	[0; 0.1]	_____

Таблица 4.153 – Атрибуты тега By_Pass

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя канала. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символа)	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
ListZones	CHAR	Диапазон каналов Core, которые будет охватывать данный канал межкассетного пространства. Должен быть задан в следующем формате: нач. номер зоны : конечный номер зоны, следующий номер зоны и т.п. При этом используются следующие умолчания: : – все зоны; : 5 – с первой до пятой зоны; 8 : – с восьмой до последней зоны. Обязательный атрибут.	Любой из номеров зон, заданных в объекте Core	_____

Таблица 4.154 – Атрибуты тега FuelRodList

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя твэла Обязательный атрибут.	Любое из описанных в тегах FuelRod. (максимум 100 символа)	_____
Number	INT	Количество одинаковых твэлов в тепловыделяющей сборке (FuelAssembly) Обязательный атрибут.	[0, 10 ⁵]	_____
Dimension	INT	Одномерный или двухмерный расчёт теплопроводности Необязательный атрибут.	[1; 2]	1
KPower	REAL	Коэффициент неравномерности энерговыделения в ТВС на 1 твэл. Обязательный атрибут.	[1,100]	_____
TypeQ	CHAR	Ключ, определяющий в каком виде пользователь задаёт мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const– константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const

Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeQ

Если TypeQ ="CF"

Q	CHAR	Имя функции, определяющей мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции в Вт Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
---	------	--	-------------------------------	-------

Если TypeQ ="TF"

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Q	CHAR	Имя таблицы, определяющей мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции (в Вт) в зависимости от времени. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeQ ="Const"				
Q	REAL	Мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции, Вт Необязательный атрибут.	[0, 100000]	0.

Таблица 4.155 – Атрибуты тега CRGT_I_TList

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя направляющей трубки для регулирующего стержня Обязательный атрибут.	Любое из описанных в тегах CRGT_I_T. (максимум 100 символа)	_____
Number	INT	Количество направляющих трубок для регулирующих стержней Обязательный атрибут.	[0, 105]	_____

Таблица 4.156 – Атрибуты тега Canister

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому объекту должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
WrenchSize	REAL	Размер чехла «под ключ», м Обязательный атрибут.	[1.e-7., 100]	_____
deltaWrenchSize	REAL	Толщина чехла, м Обязательный атрибут.	[1.e-7., 100]	_____
MatCanister	CHAR	Материал чехла. Может быть задано любое имя из набора материалов, описанных в тегах MatProp. Обязательный атрибут, если в тегах Region не заданы атрибуты MaterialCan. Если же они заданы, то использовать текущий атрибут нельзя.	Любое (максимум 100 символов)	_____
TempCanister	REAL	Начальная температура чехла, К Необязательный атрибут	[273.25, 2273.15]	300.

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
EmissivityInCanister	REAL	Степень серости внутренней поверхности чехла Необязательный атрибут.	[0.01, 0.99]	0.99
EmissivityExCanister	REAL	Степень серости внешней поверхности чехла Необязательный атрибут.	[0.01, 0.99]	0.99

В чехле есть возможность задать различное число ячеек в каждой секции по радиусу (аналогично твэлу FuelRod) в подтеге RadialSection тега Canister. Атрибуты RadialSection приведены в Таблица 4.157.

Таблица 4.157 – Атрибуты тега RadialSection

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
R0	REAL	Координата левой границы радиальной секции твэла, м Обязательный атрибут в первой секции, в остальных – необязательный атрибут. Если отсутствует, то значение равно R0+DR предыдущей секции.	[0., 1.e10]	_____
DR	REAL	Толщина радиальной секции твэла, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) секции толщиной DR Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1

При необходимости задать различные материалы по высоте и по радиусу чехла, необходимо разбить его на секции в радиальном и в аксиальном направлении в теге Region, входящим в тег Canister. Таким образом, каждая секции высотой DZ в свою очередь разбивается на секции по радиусу протяженностью DR, в которых задается свой материал. Атрибуты тега Region представлены в Таблица 4.161.

Таблица 4.158 – Атрибуты тега Region

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Z0	REAL	Координата нижней границы аксиальной секции чехла, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____
DZ	REAL	Толщина аксиальной секции чехла, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
R0	REAL	Координата левой границы радиальной секции чехла, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
DR	REAL	Высота радиальной секции чехла, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) секции толщиной DR Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1
MaterialCan	CHAR	Материал ячеек, входящих в состав радиальной секции Обязательный атрибут, если в теге Canister не задан атрибут MatCanister. Если он задан, то текущий атрибут использовать нельзя. Может быть задано любое имя из набора материалов, описанных в тегах MatProp.	Любое (максимум 100 символов)	_____
TempCan	REAL	Начальная температура в расчётных ячейках, входящих в состав радиальной секции, К Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15], [SAT]	Температура жидкой фазы теплоносителя. Если задана энтальпия, то будет пересчитана в процессе

Если нет необходимости задавать профиль начальной температуры у чехла или известно, что чехол весь состоит из одного материала, то достаточно задать атрибуты MatCanister и TempCanister в теге Canister. При этом возможно задать сетку узлов, не указывая температуры и материалы по каждой области. Если же пользователь одновременно будет использовать и вышеупомянутые атрибуты, и также укажет материалы и температуры в областях, на которые будет разбит чехол, то код будет использовать значения, указанные в атрибутах MatCanister и TempCanister тега Canister. В случае, если пользователь не укажет разбиения для чехла, то по умолчанию будет построено разбиение на 8 ячеек в радиальном направлении.

Параметры твэлов и регулирующих стержней задаются в тегах CRGT_I_T и FuelRod (см. Таблица 4.159 – Таблица 4.160). Параметры поглощающих элементов описываются в теге AbsorbingRod. Все атрибуты и геометрические параметры (RadialSection и Region) этого тега идентичны атрибутам и параметрам твэла FuelRod. Поэтому для избежания дублирования информации, таблицы для AbsorbingRod не приводятся.

Таблица 4.159 – Атрибуты тега CRGT_I_T

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя направляющей трубки для регулирующего стержня Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символа)	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Diameter	REAL	Диаметр, м Обязательный атрибут.	[0.0, 10.]	_____
Thickness	REAL	Толщина стержня, м. Необязательный атрибут.	[0, Diameter]	0

В объекте Core предусмотрена возможность задания теплопроводящих структур в для расчёта твэлов. Для этого в теге FuelRod необходимо ввести дополнительные параметры – геометрию, материалы и тепловклад. Отметим, что ввод радиальной геометрии и тепловклада полностью аналогичен соответствующему вводу в теплопроводящих структурах. Роль атрибута Multiplicity в этом случае играет атрибут Number, позволяющий задать количество твэлов. Тепловклад задаётся на один твэл (аналогично теплопроводящим структурам, где тепловклад задаётся без учёта Multiplicity).

Теплопроводящие структуры генерируются в программе автоматически. Их аксиальная сетка соответствует сетке, заданной для каналов. Граничные условия – внутреннее адиабатическое и внешнее с соответствующим каналом также автоматизированы, как все внутренние коннекции инженерных объектов, поэтому пользователю эту информацию задавать не нужно.

В Таблица 4.160 перечислены атрибуты тега FuelRod.

Таблица 4.160 – Атрибуты тега FuelRod

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя твэла Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символа)	_____
Diameter	REAL	Наружний диаметр твэла, м Обязательный атрибут.	[0.0, 10.]	_____
WireDiam	REAL	Диаметр дистанцирующей проволоки, м Необязательный параметр	[10-10, 1.0]	10-10
NumWire	INT	Число проволок навивки на одном стержне, Необязательный параметр	[0, 10000]	0
HelixPitch	REAL	Шаг навивки дистанцирующей проволоки, м Необязательный параметр	[WireDiam, 100]	0.0

Для задания сетки FuelRod в радиальном направлении служат теги RadialSection (см. Таблица 4.161).

Для задания материалов, относительной мощности тепловыделения, начальной температуры в ячейках FuelRod служат теги Region (см. Таблица 4.162). Z0, DZ, R0, DR - атрибуты тега Region для геометрической привязки региона к ячейкам FuelRod. Регионы должны покрывать все ячейки FuelRod. Регионы могут пересекаться, тогда действует

правило – последующие регионы переопределяют параметры (материал, тепловыделение, температуру) предшествующих (по порядку задания в XML-формате) регионов.

Таблица 4.161 – Атрибуты тега RadialSection.

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
R0	REAL	Координата левой границы радиальной секции FuelRod, м Обязательный атрибут в первой секции, в остальных – необязательный атрибут. Если отсутствует, то значение равно R0+DR предыдущей секции	[0., 1.e10]	_____
DR	REAL	Толщина радиальной секции FuelRod, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) FuelRod Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1

Таблица 4.162 – Атрибуты тега Region

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Z0	REAL	Координата начала региона в аксиальном направлении, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____
DZ	REAL	Высота региона в аксиальном направлении, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
R0	REAL	Координата начала региона в радиальном направлении, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____
DR	REAL	Толщина региона в радиальном направлении, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) секции толщиной DR Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1
Material	CHAR	Материал ячеек, региона. Обязательный атрибут. Может быть задано любое имя из набора материалов, описанных в тегах MatProp.	Любое (максимум 100 символов)	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Temp	REAL	Начальная температура в расчётных ячейках, входящих в состав региона, K Значение <i>Temp</i> можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел буквы “R” и “Z” в качестве аргумента, где Z – аксиальная координата, R – радиальная координата. Например, <Region Temp="300.+0.*(Z+R)" /> Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15], [SAT]	Температура жидкой фазы теплоносителя. Если задана энтальпия, то будет пересчитана в процессе
Kr	REAL	Относительная мощность тепловыделения в расчётных ячейках региона. Перед расчётом величины перенормируются таким образом, чтобы сумма относительных мощностей по всем расчётным ячейкам тепловой структуры была равна 1. Значение <i>Kr</i> можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел буквы “R” и “Z” в качестве аргумента (что удобно для задания профиля мощности тепловыделения), где Z – аксиальная координата, R – радиальная координата. Например, <Region Kr="Z+R" /> Необязательный атрибут.	[0.;1.]	0.

В любом канале, моделирующем часть активной зоны и заданном на картограмме, могут быть определены объекты Местное сопротивление, характеристики которых задаются в тегах LocalResistance, которые в свою очередь входят в тег Zone. Атрибуты тега LocalResistance такие же, как и для объекта Канал. При этом, тип местного сопротивления в данном случае может принимать только значения TF, CF и Const (см. раздел 4.9.1).

4.10.1.3 Запись элемента в XML-формате

В качестве примера рассмотрим картограмму активной зоны, показанную на Рисунок 4.101, на котором цифрами обозначены каналы. Таким образом, в радиальном направлении активная зона представлена тремя различными каналами. Параметры ввода узла Core NCellHydra = “4,2,4” определяют количество расчётных ячеек вертикальных каналов, камер и горизонтальных каналов-перетечек: всего задано три вертикальных канала с 4, 2 и 4 расчётными ячейками по высоте.

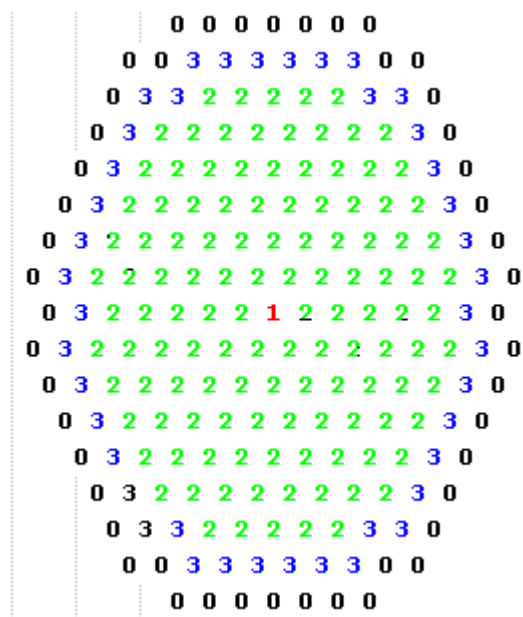


Рисунок 4.101 – Аксиальная проекция активной зоны

Для каналов будут определены следующие имена (если у ТВС нет своей картограммы):

- Нижний канал <номер зоны>.
- Остальные каналы <номер зоны>_<номер уровня>.
- Имена камер <номер зоны>_<номер уровня>.

Сами значения целых чисел определяют число ячеек по аксиальным каналам. Длины каналов пропорциональны числу ячеек.

Если у ТВС в данной Zone есть картограмма, то в этом случае вместо одного гидравлического канала будет сгенерировано то количество каналов, которое соответствует количеству ТВС помноженному на количество ZoneFA в ТВС данного типа (если есть перетечки, то они также будут учтены). И в этом случае имена каналов будут сгенерированы следующим образом:

- Нижний канал <номер зоны>_<порядковый номер ТВС>_<номер зоны ТВС>.
- Остальные каналы <номер зоны>_<порядковый номер ТВС>_<номер зоны ТВС>_<номер уровня>.
- Имена камер <номер зоны>_<порядковый номер ТВС>_<номер зоны ТВС>_<номер уровня>.

Каналы – поперечные перетечки соединяют камеры одного уровня зон, имеющих совместную границу.

Имена этих каналов – <номер зоны ИЗ>=><номер зоны В>_<номер уровня>.

В случае наличия картограммы у ТВС имена каналов-перетечек формируются следующим образом(см.Рисунок 4.102):

<номер зоны>_<порядковый номер ТВС>_<номер зоны ТВС ИЗ>=><номер зоны ТВС В>_<номер уровня>.

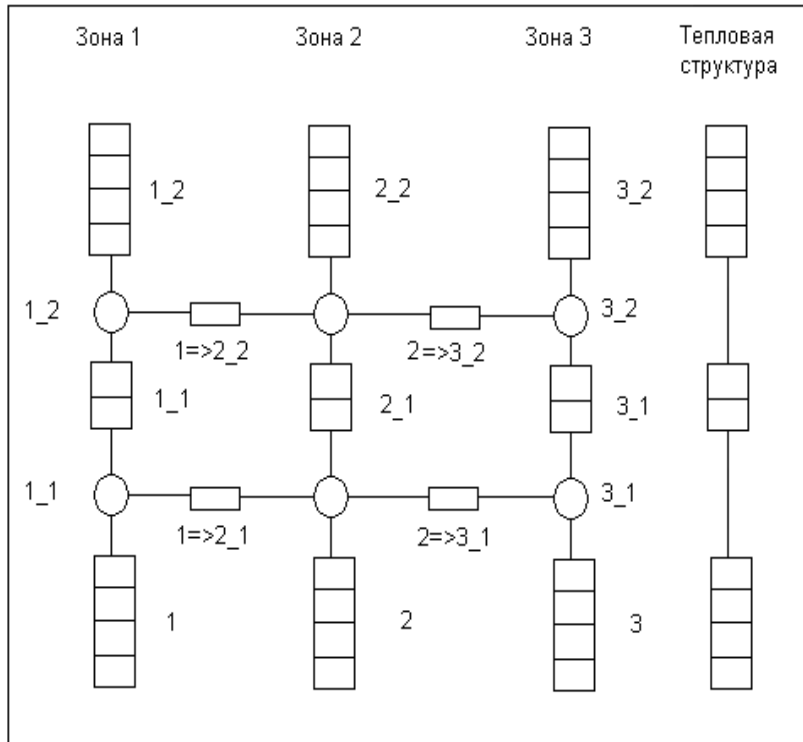


Рисунок 4.102 – Нодализация активной зоны

При вводе радиальной сетки материалов на каждую ТВС (канал, зону) добавляется теплопроводящая структура – одна на все вертикальные каналы данной зоны. Имя этой структуры (для вывода в out-файлы и использования в CF) формируется по следующим правилам:

- если у ТВС нет своей внутренней картограммы: имя зоны + _ + имя стержня;
- если у ТВС есть своя внутренняя картограмма и она одна в Zone: имя зоны + _ + имя ТВС + _ + имя ZoneFA + _ + имя стержня;
- если у ТВС есть своя внутренняя картограмма и она не одна в Zone: имя зоны + _ + имя ТВС + _ + номер ТВС + _ + имя ZoneFA + _ + имя стержня.

При задании чехла для каждой ТВС будет сформирована тепловая структура, отвечающая за чехол. При этом для формирования имен используются следующие правила:

- если у ТВС нет своей картограммы: имя чехла + _ + номер зоны;
- если у ТВС есть своя картограмма и в зоне больше 1 ТВС: имя чехла + _ + номер зоны + номер ТВС;
- если у ТВС есть своя картограмма и в зоне 1 ТВС: имя чехла + _ + номер зоны.

Пример ввода блока <Core> для гексагональной решетки (см.Рисунок 4.103):

```
<Core Name="TestCore" FAPitch = "0.236" FRPitch = "0.01275"
  NCellHydra="4,2,4" LengthHydra="4." XHeat="0.4" LengthHeat="3.2">
<LoadTHMAP>
  17          7 10 11 12 13 14 15 16 15 16 15 14 13 12 11 10 7
              0 0 0 0 0 0 0
              0 0 3 3 3 3 3 3 0 0
              0 3 3 2 2 2 2 2 3 3 0
              0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
```

```

0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 0
0 3 3 2 2 2 2 2 3 3 0
0 0 3 3 3 3 3 3 0 0
0 0 0 0 0 0 0

```

```
</LoadTHMAP>
```

```

<Zone Name = "1" >
  <FuelAssemblyList Name = "Usual"/>
  <LocalResistance Name="z2" X="0." DirectResistance="0.2"
InverseResistance="0.2"/>
</Zone>
<Zone Name = "2" >
  <FuelAssemblyList Name = "Usual"/>
</Zone>
<Zone Name = "3" >
  <FuelAssemblyList Name = "Usual"/>
</Zone>

<FuelAssembly Name = "Usual" NumberRod = "312">
  <FuelRodList Name = "FR-1" Number = "293"/>
  <CRGT_I_TList Name = "CR-1" Number = "19"/>
</FuelAssembly>

<CRGT_I_T Name = "CR-1" Diameter = "0.0129"/>

<FuelRod Name="FR-1" Diameter="0.0091"/>

</Core>

```

Рисунок 4.103 – Задание параметров для Активной зоны TestCore

Пример задания локального сопротивления показан на Рисунок 4.104.

```

<Zone Name="1">
<FuelAssemblyList Name="Usual" />
<LocalResistance Name="z1-1" X="0." DirectResistance="0.2" InverseResistance="0.2" />
<LocalResistance Name="z1-2" X="3." DirectResistance="0.2" InverseResistance="0.2" />
</Zone>

```

Рисунок 4.104 – Задание локального сопротивления в зоне Активной зоны

Пример задания радиальной сетки и материалов твэла и тепловыделения в теплопроводящей структуре твэла в подузле FuelRod показан на Рисунок 4.105.

```
<FuelRod Name = "FR-2" Diameter = "2.*Rout" DiameterIn="2.*Rin" >
  <RadialSection R0="Rhole" DR="Rfuel - Rhole" NR="5" />
  <RadialSection DR="Rin - Rfuel" NR="2" />
  <RadialSection DR="Rout - Rin" NR="3" />
  <Region Z0="0." DZ="Lcore" R0="Rhole" DR="Rfuel - Rhole" Material="UO2"
Kr="1." />
  <Region Z0="0." DZ="Lcore" R0="Rfuel" DR="Rin - Rfuel" Material="He" />
  <Region Z0="0." DZ="Lcore" R0="Rin" DR="Rout - Rin" Material="Zircaloy" />
</FuelRod>
```

Рисунок 4.105 – Задание параметров для твэла FR-2

Пример задания для Zone при наличии тега Pressurizer показан на Рисунок 4.106.

```
<Zone Name = "300">
  <FuelAssemblyList Name = "PFR"/>

  <Pressurizer Name="UposCup" Type="Plug" Volume="18.0" Pressure="0.9e6"
Coolant="Pb" Tgas="Temp_0">
    <NCG Name="Ar" Xgas="1.0" Xfluid="0.0"></NCG>
    <NCG Name="H2OVap" Xgas="0." Xfluid="0.0"></NCG>
    <LevelPipe Name="Pipe_upos" Area="0.02667*18" Length="2.6"
HLevel="2.0">
  </LevelPipe>
</Pressurizer>
</Zone>

<FuelAssembly Name = "PFR" >
</FuelAssembly>
```

Рисунок 4.106 – Задание параметров для Zone при наличии тега Pressurizer

4.10.2 FuelAssembly – Тепловыделяющая сборка

Элемент Тепловыделяющая сборка предназначен для задания параметров тепловыделяющих сборок в компактном виде. После считывания данных для Тепловыделяющей сборки из входного файла расчётный код HYDRA автоматически создает необходимое количество каналов и теплопроводящих структур. Таким образом, пользователю нет необходимости задавать данные для каждого канала по отдельности.

4.10.2.1 Разрешённые связи элемента

Поскольку элемент Тепловыделяющая сборка представляет собой набор каналов и теплопроводящих структур, то он может быть связан с гидравлическим граничным условием, позволяющим, например, моделировать отдельно активную зону без остальной части контура, а также с камерой, с помощью которой можно организовать связь с остальными частями контура (трубопроводами и т.д.). Также Тепловыделяющая сборка может быть связана с Тепловым граничным условием. В этом случае в зависимости от значения тега Boundary граничное условие будет связано либо только с теплопроводящей

структурой, моделирующей чехол сборки (в случае значения External), либо со всеми теплопроводящими структурами элемента (в случае значений Lower/Upper). Последний вариант значений тега Boundary используется при необходимости задать граничные условия для верхних и нижних границ теплопроводящих структур при моделировании двумерной теплопроводности. Связи тепловыделяющей сборки на входе и на выходе аналогичны со связями канала и описаны в Таблица 4.163.

Таблица 4.163 – Связи Тепловыделяющей сборки

Название элемента	Кол-во связей	Связуемый элемент
Вход/выход Тепловыделяющей сборки	1	Камера Chamber Дополнительный атрибут ListZones позволяет использовать разные камеры для разных каналов FuelAssembly.
	1	Гидравлическое граничное условие BoundCell Дополнительный атрибут ListZones позволяет использовать разные условия для разных каналов FuelAssembly.
Внешняя External поверхность	Любое	Тепловое граничное условие HeatBound
Нижняя Lower/ верхняя Upper граница тепловыделяющей сборки	1	Тепловое граничное условие HeatBound

Дополнительные параметры тега Connection при связи Тепловыделяющей сборки с Гидравлическим граничным условием и Камерой описаны в разделе 4.9.3.

При задании связи Тепловыделяющей сборки с Гидравлическим граничным условием необходимо учитывать, что условие должно быть задано в расчете на один Канал. После обработки параметров, заданных во входном файле пользователем, идентичные гидравлические граничные условия (задаваемые в теге BoundCell) будут размножены для каждого канала Тепловыделяющей сборки.

Дополнительные параметры тега Connection при связи Тепловыделяющей сборки с тепловым граничным условием представлены в Таблица 4.164. Необходимо отметить, что при наличии чехла у Тепловыделяющей сборки, должна быть задана связь FuelAssembly с тепловым граничным условием со значением тега Boundary= External. В противном случае код выдаст ошибку.

Таблица 4.164 – Дополнительные атрибуты раздела NodalizationScheme для связи тепловыделяющей сборки с тепловым граничным условием

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Boundary	CHAR	Поверхность чехла. Обязательный атрибут.	[External]	_____
Boundary	CHAR	Нижняя и верхняя граница тепловыделяющего стержня. Используется в случае моделирования двумерной теплопроводности. Обязательный атрибут.	[Lower, Upper]	_____

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
XHS	REAL	Координата точки соединения с тепловым граничным условием, м Обязательный атрибут.	[0., 1010]	_____
Length	REAL	Протяженность действия теплового граничного условия, м Обязательный атрибут.	[0., 1010]	_____
Примечания 1 Значения параметров XHS и (XHS +Length) не могут превышать значение общей длины тепловыделяющей сборки, в противном случае программа семантического контроля выдаст диагностическое сообщение. 2 В случае моделирования явления двумерной теплопроводности необходимо задать Lower и Upper связи, моделирующие граничные условия снизу и сверху для твэлов, соответственно.				

4.10.2.2 Свойства элемента

В теге FuelAssembly должны быть заданы подтеги, перечисленные в Таблица 4.165. В случае отсутствия обязательных подтегов программа семантического контроля выдаст сообщение об ошибке. В объекте FuelAssembly используется первый по счету теплоноситель из тэгов Coolant входного файла.

Таблица 4.165 – Подтеги тега FuelAssembly

Имя подтега	Описание
Section	Описание разбиения ТВС на ячейки в аксиальном направлении. Необязательный.
LoadTHMAP	Картограмма ТВС. Обязательный.
ZoneFA	Выделенная часть ТВС (соответствует одному гидравлическому каналу). Обязательный.
FuelRod	Тепловыделяющий стержень. Обязательный.
Canister	Чехол тепловыделяющей сборки. Необязательный .
Shroud	Кожух тепловыделяющей сборки. Необязательный .
Radiation	Теплообмен излучением. Необязательный.

Основные параметры объекта Тепловыделяющая сборка, которые задаются в теге FuelAssembly, представлены в Таблица 4.166.

Таблица 4.166 – Атрибуты тега FuelAssembly

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя Тепловыделяющей сборки. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символа)	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
NCellHydra	INT	Количество гидравлических ячеек по вертикальным уровням, разделенных запятыми Обязательный атрибут.	Каждое целое число в диапазоне [0, 300]	_____
LengthHydra	REAL	Длина ТВС, м. Обязательный атрибут.	[1.e-7, 100]	_____
FRPitch	REAL	Шаг решетки твэлов, расстояние между осями стержней, м Обязательный атрибут.	[1.e-7, 10]	_____
NumberRod	INT	Общее количество твэлов и регулирующих стержней в ТВС, Обязательный атрибут	[0, 100000]	_____

4.10.2.3

4.10.2.4 Запись элемента в XML-формате

```
<FuelAssembly Name="TestFA_Sveta" FRPitch = "0.00795" NCellHydra="24"
LengthHydra="2.44501" NumberRod = "127" >
</FuelAssembly >
```

Рисунок 4.107 – Пример задания параметров тепловыделяющей сборки

Разбиение ТВС на ячейки в аксиальном направлении задается в теге Section. Атрибуты тега Section перечислены в Таблица 4.167.

Таблица 4.167 – Атрибуты тега Section

Имя атрибута	Тип	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
LengthAxial	REAL	Длина аксиальной секции теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 100]	_____
CellNumber	INT	Число расчетных ячеек участка заданной длины LengthAxial Обязательный атрибут.	[1, 10000]	_____

Для того чтобы задать разбиение ТВС на каналы (твэлы) в радиальном направлении, необходимо нарисовать картограмму сборки, на которой цифрами обозначить различные каналы (смотреть описание в Таблица 4.168 тега LoadTHMAP).

Тэг LoadTHMAP используется для задания гидравлической сетки для ТВС. Каждое уникальное значение, помещённое в тэг LoadTHMAP, соответствует гидравлическому каналу. Значения должны быть разделены пробелом. Например, если в теге заданы следующие значения

```
0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 1 1 1 1 1 1 0 0
```

```

0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0
0 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 0
0 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 0
0 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 0
0 0 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 0 0
0 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 0
0 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 0
0 0 4 4 4 4 4 4 4 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0

```

то пользователь задал четыре гидравлических канала с именами «1», «2», «3», «4». «0» – служебный символ, используемый для разделения значений.

Перед картограммой приводится разметка этой картограммы – число строк и число чисел в каждой строке. Например, перед приведенной выше диаграммой – это строка:

```
17      9 11 13 15 17 17 17 17 17 17 17 15 13 11 9
```

Геометрические размеры каналов определяются картой сборки и типом решетки (гексагональной или квадратной).

Таблица 4.168 – Значения, помещённые в тэг LoadTHMAP

Имя значения	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
LoadTHMAP	INT	Картограмма ТВС Значения: > 0 – имя-номер гидравлического канала; 0 – граница Обязательный атрибут.	[0, 1010]	_____

Вертикальные каналы:

- Площадь определяется суммарной свободной для течения площади сборки (площади ТВС без площадей стержней).
- Площадь поперечного сечения канала (сечения, в котором течёт теплоноситель):

$$S = N_{TVEL} \cdot \left(S_{TVEL} - \pi \sum_k r_k^2 \right), \quad (3.35)$$

где N_{TVEL} – число твэлов в данном канале (определяется по картограмме активной зоны);

r_k – внешние радиусы твэлов в ТВС, м.

- Площадь, приходящаяся на один твэл, для квадратной решётки

$$S_{TVEL} = P^2, \quad (3.36)$$

для гексагональной решётки:

$$S_{TVEL} = P^2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}, \quad (3.37)$$

где P – шаг решетки, м.

Периметр смачивания определяется суммой периметров стержней:

$$P = N_{TVEL} 2\pi \sum_k r_k, \quad (3.38)$$

где сумма берётся по всем стержням в ТВС.

Параметры каждого типа твэлов, входящих в ТВС, должны быть заданы в тэге ZoneFA. Атрибуты тэга ZoneFA перечислены в Таблица 4.169. На основе параметров, заданных в Таблица 4.169, кодом HYDRA будут сгенерированы типы твэлов с необходимыми характеристиками.

Таблица 4.169 – Атрибуты тэга ZoneFA

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	INT	Имя зоны (одно из значений картограммы ТВС). Обязательный атрибут.	[0, 1010]	_____

Имена и количество твэлов задаются в подтеге FuelRodList тэга ZoneFA (см. Таблица 4.170).

Таблица 4.170 – Атрибуты тэга FuelRodList

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя твэла Обязательный атрибут.	Любое из описанных в тэгах FuelRod (максимум 100 символа)	_____
Number	INT	Количество одинаковых твэлов в тепловыделяющей сборке (FuelAssembly) Обязательный атрибут.	[0, 10 ⁵]	_____
Dimension	INT	Одномерный или двухмерный расчёт теплопроводности Необязательный атрибут.	[1; 2]	1
KPower	REAL	Коэффициент неравномерности энерговыделения в ТВС на 1 твэл. Обязательный атрибут.	[1,100]	_____
TypeQ	CHAR	Ключ, определяющий в каком виде пользователь задаёт мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции: CF – функциональная зависимость; TF – функция от времени; Const – константа. Необязательный атрибут.	[CF, TF, Const]	Const

Ввод следующих атрибутов зависит от значения ключа TypeQ
Если TypeQ ="CF"

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Q	CHAR	Имя функции, определяющей мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции в Вт Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeQ ="TF"				
Q	CHAR	Имя таблицы, определяющей мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции (в Вт) в зависимости от времени. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Если TypeQ ="Const"				
Q	REAL	Мощность энерговыделения в теплопроводящей конструкции, Вт Необязательный атрибут.	[0, 100000]	0.

Также в канале-зоне можно задать локальное сопротивление. Для этого нужно завести тег LocalResistance - аналогично как для обычных каналов (см. раздел 4.9.1).

Параметры твэлов задаются в тэге FuelRod (Таблица 4.171).

Таблица 4.171 – Атрибуты тэга FuelRod

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя твэла Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символа)	_____
Diameter	REAL	Наружный диаметр твэла, м Обязательный атрибут	[0.0, 10.]	_____
EmissivityExternal	REAL	Степень черноты внешней поверхности твэла, Необязательный параметр	[0.1, 0.99]	0.99
EmissivityInternal	REAL	Степень черноты внутренней поверхности твэла, Необязательный параметр	[0.1, 0.99]	0.99
WireDiam	REAL	Диаметр дистанцирующей проволоки, м Необязательный параметр	[10 ⁻¹⁰ , 1.0]	10 ⁻¹⁰

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
NumWire	INT	Число проволок навивки на одном стержне, Необязательный параметр	[0, 10000]	0
HelixPitch	REAL	Шаг навивки дистанцирующей проволоки, м Необязательный параметр	[WireDiam, 100]	0.0

В каждом стержне есть возможность задания различного числа ячеек в каждой секции по радиусу (аналогично теплопроводящей структуре HeatStruct) в подтеге RadialSection тега FuelRod. Атрибуты RadialSection приведены в Таблица 4.172.

Таблица 4.172 – Атрибуты тега RadialSection

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
R0	REAL	Координата левой границы радиальной секции твэла, м Обязательный атрибут в первой секции, в остальных – необязательный атрибут. Если отсутствует, то значение равно R0+DR предыдущей секции.	[0., 1.e10]	_____
DR	REAL	Толщина радиальной секции твэла, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) секции толщиной DR Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1

Для того чтобы задать различные материалы по высоте и по радиусу, необходимо разбить твэл на секции в радиальном и в аксиальном направлении в теге Region, входящим в тег FuelRod. Таким образом, каждая секции высотой DZ в свою очередь разбивается на секции по радиусу протяженностью DR, в которых задается свой материал. Атрибуты тега Region представлены в Таблица 4.173.

Таблица 4.173 – Атрибуты тега Region

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Z0	REAL	Координата нижней границы аксиальной секции твэла, м Обязательный атрибут.	[0, 1.e10]	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
DZ	REAL	Высота аксиальной секции твэла, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
R0	REAL	Координата левой границы радиальной секции твэла, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____
DR	REAL	Толщина радиальной секции твэла, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) секции толщиной DR Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1
Material	CHAR	Материал ячеек, входящих в состав радиальной секции Обязательный атрибут. Может быть задано любое имя из набора материалов, описанных в тегах MatProp.	Любое (максимум 100 символов)	_____
Temp	REAL	Начальная температура в расчётных ячейках, входящих в состав радиальной секции, К Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15] , [SAT]	Температура жидкой фазы теплоносителя. Если задана энтальпия, то будет пересчитана в процессе
Kr	REAL	Относительная мощность тепловыделения в расчётных ячейках, входящих в состав радиальной секции (относительная мощность будет равна Kr в каждой из NR ячеек) Значение Kr можно задавать в виде константной формулы, используя кроме чисел буквы "R" и "Z" в качестве аргумента (что удобно для задания профиля мощности тепловыделения), где Z – аксиальная координата, R – радиальная координата. Например, <RadialSection Kr="Z+R" /> Необязательный атрибут.	[0.;1.]	0.

Если у ТВС есть чехол, то для описания его параметров используется тег Canister (Таблица 4.174).

Таблица 4.174 – Атрибуты тега Canister

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому объекту должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
WrenchSize	REAL	Размер чехла «под ключ», м. Обязательный атрибут.	[1.e-7, 100]	_____
deltaWrenchSize	REAL	Толщина чехла, м. Обязательный атрибут.	[1.e-7, 100]	_____
MatCanister	CHAR	Материал чехла. Может быть задано любое имя из набора материалов, описанных в тегах MatProp. Обязательный атрибут, если в тегах Region не заданы атрибуты MaterialCan. Если же они заданы, то использовать текущий атрибут нельзя.	Любое (максимум 100 символов)	_____
TempCanister	REAL	Начальная температура чехла, К. Необязательный атрибут	[273.25, 2273.15]	300
EmissivityInCanister	REAL	Степень серости внутренней поверхности чехла Необязательный атрибут.	[0.01, 0.99]	0.99
EmissivityExCanister	REAL	Степень серости внешней поверхности чехла Необязательный атрибут.	[0.01, 0.99]	0.99

В чехле есть возможность задать различное число ячеек в каждой секции по радиусу (аналогично тэгу FuelRod) в подтеге RadialSection тега Canister. Атрибуты RadialSection приведены в Таблица 4.175.

Таблица 4.175 – Атрибуты тега RadialSection

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
R0	REAL	Координата левой границы радиальной секции чехла, м Обязательный атрибут в первой секции, в остальных – необязательный атрибут. Если отсутствует, то значение равно R0+DR предыдущей секции.	[0., 1.e10]	_____
DR	REAL	Толщина радиальной секции чехла, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) секции толщиной DR Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1

При необходимости задать различные материалы по высоте и по радиусу чехла, необходимо разбить его на секции в радиальном и в аксиальном направлении в теге Region, входящим в тег Canister. Таким образом, каждая секции высотой DZ в свою очередь разбивается на секции по радиусу протяженностью DR, в которых задается свой материал. Атрибуты тега Region представлены в Таблица 4.176.

Таблица 4.176 – Атрибуты тега Region

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Z0	REAL	Координата нижней границы аксиальной секции чехла, м Обязательный атрибут.	[0, 1.e10]	_____
DZ	REAL	Высота аксиальной секции чехла, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
R0	REAL	Координата левой границы радиальной секции чехла, м Обязательный атрибут.	[0., 1.e10]	_____
DR	REAL	Толщина радиальной секции чехла, м Обязательный атрибут.	[1.e-10, 1.e10]	_____
NR	INT	Количество расчётных узлов по радиусу (толщине) секции толщиной DR Необязательный атрибут.	[1, 10000]	1
MaterialCan	CHAR	Материал ячеек, входящих в состав радиальной секции Обязательный атрибут, если в теге Canister не задан атрибут MatCanister. Если он задан, то текущий атрибут использовать нельзя. Может быть задано любое имя из набора материалов, описанных в тегах MatProp.	Любое (максимум 100 символов)	_____
TempCan	REAL	Начальная температура в расчётных ячейках, входящих в состав радиальной секции, К Необязательный атрибут.	[273.25, 2273.15] , [SAT]	Температура жидкой фазы теплоносителя. Если задана энтальпия, то будет пересчитана в процессе

Если нет необходимости задавать профиль начальной температуры у чехла или известно, что чехол весь состоит из одного материала, то достаточно задать атрибуты MatCanister и TempCanister в теге Canister. При этом возможно задать сетку узлов, не указывая температуры и материалы по каждой области. Если же пользователь одновременно будет использовать и вышеупомянутые атрибуты, и также укажет материалы и температуры в областях, на которые будет разбит чехол, то код будет использовать значения, указанные в атрибутах MatCanister и TempCanister тега Canister. В случае, если пользователь не укажет разбиения для чехла, то по умолчанию будет построено разбиение на 8 ячеек в радиальном направлении.

Если у ТВС есть кожух, то его для его описания используется тег Shroud. Его атрибуты представлены в Таблица 4.177.

Таблица 4.177 – Атрибуты тега Shroud

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Area	REAL	Площадь поперечного сечения кожуха, м ² . Обязательный атрибут.	[1.e-7, 10000]	_____
Perimeter	REAL	Смачиваемый периметр кожуха, м. Обязательный атрибут.	[1.e-7, 1000]	_____

Не допускается одновременное использование тегов Canister и Shroud. В этом случае, код выдаст ошибку.

Для инженерного объекта ТВС (FuelAssembly) объект Radiation является подобъектом следующего уровня. В отличие от случая произвольного набора теплопроводящих структур для объекта ТВС введена возможность учета аксиального переноса (ключ AxialTransfer) , положение XHS вводится один раз, а значения угловых коэффициентов не вводится, а являются расчётными величинами, так как набор поверхностей определен вводом объекта ТВС.

Атрибуты тега Radiation представлены в Таблица 4.178.

Таблица 4.178 – Атрибуты подтега Radiation

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Name	CHAR	Имя объекта Каждому объекту должно быть присвоено уникальное имя. Обязательный атрибут.	Любое (максимум 100 символов)	_____
XHS	REAL	Координата точки начала первого слоя для поверхности теплопроводящей структуры, м Обязательный атрибут.	[0., LengthHydra], где LengthHydra – общая длина ТВС	_____

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
AxialTransfer	CHAR	Ключ учета аксиального переноса: 0 – аксиальный перенос не моделируется; 1 – аксиальный перенос моделируется по упрощенной модели; 2 – аксиальный перенос моделируется без упрощений. Необязательный атрибут.	[0,1,2]	0
GridGeometry	CHAR	Тип решетки ТВС – треугольная (по-другому гексагональная) или квадратная: Hex – треугольная решётка; Square – квадратная решётка. Обязательный атрибут.	[Hex, Square]	_____
LengthRad	REAL	Длина радиационного слоя по высоте, м. Обязательный параметр	[0.;100.]	_____

При расчете теплообмена излучением с учетом аксиального переноса также нужно завести подтег AxialSection тега Radiation. Количество тегов должно соответствовать количеству аксиальных слоев, между которыми нужен расчет переизлучения.

Таблица 4.179 – Атрибуты подтега AxialSection

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
LengthAxial	REAL	Высота аксиального излучательного слоя, м. Обязательный атрибут.	[0.;100.]	_____

Расчёт теплообмена излучением в случае AxialTransfer=0 проводится по слоям (Layer). Параметры слоёв задаются в подтегах Layer тега Radiation (смотреть Таблица 4.180).

Таблица 4.180 – Атрибуты подтега Layer тега Radiation

Имя атрибута	Тип значения	Описание и единицы измерения	Диапазон задания	Значение по умолчанию
Length	REAL	Длина участка поверхностей теплопроводящей структуры, соответствующей данному слою, м Обязательный атрибут.	[1.e-7, 1000]	_____

4.10.2.5 Запись элемента в XML-формате с тегом Radiation

```
<FuelAssembly Name="ТВС1" GridGeometry="Hex" FueRodPitch="1.5e-2">  
<Radiation Name="ТВС_Hex" AxialTransfer="0" XHS="0">  
<Layer Length="0.9" />  
<Layer Length="0.9" />  
</Radiation>  
</FuelAssembly>
```

Рисунок 4.108 – Пример задания параметров для расчёта теплообмена излучением в случае задания параметров тепловыделяющей сборки из внешнего текстового файла

4.11 Формат выходных файлов

Выходные файлы подразделяются на пять типов:

- файлы выдачи определённых пользователем динамических данных – плот файлы;
- файлы возобновления расчёта – рестарт файлы;
- файлы диагностических сообщений – лог файлы;
- файлы выдачи значений основных физических параметров в процессе расчёта;
- файлы выдачи значений контрольных функций.

4.11.1 Файлы выдачи динамических данных (плот файлы).

Файлы данного типа содержат значения основных термодинамических параметров, записанные в различные моменты времени. Сквозность записи значений параметров определяется пользователем во входном файле. Эти файлы записываются в двоичном формате, для графической визуализации записанных данных используется специальная утилита Smart-Client, которая поставляется вместе с расчетным кодом.

4.11.2 Файлы возобновления расчёта (рестарт файлы).

Файлы данного типа используются для возобновления расчёта с определенного момента времени или номера временного слоя. Сквозность записи данных определяется пользователем во входном файле. Файлы записываются в двоичном формате. Специальные утилиты для просмотра и редактирования таких файлов не предоставляются.

4.11.3 Файлы диагностических сообщений

Диагностика в процессе работы расчётного кода выдается в лог файлы в текстовом формате. Максимальное количество лог-файлов – четыре: log_errors.txt, log_warnings.txt, log_events.txt, log_info.txt (смотреть Таблица 2.2).

Каждый из файлов log_errors.txt, log_warnings.txt и log_info.txt имеет следующий формат: в начале пишется заголовок с указанием времени начала расчёта, затем идут записи, каждая запись состоит из трёх частей, разделённых одним или несколькими пробелами – <тип сообщения> <объект, который отправил сообщение> <текст сообщения>.

Файл событий log_events.txt имеет следующий формат:

в начале пишется заголовок с указанием времени начала расчёта, затем идут записи, каждая запись состоит из 6 частей, разделённых запятыми – <тип события>, <объект, в котором произошло событие >, <подобъект, в котором произошло событие>, <номер

временного слоя, когда произошло событие>, <время в секундах, соответствующее номеру временного слоя>, <текст описания события>.

4.11.4 Файлы выдачи значений основных физических параметров

Существует один файл данного типа, который содержит выходные данные по объектам нодализационной схемы расчета для разных моментов времени. Скважность занесения записей в этот файл определяется пользователем во входном файле. Запись в файл производится в текстовом формате, поэтому содержимое его может быть просмотрено любым текстовым редактором. Определенные сложности могут возникнуть при просмотре файла большого размера (например, превышающего 500Mb), что надо учитывать при установке скважности записи в этот файл. Формат выдачи информации о значениях своих параметров определяется объектом нодализационной схемы(каналом, камерой, насосом и т.д.). Запись каждого временного слоя начинается с шапки, в которой приводятся текущие значения времени задачи, процессорного времени, текущего расчетного шага в секундах, отношения времени задачи к процессорному времени. Далее выводится баланс энергии, и последовательно все объекты нодализационной схемы, каждый в своем специфическом формате. У каждого объекта выводится его идентификатор (атрибут "Name" во входном файле) , что позволяет однозначно связать объект с его данными. Все столбцы имеют интуитивно понятные названия, поэтому детального описания формата выходных данных для каждого объекта приводить нецелесообразно в виду громоздкости.

Кроме описанного файла некоторые модули(например, модуль аэрозолей) могут предоставлять дополнительно свои файлы, которые содержат дополнительную специфическую информацию по своим объектам. Эти файлы также записываются в текстовом формате. Формат выдачи определяется самим модулем.

4.11.5 Файлы выдачи значений контрольных функций

Файлы данного типа предназначены для вывода в разные моменты времени значений контрольных функций. Названия файлов и скважность вывода значений в них устанавливается пользователем во входном файле. Особенности вывода значений контрольных функций см.4.8.3.2.

5 СПИСОК ПЛОТ-ПЕРЕМЕННЫХ И АРГУМЕНТОВ КОНТРОЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Для контроля за процессом расчёта и графического отображения результатов расчётов с кодом HYDRA используется post-процессор оболочки Smart-Client. В расчётном коде HYDRA в качестве плот-переменных и аргументов контрольных функций используются одни и те же переменные. Полный список переменных описан ниже.

5.1 Глобальные переменные

Глобальные переменные, которые могут быть использованы в качестве аргумента в контрольных функциях, имеет следующий общий вид:

– <имя переменной>

Ниже (в Таблица 5.1) приведены имена самих переменных.

Таблица 5.1 – Глобальные переменные, используемые в контрольных функциях

Переменная	Описание
Dt	Шаг по времени, с
Time	Текущее время задачи, с
WallClockTime	Время счета, с
CourantValue	Число Куранта
GlobalSums.TotalMass плот-переменная Global/TotalMass	Суммарная масса, кг
GlobalSums.TotalMassNa GlobalSums.TotalMassNaK GlobalSums.TotalMassH2O GlobalSums.TotalMassGly GlobalSums.TotalMassPbBi GlobalSums.TotalMassRose GlobalSums.TotalMassPb плот-переменные Global/TotalMassCoolant0 Global/TotalMassCoolant1 Global/TotalMassCoolant2	Суммарная масса отдельно по кулантам, кг
GlobalSums.TotalEnthalpy плот-переменная Global/TotalEnthalpy	Суммарная энтальпия, Дж

Пример задания глобальных переменных показан на рисунке 5.1.

```
<Arg ShortName="dt" LongName="Dt"/>
```

Рисунок 5.1 – Пример задания глобальных переменных

5.2 Модельные объекты

5.2.1 Переменные канала

Каждая переменная объекта Канал, которая может быть использована в качестве аргумента в контрольных функциях, имеет следующий общий вид:

– <Channel> (“<имя канала>”).<имя переменной> (<индексы, если переменная массив>)

Размерности массивов:

- N – Количество расчетных ячеек по длине.
- 2 – Количество фаз: 1 (или Fluid) – жидкая, 2 (или Gas) – газовая.
- 3 – Тип теплоносителя: 1(или Fluid) – жидкая, 2(или Gas) – газовая, 3(или Vapor) – пар,
- NNCG – количество неконденсирующихся компонентов.

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (в Таблица 5.2) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена каналов задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.2 – Переменные для канала, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="L" LongName="Channel(Ch1).CollapsedLevel"/>		
CollapsedLevel плот-переменная Basic/CollapsedLevel	_____	Массовый уровень жидкой фазы в канале относительно начала канала, м Вся жидкость, не включая растворённые в жидкости пузыри неконденсируемых газов, находящаяся в расчётных ячейках канала, переносится в самую нижнюю точку канала.
SwollenLevel плот-переменная Basic/SwollenLevel	_____	Физический уровень жидкой фазы в канале относительно начала канала, м Вся жидкость, включая растворённые в жидкости пузыри неконденсируемых газов, находящаяся в расчётных ячейках канала, переносится в самую нижнюю точку канала.
PresGravGas плот-переменная Basic/ PresGravGas	_____	Перепад давления газовой фазы в канале: гравитационный

PresWallGas плот-переменная Basic/ PresWallGas	_____	Перепад давления газовой фазы в канале: за счет трения газа о стенку
PresIphaseGas плот-переменная Basic/ PresIphaseGas	_____	Перепад давления газовой фазы в канале: за счет межфазного трения PresIphaseFluid = - PresIphaseGas
PresGravFluid плот-переменная Basic/ PresGravFluid	_____	Перепад давления жидкой фазы в канале: гравитационный
PresWallFluid плот-переменная Basic/ PresWallFluid	_____	Перепад давления жидкой фазы в канале: за счет трения жидкой фазы о стенку
PresIphaseFluid плот-переменная Basic/ PresIphaseFluid	_____	Перепад давления жидкой фазы в канале: за счет межфазного трения PresIphaseFluid = - PresIphaseGas
Переменные с одним индексом. Пример: <Arg ShortName="L" LongName="Channel(Ch1). CoolantMass(Fluid)"/>		
CoolantMass плот-переменная Basic/CoolantMass	[1, 2, 3]	Суммарная масса теплоносителя в канале, кг
Qext плот-переменная Basic/QExt	[1, 2, 3]	Суммарный внешний тепловклад в жидкую и газовую фазу от источников и тепловых структур, Вт
CoolantMinTemp плот-переменная Basic/MinTemp	[1,2]	Минимальная температура теплоносителя канала, К
CoolantMaxTemp плот-переменная Basic/MaxTemp	[1,2]	Максимальная температура теплоносителя канала, К
плот-переменная Basic/SRE	[1,2]	Отношение площади проходного сечения крайних ячеек канала к условной площади проходного сечения потока в граничных ячейках
Переменные с одним индексом – имя NCG или номер в списке. Пример: <Arg ShortName="T" LongName="Channel(Ch1).MassNCG (Xe)"/>		
плот-переменная Basic/MassNCG	[имя NCG]	Суммарная масса NCG-газа в канале, кг
Переменные с одним индексом – номером ячейки канала. Пример: <Arg ShortName="s" LongName="Channel(Ch1).Area(5)"/>		
Area плот-переменная Cell/Geometry/Area	[1, ...,N]	Площадь поперечного сечения РЯ, м ²
Perimeter плот-переменная Cell/Geometry/Perimeter	[1, ...,N]	Смоченный периметр РЯ, м
Length	[1, ...,N]	Длина РЯ, м

плот-переменная Cell/Geometry/Length		
dBubble плот-переменная Cell/Geometry/dBubble	[1, ...,N]	Диаметр пузырька в РЯ, м
Dh плот-переменная Cell/Geometry/Dh	[1, ...,N]	Перепад высоты РЯ, м
Roughness плот-переменная Cell/Basic/ Roughness	[1, ...,N]	Шероховатость РЯ, м
TypeCrossSection плот-переменная Cell/Geometry/TypeCrossSection	[1, ...,N]	Тип сечения РЯ канала для выбора замыкающих соотношений
Pressure плот-переменная Cell/Basic/Pressure	[1, ...,N]	Давление в РЯ, Па
PressureVapor плот-переменная Cell/Basic/PressureVapor	[1, ...,N]	Давление пара в РЯ, Па
Void плот-переменная Cell/Basic/Void	[1, ...,N]	Истинное объёмное паросодержание в РЯ
XVoid плот-переменная Cell/Basic/XVoid	[1, ...,N]	Расходное массовое паросодержание в РЯ
BettaVoid плот-переменная Cell/Basic/BettaVoid	[1, ...,N]	Расходное объёмное паросодержание в РЯ
Volume плот-переменная Cell/Basic/Volume	[1, ...,N]	Объём РЯ, м ³
Deqv плот-переменная Cell/Geometry/Deqv	[1, ...,N]	Эквивалентный диаметр РЯ, м
TempSat плот-переменная Cell/Basic/TempSat	[1, ...,N]	Температура насыщения в РЯ, К
SteamRate плот-переменная Cell/Basic/SteamRate	[1, ...,N]	Интенсивность генерации пара в РЯ, кг/с
SurfaceTens плот-переменная Cell/Basic/SurfaceTens	[1, ...,N]	Коэффициент поверхностного натяжения в РЯ, Н/м
InterArea плот-переменная Cell/PhaseParams/InterArea	[1, ...,N]	Площадь межфазной поверхности в РЯ, м ²
FlowRegime плот-переменная Cell/Coolant/FlowRegime	[1, ...,N]	Номер режима течения теплоносителя в РЯ
WetFront плот-переменная Cell/Coolant/WetFront	[1, ...,N]	Положение фронта смачивания в РЯ, м

TotalMassError плот-переменная Cell/Fluxion/TotalMassError	[1, ...,N]	Погрешность суммарной массы фаз в ячейке, отнесенная к объёму ячейки, кг/м ³
#Z_grid_CV плот-переменная #Basic/Grid1_Z_CV	[1, ...,N]	Сетка по оси канала (координаты центров расчётных ячеек), м.
#H_grid_CV плот-переменная #Basic/Grid2_H_CV	[1, ...,N]	Сетка по оси канала с учетом высотных отметок (координаты центров расчётных ячеек), м.
плот-переменная Cell/Coolant/FVOID	[1, ...,N]	Производная по паросодержанию от теплового потока ;жидкая фаза-межфазная граница
плот-переменная Cell/Coolant/MBW	[1, ...,N]	Масса бора в РЯ, осевшая на стенках расчетной ячейки в твердом виде, кг
плот-переменная Cell/Coolant/MNB	[1, ...,N]	Объемная концентрация борной кислоты в ячейках, кг_борной_кислоты/м3_жидкой фазы
плот-переменная Cell/Coolant/ХН3ВО3inH2O	[1, ...,N]	Концентрация борной кислоты в воде, кг_Н3ВО3/кг_Н2О
плот-переменная Cell/Calculated/MassTritium	[1, ...,N]	Масса трития в РЯ, кг
плот-переменная Cell/Calculated/MassHydrogen	[1, ...,N]	Масса водорода в РЯ, кг
плот-переменная Cell/Calculated/MassTritiumColdTrap	[1, ...,N]	Накопленная масса трития в холодной ловушке, соединенной с РЯ, кг
плот-переменная Cell/Calculated/MassHydrogenColdTrap	[1, ...,N]	Накопленная масса водорода в холодной ловушке, соединенной с РЯ, кг
Переменные с одним индексом – номером соединения канала. Пример: <Arg ShortName="s" LongName="Channel(Ch1).InterphaseFriction (5)"/>		
#Z_grid_FP плот-переменная #Basic/Grid1_Z_FP	[1, ...,N+1]	Сетка по оси канала (координаты соединений канала), м
#H_grid_FP плот-переменная #Basic/Grid2_H_FP	[1, ...,N+1]	Сетка по оси канала с учетом высотных отметок (координаты соединений канала), м
InterphaseFriction плот-переменная Connects/Phases/InterphaseFriction	[1, ...,N+1]	Фактор межфазного трения в соединениях, Па·с/м
VolumeFlux плот-переменная Connects/Coolant/VolumeFlux	[1, ...,N+1]	Поток объёма теплоносителя в соединениях, м ³ /с
MassFlux плот-переменная Connects/Coolant/MassFlux	[1, ...,N+1]	Поток массы теплоносителя в соединениях, кг/с
EnergyFlux плот-переменная Connects/Coolant/EnergyFlux	[1, ...,N+1]	Поток энергии теплоносителя в соединениях, Дж/с

FVirtMass плот-переменная Connects/Coolant/FVirtMass	[1, ...,N+1]	Комплекс для расчета силы присоединенных масс в соединениях, Па·с ² /м
плот-переменная Connects/Coolant/JUN	[1, ...,N+1]	Тип соединений
плот-переменная Connects/Coolant/ED	[1, ...,N+1]	Объемная доля капель в газо-водяном ядре
PresFull_grid плот-переменная Basic/ PresGravGas_grid	[1, ...,N+1]	Абсолютное давление в соединении канала, Па
PresGravGas_grid плот-переменная Basic/ PresGravGas_grid	[1, ...,N+1]	Перепад давления газовой фазы между заданным соединением и началом канала (гравитационный), Па
PresWallGas_grid плот-переменная Basic/ PresWallGas_grid	[1, ...,N+1]	Перепад давления газовой фазы между заданным соединением и началом канала (за счет трения о стенку), Па
PresIphaseGas_grid плот-переменная Basic/ PresIphaseGas_grid	[1, ...,N+1]	Перепад давления газовой фазы между заданным соединением и началом канала (за счет межфазного трения), Па
PresGravFluid_grid плот-переменная Basic/ PresGravFluid_grid	[1, ...,N+1]	Перепад давления жидкой фазы между заданным соединением и началом канала (гравитационный), Па
PresWallFluid_grid плот-переменная Basic/ PresWallFluid_grid	[1, ...,N+1]	Перепад давления жидкой фазы между заданным соединением и началом канала (за счет трения о стенку), Па
PresIphaseFluid_grid плот-переменная Basic/ PresIphaseFluid_grid	[1, ...,N+1]	Перепад давления жидкой фазы между заданным соединением и началом канала (за счет межфазного трения), Па
Переменные с двумя индексами – жидкая фаза/газовая фаза и номером ячейки канала. Пример: <Arg ShortName="T" LongName="Channel(Ch1).Temp (Fluid,5)"/>		
Temp плот-переменная Cell/PhaseParams/Temp	[1, 2; 1, ...,N]	Температура фаз в РЯ, К
Enthalpy плот-переменная Cell/PhaseParams/Enthalpy	[1, 2; 1, ...,N]	Энтальпия фаз в РЯ, Дж/к
EnthalpySat плот-переменная Cell/PhaseParams/EntSatP	[1, 2; 1, ...,N]	Энтальпия фаз на линии насыщения в РЯ, Дж/кг
Dens плот-переменная Cell/PhaseParams/Dens	[1, 2; 1, ...,N]	Плотность фаз в РЯ, кг/м ³
QFluxInter плот-переменная Cell/Fluxion/QFluxInter	[1, 2; 1, ...,N]	Тепловой поток от фаз к межфазной поверхности в РЯ, Вт
Qfriction плот-переменная Cell/Fluxion/QFriction	[1, 2; 1, ...,N]	Тепло, выделяемое в фазах в РЯ за счет диссипации энергии вследствие трения о стенку и потери давления на местных

		сопротивлениях, Вт
MassBalance плот-переменная Cell/PhaseParams/MassBalance	[1, 2; 1, ...,N]	Баланс массы фаз в РЯ на шаге интегрирования, кг/с
EnergyBalance плот-переменная Cell/PhaseParams/EnergyBalance	[1, 2; 1, ...,N]	Баланс энергии фаз в РЯ на шаге интегрирования, Вт
Viscosity плот-переменная Cell/PhaseParams/Viscosity	[1, 2; 1, ...,N]	Коэффициент динамической вязкости фаз в РЯ, Па·с
HeatCond плот-переменная Cell/PhaseParams/HeatCond	[1, 2; 1, ...,N]	Коэффициент теплопроводности фаз в РЯ, Вт/(м·К)
Cp плот-переменная Cell/Coolant/Cp	[1, 2; 1, ...,N]	Теплоемкость в РЯ, Дж/(кг·К)
Re плот-переменная Cell/Coolant/Re	[1, 2; 1, ...,N]	Число Рейнольдса в РЯ, Па
AlphaAi плот-переменная Cell/Fluxion/AlphaAi	[1, 2; 1, ...,N]	Произведение коэффициента межфазного теплообмена на площадь межфазной поверхности в РЯ, Вт/К
плот-переменная Cell/Fluxion/DRo_DEnt	[1, 2; 1, ...,N]	Производная плотности фаз по энтальпии при постоянном давлении, кг ² /(Дж*м ³)
плот-переменная Cell/Fluxion/DRo_DP	[1, 2; 1, ...,N]	Производная плотности фаз по давлению при постоянной энтальпии, кг/(Па*м ³)
плот-переменная Cell/Fluxion/DT_DEnt	[1, 2; 1, ...,N]	Производная температуры фаз по энтальпии при постоянном давлении, К*кг/Дж
плот-переменная Cell/Fluxion/DT_DP	[1, 2; 1, ...,N]	Производная температуры фаз по давлению при постоянной энтальпии, К/Па
плот-переменная Cell/Fluxion/JAV	[1, 2; 1, ...,N]	Средняя приведенная скорость фаз в РЯ, м/с
Переменные с двумя индексами – имя NCG или номер в списке и номером ячейки канала. Пример: <Arg ShortName="T" LongName="Channel(Ch1).Xgas (Xe,5)"/>		
Xgas плот-переменная Cell/PhaseParams/ Xgas	[1,..., NNCG; 1, ...,N]	Массовая доля NCG в газовой фазы в РЯ, К
Xfluid плот-переменная Cell/PhaseParams/ Xfluid	[1,..., NNCG; 1, ...,N]	Массовая доля NCG в жидкой фазы в РЯ, К
MassSourceNCG плот-переменная Cell/PhaseParams/ MassSourceNCG	[1,..., NNCG; 1, ...,N]	Внешний источник массы NCG в РЯ, Кг/сек
Переменные с двумя индексами – жидкая фаза/газовая фаза и номером соединения канала. Пример: <Arg ShortName="v" LongName="Channel(Ch1).Velocity (Fluid,5) "/>		
Velocity плот-переменная Connects/Phases/Velocity	[1, 2; 1, ...,N+1]	Скорость фаз в соединениях, м/с

VelocityEff плот-переменная Connects/Phases/VelocityEff	[1, 2; ...,N+1] 1,	Скорость фаз в соединениях (в узком соединении – для случая поперечного обтекания пучков), м/с
WallFriction плот-переменная Connects/Phases/WallFriction	[1, 2; ...,N+1] 1,	Фактор трения фаз о стенку (с учетом потерь давления на местных сопротивлениях) в соединениях, Па·с/м
плот-переменная Connects/Convect/MomentumExch	[1, 2; ...,N+1] 1,	Фактор обмена импульсом фаз при массообмене в соединениях, Па·с/м
плот-переменная Connects/Convect/ConvTerm	[1, 2; ...,N+1] 1,	Конвективные члены уравнений количества движения фаз в соединениях, Па
плот-переменная Connects/Phases/FORCE	[1, 2; ...,N+1] 1,	Дополнительные объемные силы, действующие на фазы в соединениях, Па
плот-переменная Connects/Phases/C01	[1, 2; ...,N+1] 1,	Параметр распределения скоростей фаз в соединениях
плот-переменная Connects/Convect/EnthConv	[1, 2; ...,N+1] 1,	Донорная величина для конвективного переноса давления в уравнении сохранения энергии фаз в соединениях, Дж/м
Примечание: Такие переменные канала как CoolantMass, QextFluid, QextGas, VolumeFlux, MassFlux, EnergyFlux выводятся с учетом параметра Multiplicity канала.		
Переменные с двумя индексами – жидкость/газ/пар и номером соединения канала. Пример: <Arg ShortName="v" LongName="Channel(Ch1).PresConv (Vapor,5)"/>		
плот-переменная Connects/Convect/PresConv	[1, 2, 3; ...,N+1] 1,	Донорная величина для конвективного переноса давления в уравнении сохранения энергии фаз в соединениях, Дж/м
плот-переменная Connects/Convect/VolConv	[1, 2, 3; ...,N+1] 1,	Донорная величина для конвективного переноса объема в соединениях, м ²
плот-переменная Connects/Convect/MassConv	[1, 2, 3; ...,N+1] 1,	Донорная величина для конвективного переноса массы в соединениях, кг/м
Переменные с двумя индексами – имя NCG или номер в списке и номером соединения канала. Пример: <Arg ShortName="T" LongName="Channel(Ch1).MassFlux_NCG (Xe,5)"/>		
плот-переменная Connects/ MassFlux_NCG	[имя NCG, 1, ,N+1]	Поток NCG в соединении кг/сек

5.2.2 Переменные камеры

Каждая переменная камеры, используемая в контрольных функциях, имеет следующий общий вид:

- <Chamber>("<имя камеры>").<имя переменной>(<индексы, если переменная массив>)

Размерности массивов:

- 2 – Количество фаз: 1 – жидкая фаза, 2 – газовая фаза.
- 3 – Тип теплоносителя: 1(или Fluid) – жидкая фаза, 2(или Gas) – газовая фаза, 3(или Vapor) – пар.

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (в Таблица 5.3) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена камер задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.3 – Переменные для камер, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="s" LongName="Chamber(Ch1).Area"/>		
Area плот-переменная Basic/Area	_____	Площадь проходного сечения, м ²
Length плот-переменная Basic/Length	_____	Длина камеры, м
Orientation плот-переменная Basic/Orientation	_____	Ориентация камеры, используемая для выбора замыкающих соотношений
Volume плот-переменная Basic/Volume	_____	Объем, м ³
TypeCrossSection плот-переменная Basic/TypeCrossSection	_____	Тип поперечного сечения камеры для определения замыкающих соотношений
Pressure плот-переменная Basic/Pressure	_____	Давление, Па
XVoid плот-переменная Basic/XVoid	_____	Расходное массовое паросодержание
BettaVoid плот-переменная Basic/BettaVoid	_____	Расходное объемное паросодержание
Void плот-переменная Basic/Void	_____	Истинное объемное паросодержание
Deqv плот-переменная Auxilary/Deqv	_____	Эквивалентный гидравлический диаметр, м
плот-переменная Auxilary/FVOID	_____	Производная по паросодержанию от теплового потока в камере
плот-переменная Auxilary/MBW	_____	Масса бора, осевшая на стенках камеры в твердом виде, кг
Roughness плот-переменная Basic/Roughness	_____	Шероховатость, м
TempSat плот-переменная Auxilary/TempSat	_____	Температура насыщения, К

SteamRate плот-переменная Auxilary/SteamRate	_____	Интенсивность генерации пара, кг/
SurfaceTens плот-переменная Auxilary/SurfaceTens	_____	Коэффициент поверхностного натяжения, Н/м
плот-переменная Auxilary/ H_3BO_3 in H_2O	_____	Концентрация борной кислоты в воде, кг H_3BO_3 /кг H_2O
плот-переменная Cell/Calculated/MassTritium	_____	Масса трития, кг
плот-переменная Cell/Calculated/MassHydrogen	_____	Масса водорода, кг
плот-переменная Cell/Calculated/MassTritiumColdTrap	_____	Накопленная масса трития в холодной ловушке, соединенной с камерой, кг
плот-переменная Cell/Calculated/MassHydrogenColdTrap	_____	Накопленная масса водорода в холодной ловушке, соединенной с камерой, кг
InterArea плот-переменная Basic/InterArea	_____	Площадь межфазной поверхности, м ²
FlowRegime плот-переменная Basic/FlowRegime	_____	Номер режима течения теплоносителя
TotalMassError плот-переменная Phases/Fluxion/TotalMassError	_____	Погрешность суммарной массы фаз в камере, отнесенная к объёму камеры, кг/м ³
Переменные с одним индексом – типом теплоносителя. Пример; <Arg ShortName="CM" LongName="Chamber(Ch1).CoolantMass(1)"/>		
CoolantMass плот-переменная Basic/CoolantMass	[1, 2, 3]	Суммарная масса теплоносителя в камере, кг
Переменные с одним индексом – номером фазы. Пример; <Arg ShortName="T" LongName=" Chamber (Ch1). Temp (2)"/>		
Temp плот-переменная Phases/Basic/Temp	[1, 2]	Температура фаз, К
Enthalpy плот-переменная Phases/Basic/Enthalpy	[1, 2]	Энтальпия фаз, Дж/кг
EnthalpySat плот-переменная Phases/Basic/EnthalpySat	[1, 2]	Энтальпия фаз на линии насыщения, Дж/кг
Dens плот-переменная Phases/Basic/Dens	[1, 2]	Плотность фаз, кг/м ³
QFluxInter плот-переменная Phases/Fluxion/QFluxInter	[1, 2]	Тепловой поток от фаз к межфазной поверхности, Вт
MassBalance плот-переменная Phases/Fluxion/MassBalance	[1, 2]	Баланс массы фаз на шаге интегрирования, кг/с
EnergyBalance плот-переменная Phases/Fluxion/EnergyBalance	[1, 2]	Баланс энергии фаз на шаге интегрирования, Вт
Viscosity плот-переменная Auxilary/Viscosity	[1, 2]	Коэффициент динамической вязкости фаз, Па*с
HeatCond	[1, 2]	Коэффициент теплопроводности

плот-переменная Auxiliary/HeatCond		фаз, Вт/(м*К)
Velocity плот-переменная Basic/Velocity	[1, 2]	Скорость фаз, м/с
Cp плот-переменная Auxiliary/Cp	[1, 2]	Теплоемкость, Дж/(кг*К)
AlphaAi плот-переменная Phases/Fluxion/AlphaAi	[1, 2]	Произведение коэффициента межфазного теплообмена жидкой фазы на площадь межфазной поверхности, Вт/К
плот-переменная Auxiliary/HeatCond	[1,2]	Коэффициент теплопроводности фаз, Вт/(м*К)
плот-переменная Phases/Fluxion/DRO_DEnt	[1,2]	Производная плотности фаз по энтальпии при постоянном давлении, кг ² /(Дж*м ³)
плот-переменная Phases/Fluxion/ DRO_DP	[1,2]	Производная плотности фаз по давлению при постоянной энтальпии, кг/(Па*м ³)
плот-переменная Phases/Fluxion/ DT_DEnt	[1,2]	Производная температуры фаз по энтальпии при постоянном давлении, К*кг/Дж
плот-переменная Phases/Fluxion/ DT_DP	[1,2]	Производная температуры фаз по давлению при постоянной энтальпии, К/Па
Переменные с одним индексами – имя NCG или номер в списке. Пример: <Arg ShortName="T" LongName="Chamber(Ch1).Xgas (Xe)"/>		
Xgas плот-переменная Cell/PhaseParams/ Xgas	[1,..,NNCG]	Массовая доля NCG в газовой фазе
Xfluid плот-переменная Cell/PhaseParams/ Xfluid	[1,..,NNCG]	Массовая доля NCG в жидкой фазе
плот-переменная Cell/PhaseParams /MassNCG	[1,..,NNCG]	Суммарная масса NCG-газа в камере, кг

5.2.3 Переменные гидравлического граничного условия

Каждая переменная гидравлического граничного условия имеет следующий общий вид:
< BoundCell >("<имя ячейки>").<имя переменной>(<индексы, если переменная массив>)

Размерности массивов: 2 – Количество фаз: 1 – жидкая фаза, 2 – газовая фаза.

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (в Таблица 5.4) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена гидравлических граничных условий задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.4 – Переменные для гидравлического граничного условия, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="s" LongName="BoundCell(BC1). Void "/>		
Pressure	_____	Давление, Па
Void	_____	Истинное объёмное паросодержание
ХН3ВО3inH2O	_____	Концентрация борной кислоты в воде, кг Н3ВО3/кг Н2О
Переменные с одним индексом – номером фазы. Пример: <Arg ShortName="Т" LongName=" BoundCell (BC1). Temp (2) "/>		
Temp	[1, 2]	Температура фаз, К
Dens	[1, 2]	Плотность фаз, кг/м3
Enthalpy	[1, 2]	Энтальпия фаз, Дж/кг
EnthalpySat	[1, 2]	Энтальпия фаз на линии насыщения, Дж/кг

5.2.4 Переменные источника массы

Каждая переменная заданного источника массы имеет следующий общий вид:

– < MassSource > (“<имя источника>”).<имя переменной>(<индексы, если переменная массив>)

Размерности массивов:

– 2 – Количество фаз, 1 – жидкая фаза, 2 – газовая фаза.

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (в Таблица 5.5) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена источников массы задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.5 – Переменные для источника массы, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="s" LongName="MassSource(MS1). MassFluxOut "/>		
TotalMassFluxOut		Расход смеси, покидающей РЯ, кг/с
Переменные с одним индексом – номером фазы. Пример: <Arg ShortName="Т" LongName=" MassSource(MS1) MassFluxIn (2)"/>		
MassFluxIn	[1, 2]	Расходы фаз, поступающих в РЯ, кг/с
Enthalpy	[1, 2]	Энтальпии фаз, поступающих в РЯ, Дж/кг
MassFluxOut	[1, 2]	Расходы фаз, покидающих РЯ, кг/с

5.2.5 Переменные теплопроводящей структуры

Каждая переменная теплопроводящей структуры имеет следующий общий вид:

– < HeatStruct > (“<имя элемента>”).<имя переменной>(<индексы, если переменная массив>)

Размерности массивов:

- N – количество расчётных ячеек по длине;
- K – количество расчётных узлов по толщине;
- 2 – количество поверхностей.

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (в Таблица 5.6) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена теплопроводящих структур задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.6 – Переменные для теплопроводящей структуры, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="L" LongName=" HeatStruct (HS1).Dimension"/>		
Dimension плот-переменная Basic/Dimension	_____	Размерность задачи
Geometry плот-переменная Basic/Geometry	_____	Система координат: декартова (плоская) или цилиндрическая
TypeCrossSection плот-переменная Basic/TypeCrossSection	_____	Признак учёта геометрии теплопроводящей структуры при выборе замыкающих соотношений для расчёта критических плотностей теплового потока
Reflooding плот-переменная Basic/Reflooding	_____	Признак включения модели повторного залива
Multiplicity плот-переменная Auxiliary/Multiplicity	_____	Коэффициент увеличения площади теплообмена, м (для Dimension=1)
Qsum плот-переменная Auxiliary/Qsum	_____	Суммарный энерговклад, Вт (с учетом Multiplicity)
MinTempHS плот-переменная Auxiliary/MinTempHS	_____	Минимальная температура, К
MaxTempHS плот-переменная Auxiliary/MaxTempHS	_____	Максимальная температура, К
плот-переменная Assembly/GridResist	_____	Коэффициент местного сопротивления одной дистанционирующей решетки, отн.ед.
плот-переменная Assembly/HLength	_____	Обогреваемая длина одного стержня, м
плот-переменная Assembly/PitchDiam	_____	Относительный шаг сборки стержней, отн.ед.

плот-переменная Assembly/GridDist	_____	Расстояние между дистанционирующими решетками по длине сборки, м
Переменные с одним индексом – номером поверхности. Пример: <Arg ShortName="E" LongName="HeatStruct (HS1).Emissivity(1)"/>		
Emissivity плот-переменная Cells/Basic/Emissivity	[1, 2]	Степень черноты поверхностей
WetFront_L плот-переменная Cells/Fluxion/WetFront_L	[1, 2]	Положение нижнего фронта смачивания на поверхностях, м
WetFront_U плот-переменная Cells/Fluxion/WetFront_U	[1, 2]	Положение верхнего фронта смачивания на поверхностях, м
Q_Wall плот-переменная Cells/Fluxion/Q_Wall	[1, 2]	Суммарный тепловой поток, Вт (без учета Multiplicity, на одну структуру)
Переменные с одним индексом – номером узла по радиусу. Пример: <Arg ShortName="r" LongName="HeatStruct (HS1).Rcoor (5)"/>		
Rcoor плот-переменная Grid/Rcoor	[1, ..., K]	Координаты расчетных узлов, м
Переменные с одним индексом – номером слоя по радиусу. Пример: <Arg ShortName="r" LongName="HeatStruct (HS1).Kr(5)"/>		
Kr плот-переменная Grid/Kr	[1, ..., K+1]	Относительные уровни энерговыделения в слоях
Переменные с одним индексом – номером ячейки по высоте. Пример: <Arg ShortName="r" LongName="HeatStruct (HS1).LengthZ (5)"/>		
LengthZ плот-переменная Grid/LengthZ	[1, ..., N]	Длина расчетных ячеек, м
Kz плот-переменная Grid/Kz	[1, ..., N]	Распределение относительной мощности по аксиальным слоям
QV плот-переменная Grid/QV	[1, ..., N]	Энерговклад в аксиальных слоях для Geometry=0: [Вт/м ²]; для Geometry=1: [Вт/м]
FORMF плот-переменная Grid/FORMF	[1, ..., N]	Поправка к критической плотности теплового потока
Переменные с двумя индексами – номером узла по радиусу и номером ячейки по высоте. Пример: <Arg ShortName="r" LongName="HeatStruct (HS1).Temp (5,2)"/>		
Temp плот-переменная Grid/Temp	[1,...,K; 1,...,N]	Температурное поле аксиальных и радиальных расчетных слоев и ячеек, К
Переменные с двумя индексами – номером узла по продольной координате и номером стороны. Пример: <Arg ShortName="r" LongName="HeatStruct (HS1).AlphaWall (5,2)"/>		
AlphaWall плот-переменная Cells/Basic/AlphaWall	[1,...,N; 1, 2]	Коэффициенты теплоотдачи на поверхностях ячейки, Вт/(м ² *К)
AlphaWallFluid плот-переменная	[1,...,N; 1, 2]	Коэффициенты теплоотдачи на поверхностях ячейки к жидкой фазе, Вт/(м ² *К)

Cells/Basic/AlphaWallFluid		
AlphaWallGas плот-переменная Cells/Basic/AlphaWallGas	[1,...,N; 1, 2]	Коэффициенты теплоотдачи на поверхностях ячейки к газовой фазе, Вт/(м ² *К)
TempWall плот-переменная Cells/Fluxion/TempWall	[1,...,N; 1, 2]	Температура поверхностей расчетных ячеек, К
TenvWall плот-переменная Basic/TenvWall	[1,...,N; 1, 2]	Температура среды на поверхностях ячейки, К
QFluxFluid плот-переменная Cells/Fluxion/QFluxFluid	[1,...,N; 1, 2]	Тепловые потоки с поверхностей ячейки в жидкую фазу, Вт
QFluxGas плот-переменная Cells/Fluxion/QFluxGas	[1,...,N; 1, 2]	Тепловые потоки с поверхностей ячейки в газовую фазу, Вт
QWI_Fluid плот-переменная Cells/Fluxion/QWI_Fluid	[1,...,N; 1, 2]	Тепловые потоки с поверхностей ячейки, идущие на генерацию жидкой фазы, Вт
QWI_Gas плот-переменная Cells/Fluxion/QWI_Gas	[1,...,N; 1, 2]	Тепловые потоки с поверхностей ячейки, идущие на генерацию пара, Вт
SWall плот-переменная Cells/Fluxion/SWall	[1,...,N; 1, 2]	Площадь поверхностей теплообмена в расчетных ячейках, м ²
QRadiation плот-переменная Cells/Fluxion/QRadiation	[1,...,N; 1, 2]	Тепловой поток с поверхностей расчетных ячеек при лучистом теплообмене с другими теплопроводящими конструкциями, Вт
CHF плот-переменная Cells/Basic/CHF	[1,...,N; 1, 2]	Критическая плотность теплового потока на поверхностях расчетных ячеек, Вт/м ²
плот-переменная Cells/Fluxion/aAlpha_dT	[1,...,N; 1, 2]	Производная коэффициентов теплообмена на поверхностях ячейки по температуре поверхностей, Вт/(м ² *К ²)
плот-переменная Cells/Fluxion/MOD	[1,...,N; 1, 2]	

5.2.6 Переменные теплового граничного условия

Каждая переменная теплового граничного условия имеет следующий общий вид:

– < HeatBound > (“<имя элемента>”).<имя переменной>

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (в Таблица 5.7) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена тепловых граничных условий задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.7 – Переменные для теплового граничного условия, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="t" LongName="HeatBound (HS1).Twall"/>	
Type плот-переменной нет; тип граничного условия показан в индексных скобках рядом с именем переменной теплового граничного условия	Тип граничного условия
Twall плот-переменная Twall (показывается только для граничного условия 1 рода)	Температура на границе теплопроводящей структуры, К (только для TYPE=1)
Q плот-переменная Q (показывается только для граничного условия 2 рода)	Тепловой поток с поверхности теплопроводящей структуры, Вт/м ² (только для TYPE=2)
Tenv плот-переменная Tenv (показывается только для граничного условия 3 рода)	Температура окружающей среды, К (только для TYPE=3)
Alpha плот-переменная Alpha (показывается только для граничного условия 3 рода)	Коэффициент теплоотдачи от стенки, Вт/м ² /К К (только для TYPE=3)

5.2.7 Переменные для клапанов

Каждая переменная клапана имеет следующий общий вид:

– <Valve>("«имя элемента»").<имя переменной>(<индексы, если переменная массив>)

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (в Таблица 5.8) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена клапанов задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.8 – Переменные для клапанов, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="s" LongName="Valve (HS1).Area"/>	
Area	Проходное сечение, м ²
AreaRelative	Относительное проходное сечение, м ²
LocalResistance	Коэффициент местного сопротивления

5.2.8 Переменные для энерговыделений в объеме теплоносителя

Каждая переменная энерговыделения в объеме теплоносителя имеет следующий общий вид:

– <ChannelHeatSource>("«имя элемента»").<имя переменной>(<индексы, если переменная массив>)

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (Таблица 5.9) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена энерговыделений в объёме теплоносителя задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.9– Переменные для энерговыделений в объёме теплоносителя, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="q" LongName="ChannelHeatSource (HS1).Qfluid"/>	
Qfluid	Суммарная мощность, передаваемая жидкой фазе, Вт
Qgas	Суммарная мощность, передаваемая газовой фазе, Вт

5.2.9 Переменные для насосов

Каждая переменная насоса имеет следующий общий вид:

– <Pump>(<"имя элемента">).<имя переменной>(<индексы, если переменная массив>)

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (в Таблица 5.10) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена насосов задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.10 – Переменные для насосов, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных (только для контрольных функций)

Переменная	Описание
Переменные без индексов. Пример; <Arg ShortName="t" LongName="Pump (P1) . TimeStopped" />	
TimeStopped	Начало выбега насоса, с
MassFluxExternal	Принудительный массовый расход насоса, кг/с (для PumpModel= MassFluxExternal)
PressureHead	Принудительный перепад давления насоса, Па (для PumpModel= PressureHead) Рассчитанный перепад давления насоса (для PumpModel= FourQuadrant)
Omega	Квадрат заданной угловой скорости, рад ² /с ² (для PumpModel= VolFluxSolved) Угловая скорость, рад/с (для PumpModel= FourQuadrant)
Inertia	Момент инерции насоса для PumpModel= FourQuadrant, кг·м ²
TorqueMotor	Движущий момент мотора для PumpModel= FourQuadrant, кг·м ² /с ²
TorqueFriction	Момент трения мотора для PumpModel= FourQuadrant, кг·м ² /с ²
TorquePump	Момент насоса для PumpModel= FourQuadrant, кг·м ² /с ²

5.2.10 Переменные для теплообмена излучением

Каждая переменная теплообмена излучением имеет следующий общий вид:

– `<Radiation>`(“`<имя элемента>`”).`<имя переменной>`(`<индекс>`)

Размерности массивов:

– NumSurf – число поверхностей, заданное пользователем в тегах Surface (Таблица 4.135);

– NumLayer – число слоёв, заданное пользователем в тегах Layer (Таблица 4.136).

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (Таблица 5.11) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена для объекта теплообмен излучением задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек `<'>`). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.11 – Переменные для теплообмена излучением, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные с одним индексом – номером излучательной поверхности. Пример; <code><Arg ShortName="h" LongName="Radiation (R1).Heff(3)"/></code>		
Heff	[1,...,NumSurf]	Плотность эффективного излучения для излучающей поверхности, Вт/м ² . Номер поверхности соответствует порядковому номеру, заданному во входном файле пользователем.
QRadiation	[1,...,NumSurf]	Суммарный поток от излучающей поверхности, Вт/м ² . Номер поверхности соответствует порядковому номеру, заданному во входном файле пользователем.
Переменные с одним индексом – номером слоя. Пример; <code><Arg ShortName="v" LongName="Radiation (R1).Void (3)"/></code>		
Void	[1,...,NumLayer]	Среднее значение паросодержания по слою. Номер слоя соответствует порядковому номеру слоя, заданному во входном файле пользователем.

5.2.11 Переменные для местного сопротивления

Хотя объект «местное сопротивление» является подобъектом канала, он имеет обязательный атрибут Name, и, как и все поименованные объекты, записывается в плотфайл и его поля могут использоваться как аргументы контрольных функций.

Каждая переменная местного сопротивления имеет следующий общий вид:

– `<LocalResistance>`(“`<имя элемента>`”).`<имя переменной>`(`<индекс>`)

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (Таблица 5.11) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена для объекта местного сопротивления задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек `<'>`). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.12 – Переменные для местного сопротивления, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="h" LongName=" LocalResistance (LR1) . DirectResistance " />	
DirectResistance	Значение коэффициента местного сопротивления в положительном направлении соответствующего канала.
InverseResistance	Значение коэффициента местного сопротивления в отрицательном направлении соответствующего канала.
LocalResistance	Текущее значение коэффициента местного сопротивления.
FloodMode	Признак/параметр расчета режима захлебывания в вертикальном соединении канала
SHOLE	Суммарная площадь проходного сечения всех отверстий в дырчатом листе, м ²

5.2.12 Переменные элемента Компенсатор давления

Каждая переменная Компенсатора давления (Pressurizer) для использования в контрольных функциях имеет следующий общий вид: Pressurizer("<имя Pressurizer>").<имя переменной>

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (Таблица 5.13) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена гидравлических Компенсаторов давления (Pressurizer) задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек '<'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.13 – Переменные для Компенсатора давления (Pressurizer), используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="s" LongName="Pressurizer(Cup).Pressure"/>		
Pressure	_____	Давление в газовом объеме, Па
Volume	_____	Величина объема газовой фазы в Компенсаторе давления, м ³
Temp	_____	Температура в газовом объеме, К

Для трубок (LevelPipe) Компенсатора давления (Pressurizer) переменные для использования в контрольных функциях имеет следующий общий вид: LevelPipe("<имя Pressurizer>/<имя трубки>").<имя переменной>

Ниже (Таблица 5.14) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для трубки используется составное имя – <имя Pressurizer>/<имя трубки>.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.14 – Переменные для трубок (LevelPipe) Компенсатора давления, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="s" LongName="LevelPipe(Cup/Pipe 1).Pressure"/>		
Pressure	_____	Давление внизу трубки, Па
HLevel	_____	Высота уровня жидкой фазы в трубке (относительно нижней точки трубки), м
HLevelAbs	_____	Высота уровня жидкой фазы в трубке (с учетом высотной отметки нижней точки), м
Temp	_____	Температура жидкой фазы в трубке, К

5.3 Инженерные объекты

5.3.1 Переменные для активной зоны Core

Инженерный объект активная зона Core состоит из набора вертикальных каналов – зон, камер, каналов перетечек и теплопроводящих структур. Правила образования имен модельных объектов, входящих в состав объекта Активная зона, приведены в разделе описания Core. Для любого модельного объекта, входящего в состав Активной зоны, можно использовать полный перечень аргументов контрольных функций, приведённый выше.

Кроме этого, можно использовать дополнительные суммарные, минимальные и максимальные величины по всем модельным объектам, входящим в состав объекта Core. Эти дополнительные переменные описаны в данном разделе.

Каждая переменная активной зоны имеет следующий общий вид:

<Core>("<имя элемента>").<имя переменной>(<индекс>)

Размерности массивов:

NZone – Количество зон-каналов.

– NZone – Количество зон-каналов.

– 3 – Тип теплоносителя: 1(или Fluid) – жидкая фаза, 2(или Gas) – газовая фаза, 3(или Vapor) – пар.

– 3 – Тип объекта температуры: 1 – жидкая фаза, 2 – газовая фаза, 3 – твел.

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (Таблица 5.15) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена для объекта Активная зона задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.15 – Переменные для Активной зоны, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="m" LongName=" Core (Core1). Mass"/>		
Qext	[1, 2, 3]	Суммарный внешний тепловклад в жидкую фазу, в

		газовую фазу и в теплопроводящие структуры, Вт
Переменные с одним индексом – типом теплоносителя. Пример: <Arg ShortName="cmf" LongName="Core (Core1).CoolantMass(1)"/>		
CoolantMass	[1, 2, 3]	Суммарная масса теплоносителя по всем каналам и камерам Core, кг
Переменные с одним индексом – типом объекта температуры. Пример: <Arg ShortName="mintf" LongName="Core (Core1).CoolantMinTemp(1)"/>		
CoolantMinTemp	[1, 2, 3]	Минимальная температура по Core, К
CoolantMaxTemp	[1, 2, 3]	Максимальная температура по Core, К
Переменные с двумя индексами – типом теплоносителя и номером зоны. Пример: <Arg ShortName="zmf" LongName="Core (Core1).ZoneMass(Fluid,1)"/>		
ZoneMass	[1, 2, 3; 1, ...,Nzone]	Суммарная масса теплоносителя по всем каналам и камерам Zone, кг
Переменные с двумя индексами – типом объекта температуры т и номером зоны. Пример: <Arg ShortName="zmintf" LongName="Core (Core1).ZoneMinTemp(Fluid,1)"/>		
ZoneMinTemp	[1, 2, 3; 1, ...,Nzone]	Минимальная температура объекта по Zone, К.
ZoneMaxTemp	[1, 2, 3; 1, ...,Nzone]	Максимальная температура объекта по Zone, К

5.3.2 Переменные для тепловыделяющей сборки FuelAssembly

Инженерный объект тепловыделяющая сборка FuelAssembly состоит из набора вертикальных каналов – зон, камер, каналов перетечек и теплопроводящих структур. Правила образования имен модельных объектов, входящих в состав объекта Тепловыделяющая сборка, приведены в разделе описания FuelAssembly. Для любого модельного объекта, входящего в состав ТВС, можно использовать полный перечень аргументов контрольных функций, приведённый выше.

Кроме этого, можно использовать дополнительные суммарные, минимальные и максимальные величины по всем модельным объектам, входящим в состав объекта FuelAssembly. Эти дополнительные переменные описаны в данном разделе.

Каждая переменная активной зоны имеет следующий общий вид:

< FuelAssembly > (“<имя элемента>”).<имя переменной>(<индекс>)

Размерности массивов:

NZone – Количество зон-каналов.

– NZone – Количество зон-каналов.

– 3 – Тип теплоносителя: 1(или Fluid) – жидкая фаза, 2(или Gas) – газовая фаза, 3(или Vapor) – пар.

– 3 – Тип объекта температуры: 1 – жидкая фаза, 2 – газовая фаза, 3 – твэл.

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (Таблица 5.16) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена для объекта Тепловыделяющая сборка задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.16 – Переменные для Тепловыделяющей сборки, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные без индексов. Пример: <Arg ShortName="m" LongName=" FuelAssembly (FA1).Mass"/>		
Qext	[1, 2, 3]	Суммарный внешний тепловклад в жидкую фазу, в газовую фазу и в теплопроводящие структуры, Вт
Переменные с одним индексом – типом теплоносителя. Пример: <Arg ShortName="cmf" LongName=" FuelAssembly(FA1).CoolantMass(1)"/>		
CoolantMass	[1, 2, 3]	Суммарная масса теплоносителя по всем каналам и камерам FuelAssembly, кг
Переменные с одним индексом – типом объекта температуры. Пример: <Arg ShortName="mintf" LongName=" FuelAssembly(FA1) . CoolantMinTemp(1)" />		
CoolantMinTemp	[1, 2, 3]	Минимальная температура по FuelAssembly, К
CoolantMaxTemp	[1, 2, 3]	Максимальная температура по FuelAssembly, К
Переменные с двумя индексами – типом теплоносителя и номером зоны. Пример: <Arg ShortName="zmf" LongName=" FuelAssembly (FA1).ZoneMass(Fluid,1)"/>		
ZoneMass	[1, 2, 3; 1, ...,Nzone]	Суммарная масса теплоносителя по всем каналам и камерам ZoneFA, кг
Переменные с двумя индексами – типом объекта температуры и номером зоны. Пример: <Arg ShortName="zmintf" LongName=" FuelAssembly(FA1) . ZoneMinTemp(Fluid,1)" />		
ZoneMinTemp	[1, 2, 3; 1, ...,Nzone]	Минимальная температура объекта по ZoneFA, К.
ZoneMaxTemp	[1, 2, 3; 1, ...,Nzone]	Максимальная температура объекта по ZoneFA, К

5.4 Сервисные объекты

5.4.1 Переменные контрольных функций

Значения контрольных функций могут использоваться в качестве аргументов других контрольных функций. Переменная имеет следующий общий вид:

– <ControlFunc>(<"имя элемента">).<имя переменной>

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (в Таблица 5.17) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена контрольных функций задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек <'>). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.17 – Переменные для контрольных функций, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Описание
Переменные без индексов. Пример:	

<code><Arg ShortName="f" LongName="ControlFunc (F1).Func"/></code>	
Func	Значение формульного выражения контрольной функции

5.4.2 Переменные для табличных функций

Значения табличных функций могут использоваться в качестве аргументов контрольных функций. Переменная имеет следующий общий вид:

– `<Table>("имя элемента").имя переменной`

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Ниже (Таблица 5.18) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена табличных функций задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек `<'>`). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.18 – Переменные для табличных функций, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Описание
Переменные без индексов. Пример: <code><Arg ShortName="f" LongName=" Table (F1). Func"/></code>	
Func	Значение табличной функции

5.4.3 Переменные для петли

Каждая переменная петли Loop имеет следующий общий вид:

– `<Loop>("имя элемента").имя переменной`

Используются те же обозначения, что и во входном файле.

Размерности массивов:

– 3 – Тип теплоносителя: 1(или Fluid) – жидкая фаза, 2(или Gas) – газовая фаза, 3(или Vapor) – пар.

– 3 – Тип объекта температуры: 1 – жидкая фаза, 2 – газовая фаза, 3 – тс.

Ниже (в Таблица 5.19) приведены только имена самих переменных, которые задаются после первой точки. Для корректной обработки предполагается, что имена петель задаются в кавычках, что позволяет использовать в именах любые символы (если нужны кавычки, то используется другой тип кавычек `<'>`). Если в имени отсутствуют кавычки и скобки – кавычки можно опустить.

Эти же переменные используются в качестве плот-переменных.

Таблица 5.19 – Переменные для объекта Петля, используемые в контрольных функциях и в качестве плот-переменных

Переменная	Описание
Переменные без индексов. Пример: <code><Arg ShortName="T" LongName=" Loop (L1).MinTempF"/></code>	
Qext	Суммарный внешний тепловклад в жидкая фаза, в газовая фаза и в тепловых структурах, Вт

Переменная	Диапазон задания индексов	Описание
Переменные с одним индексом – типом теплоносителя. Пример: <Arg ShortName="cmf" LongName=" Loop (L1).CoolantMass(1)"/>		
CoolantMass	[1, 2, 3]	Суммарная масса теплоносителя по всем каналам и камерам Loop, кг
Переменные с одним индексом – типом объекта температуры. Пример: <Arg ShortName="cmintf" LongName=" Loop (L1).CoolantMinTemp(1)"/>		
CoolantMinTemp	[1, 2, 3]	Минимальная температура объекта по всем каналам Loop, К
CoolantMaxTemp	[1, 2, 3]	Максимальная температура объекта по всем каналам Loop, К
Переменные с одним индексом – имя NCG или номер в списке. Пример: <Arg ShortName="T" LongName="Loop(L1).MassNCG (Xe)"/>		
плот-переменная MassNCG	плот-переменная MassNCG	плот-переменная MassNCG

6 ПРИМЕРЫ РАСЧЕТА

Раздел предназначен для быстрого освоения пользователем расчётного кода. В разделе приводятся примеры расчёта экспериментов и прикладных задач кодом HYDRA. Каждый пример сопровождается детальным описанием постановки задачи, построения нодализационной схемы и входного файла, результатов расчётов.

6.1 Пример 1. Моделирование стационарного течения свинцового теплоносителя в вертикальной круглой трубе при ламинарном и турбулентном режимах и сравнение с аналитическим расчетом

В данном примере опишем моделирование расчетным кодом HYDRA гидродинамической задачи, в которой необходимо получить скорость течения свинцового теплоносителя в необогреваемой вертикальной круглой трубе при ламинарном и турбулентном режимах.

6.1.1 Постановка задачи

Моделируется стационарное течение свинцового теплоносителя при температуре 800 К и давлении 1 МПа в вертикальной необогреваемой круглой трубе при ламинарном и турбулентном режиме (см. Рисунок 6.1). Длина трубы составляет 0,9 м, а внутренний диаметр – 0,026 м. Шероховатость внутренней поверхности трубы составляет 10^{-6} м. Труба считается теплоизолированной. Теплоноситель движется снизу-вверх с постоянной скоростью. Граничное условие на выходе – постоянное давление, равное давлению теплоносителя 1 МПа, а на входе – постоянное давление, значение которого варьируется таким образом, чтобы получить диапазон чисел Рейнольдса как в ламинарном, так и в турбулентном режиме (значения давления на входе приведены в таблице (см. Таблица 6.5).

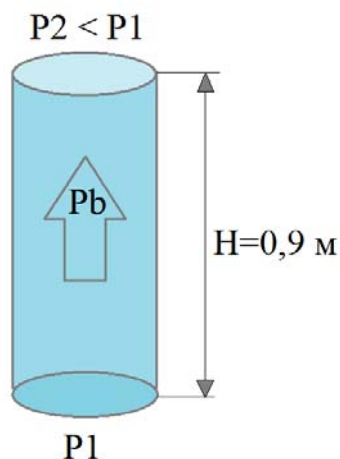


Рисунок 6.1 – К постановке задачи о течении свинцового теплоносителя в вертикальной круглой трубе

Для получения аналитического решения данной задачи использовались следующие соотношения. Общий перепад давления при течении однофазной вязкой жидкости в вертикальном канале представляет собой сумму перепада давления за счет действия на жидкость силы тяжести и перепада давления за счет трения жидкости о стенку канала:

$$\Delta p = \rho \cdot g \cdot H + \Delta p_{\text{тр}}, \quad (6.1)$$

где ρ – плотность теплоносителя, кг/м^3 , $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ – ускорение свободного падения, H – разность высот в рассматриваемых сечениях между входом и выходом трубы, м.

При равномерном движении жидкости в трубах потери давления на трение как при ламинарном, так и при турбулентном режимах течения рассчитываются по формуле Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta p_{\text{тр}} = \xi \frac{L}{d_h} \frac{\rho u^2}{2}, \quad (6.2)$$

где ξ – коэффициент сопротивления трения в трубе для ламинарного течения ($\text{Re} < 2300$), который получается из решения уравнения Навье-Стокса для стабилизированного потока в трубе при постоянном коэффициенте вязкости:

$$\xi = \frac{64}{\text{Re}}, \quad (6.3)$$

в случае турбулентного используется формула Альтшуля:

$$\xi = 0,11 \left(\frac{\Delta}{d_h} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{0,25}. \quad (6.4)$$

$L = H = 0,9 \text{ м}$ – длина трубы, м;

d_h – гидравлический диаметр;

$\Delta = 10^{-6}$ – шероховатость поверхности стенки трубы, м;

u – средняя скорость теплоносителя, м/с.

Число Рейнольдса Re определяется соотношением (1.8).

$$\text{Re} = \frac{u d_h}{\nu}, \quad (6.5)$$

где $\nu = \eta/\rho$ – кинематическая вязкость, $\text{м}^2/\text{с}$;

η – динамическая вязкость, $\text{Па}\cdot\text{с}$.

Полученные расчетные значения скорости свинца приведены в таблице (см. Таблица 6.5).

6.1.2 Построение нодализационной схемы

Нодализационная схема для моделирования данной задачи представлена на рисунке (см. Рисунок 6.2) и состоит из вертикального канала круглого поперечного сечения (обозначен $CH1$ на рисунке). Канал $CH1$ представляется в виде объекта Channel (см. стр. 95). Так как по условиям задачи вертикальный канал одинаковый по геометрии и начальным термодинамическим параметрам, целесообразно ввести для него только одну секцию. Секция разбивается на 10 одинаковых расчетных ячеек по высоте. Число расчетных ячеек определяется постановкой задачи, требуемой точности и скорости счёта, в соответствии с ограничениями используемой в коде численной схемы. Возможно задание и большего числа расчетных ячеек, но при данных условиях задачи с использованием канала с десятью ячейками достигается приемлемая точность результатов расчетов при малых скоростях счёта. На входе (снизу) и выходе (сверху) канала заданы гидравлические граничные условия по давлению – на Рисунок 6.2 обозначены $P1$ и $P2$ соответственно. Для задания граничных

условий используется объект BoundCell типа Pressure (см. стр. 67). Значения перепада давления задавались в соответствии с постановкой задачи (см. Таблица 6.5).

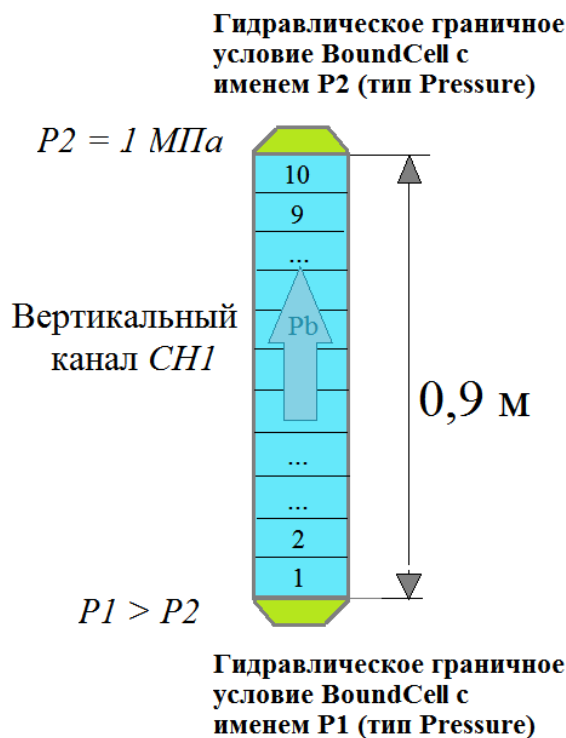


Рисунок 6.2 – Нодализация схема для моделирования задачи о стационарном течении свинцового теплоносителя в вертикальной круглой трубе

6.1.3 Файл входных данных

Параметры свинцового теплоносителя описываются в теге Coolant (Таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Атрибуты теплоносителя

Атрибут	Значение	Описание
Name	Pb	Имя теплоносителя – свинец
Pressure	1.e6	Давление теплоносителя
Tfluid	800	Температура жидкой фазы теплоносителя
Void	0.0	Истинное объемное паросодержание

Для корректного моделирования объекта Channel в файле ввода входных данных необходимо задать атрибуты, значения которых для моделирования данного эксперимента приведены в Таблица 6.2.

Таблица 6.2 – Атрибуты канала CH1

Атрибут	Значение	Описание
Name	CH1	Имя (уникальный идентификатор) канала
Coolant	Pb	Теплоноситель свинец
Атрибуты секции канала		

CellNumber	10	Число ячеек секции
Length	0.9	Длина секции, м
Deqv	0.026	Диаметр канала, м
Area	$(\pi * 0.026 * 0.026) / 4$	Площадь поперечного сечения, м ²
Dh	0.9	перепад высоты с подъёмным течением
Roughness	0.000001	Шероховатость
TypeCrossSection	Circle	Круглое сечение канала

Граничное условие BoundCell на входе имеет следующие атрибуты (см. Таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Атрибуты граничного условия на входе

Атрибут	Значение	Описание
Name	P1	Имя (уникальный идентификатор) граничного условия
Type	Pressure	Тип граничного условия – по давлению
TypePressure	Const	Тип задания давления – константа
Pressure	см. Таблица 6.5	Значение давления
Coolant	Pb	Теплоноситель свинец
Void	0.0	Истинное объёмное паросодержание

Граничное условие BoundCell на выходе имеет следующие атрибуты (см. Таблица 6.4).

Таблица 6.4 – Атрибуты граничного условия на выходе

Атрибут	Значение	Описание
Name	P2	Имя (уникальный идентификатор) граничного условия
Type	Pressure	Тип граничного условия – по давлению
TypePressure	Const	Тип задания давления – константа
Pressure	1.e6	Значение давления
Coolant	Pb	Теплоноситель свинец
Void	0.0	Истинное объёмное паросодержание

В блоке Main заданы основные управляющие параметры. Он содержит тег Description, в котором приводятся название и краткое описание теста. В теге ModuleList указано, что проводятся расчеты модулем Hydra. В блоке TimeTable задаются параметры, управляющие расчётом – значения максимального и минимального шага по времени, начального шага, частота записи информации в выходной файл, время расчёта. Продолжительность расчёта теста выбрана исходя из условий достижения стационарных условий течения теплоносителя и составляет EndTime = 800 с для ламинарного режима течения и EndTime = 100 с – для

турбулентного с максимальным шагом $Dt_{Max} = 10^{-4}$, минимальным шагом $Dt_{Min} = 10^{-6}$ и начальным шагом $Dt_{Start} = 0,0000505$, равным полусумме минимального и максимального шага. При таких значениях достигалась необходимая точность расчетов. Частота вывода записей задается атрибутом `DtOutput`, в данном случае вывод параметров в выходной файл производится каждые 10 секунд. В теге `PlotList` блока `Main` можно регулировать число выводимых параметров в `plot`-файл, с помощью которого отображаются графики. В данном примере вывод в `plot`-файл не производится (тег `PlotList` пустой).

Вывод переменных в выходные файлы осуществляется с помощью инструмента `ControlFunc` – контрольная функция (см. стр. 54). Для данной задачи выводились следующие параметры:

- давление теплоносителя в 10 расчетных ячейках канала в выходной файл `Pressure.dat`;
- скорость теплоносителя в 10 расчетных ячейках канала в выходной файл `Velocity.dat`;
- динамическая вязкость теплоносителя в 10 расчетных ячейках канала в выходной файл `Viscosity.dat`;
- плотность теплоносителя в 10 расчетных ячейках канала в выходной файл `Density.dat`;
- эквивалентный диаметр канала в выходной файл `Deqv.dat`.

Выполнялся расчет нескольких тестов при ламинарном и турбулентном режимах течения, в каждом из которых задавалось определенное значение перепада давления в канале. Таким образом, варьировалось значение давления на выходе из канала и число Рейнольдса (значения указаны в Таблица 6.5). Для этого варьировалось значение давления свинцового теплоносителя на входе.

На рисунке (см. Рисунок 6.3) представлен файл входных данных для моделирования задачи о стационарном течении свинцового теплоносителя в необогреваемой вертикальной круглой трубе при ламинарном и турбулентном режиме для теста при числе Рейнольдса $Re = 40000$ и давлении на входе в канал $P_1 = 92111,77773$ Па (см. Таблица 6.5).

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
<Task Version="3.1" Title="Pb-VertChannel">
  <Main>
    <Description>Test Pb-VertChannel
      Creation Time      : 23/01/2014
      Responsible       : Kolobaeva PV (IBRAE RAN). Phone: 4-52   E-mail:
kolobayevap@ibrae.ac.ru
      Description        : Тест предназначен для проверки правильности
реализации в коде замыкающих соотношений для расчета коэффициента трения
теплоносителя о стенку в вертикальной круглой трубе.
      Нодалазиационная схема состоит из: вертикального канала и двух граничных
условий постоянства давления на входе и выходе.
      Основные выходные параметры, сраниваемые с аналитическим расчетом:
Скорость теплоносителя (файл Velocity.dat).
    </Description>
    <ModuleList>
      <Module Name="Hydra"/>

```

```

</ModuleList>
<TimeTable StartTime="0" EndTime="100." DtStart="0.0000505">
  <TimeControl Start="0.0" DtRestart="1." DtMax="1.e-3" DtOutput="10.0" />
</TimeTable>
<PlotList>
</PlotList>
</Main>
<Hydraulics Version="2.0">
!-- Теплоноситель
<Coolant Name="Pb" Pressure="1.e6" Tfluid="800." Tgas="SAT" Void="0.0"/>
<NodalizationScheme>
!-- Связи канала с гран условием на входе и выходе
  <Connection NameFrom="CH1" TypeFrom="Channel" InOut="In" NameTo="P1"
TypeTo="BoundCell" />
  <Connection NameFrom="CH1" TypeFrom="Channel" InOut="Out" NameTo="P2"
TypeTo="BoundCell" />
</NodalizationScheme>
!--Граничные условия
<BoundCell Name="P1" Coolant="Pb" Type="Pressure" TypePressure="Const"
Pressure="10092111.77773" Void="0.0" />
<BoundCell Name="P2" Coolant="Pb" Type="Pressure" TypePressure="Const"
Pressure="1.e6" Void="0.0" />
!-- Канал
<Channel Name="CH1" Multiplicity="1" Coolant="Pb">
  <Section CellNumber="10" Length="0.9" Deqv="0.026"
Area="(pi*0.026*0.026)/4" Dh="0.9" Roughness="1.e-6"/>
</Channel>
!-- Вывод данных в файлы
!-- Вывод давления
!--Вывод скорости
<ControlFunc Name="Velocity" OutFile ="Velocity.dat" Func ="0." Formula="a">
<Arg ShortName="a" LongName="Channel('CH1').Velocity(Fluid,1:10)"/>
</ControlFunc>
!-- Вывод давления
<ControlFunc Name="Pressure" OutFile ="Pressure.dat" Func ="0." Formula="a">
<Arg ShortName="a" LongName="Channel('CH1').Pressure(1:10)"/>
</ControlFunc>
!-- динамическая вязкость
<ControlFunc Name="Viscosity" OutFile ="Viscosity.dat" Func ="0." Formula="a">
<Arg ShortName="a" LongName="Channel('CH1').Viscosity(Fluid,1:10)"/>
</ControlFunc>
!-- плотность
<ControlFunc Name="Density" OutFile ="Density.dat" Func ="0." Formula="a">
<Arg ShortName="a" LongName="Channel('CH1').Dens(Fluid,1:10)"/>
</ControlFunc>
!-- эквивалентный диаметр расчетных ячеек канала
<ControlFunc Name="Deqv" OutFile ="Deqv.dat" Func ="0." Formula="a">
<Arg ShortName="a" LongName="Channel('CH1').Deqv(1:10)"/>
</ControlFunc>

```

</Hydraulics>

</Task>

Рисунок 6.3 – Файл ввода исходных данных задачи о стационарном течении свинцового теплоносителя в вертикальной круглой трубе

6.1.4 Выходные файлы и результаты расчета

Для сравнения с результатами аналитического расчета в выходной файл выводится скорость свинцового теплоносителя *Velocity* в каждой ячейке. Для проверки правильности задания входных параметров дополнительно в отдельные файлы выводятся следующие величины:

Pressure – давление теплоносителя;

Viscosity – динамическая вязкость теплоносителя;

Density – плотность теплоносителя;

Deqv – эквивалентный диаметр канала.

При расчёте формируются следующие выходные файлы:

log_warnings.txt - содержит диагностические сообщения, включает в себя сообщения об ошибках, содержащиеся в файле log_errors.txt (в данном случае отсутствует), и предупреждающие сообщения, не препятствующие началу расчёта;

log_events.txt – содержит сообщения о физических событиях в моделируемой задаче, происходящих в процессе расчета;

log_info.txt – содержит весь протокол информационных сообщений, включая ошибки, диагностические сообщения, события, и информационные сообщения;

Velocity.dat – содержит значения скорости свинца вдоль канала для всех 10 ячеек;

Pressure.dat – содержит значения давления свинца вдоль канала для всех 10 ячеек;

Viscosity.dat – содержит значения динамической вязкости свинца вдоль канала для всех 10 ячеек;

Density.dat – содержит значения плотности свинца вдоль канала для всех 10 ячеек;

Deqv.dat – содержит значения эквивалентного гидравлического диаметра канала.

На Рисунок 6.4 представлен файл выходных данных Velocity.dat, содержащий расчетные значения скорости свинцового теплоносителя для 10 ячеек канала, которые сравнивались с аналитическим решением.

Values CF (formulas). Formulas and arguments:

Function: Velocity

Formula: a-1

----- Argument: a Variable: Channel('CH1').Velocity(Fluid,1:10)

time Velocity[0] Velocity[1] Velocity[2] Velocity[3] Velocity[4]
Velocity[5] Velocity[6] Velocity[7] Velocity[8] Velocity[9]

0.000000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00 0.0000E+00
1.000059E+01 1.7857E-02 1.7857E-02 1.7857E-02 1.7857E-02 1.7858E-02
1.7858E-02 1.7858E-02 1.7858E-02 1.7859E-02 1.7859E-02

2.000059E+01 2.4069E-02 2.4069E-02 2.4070E-02 2.4070E-02 2.4070E-02
2.4071E-02 2.4071E-02 2.4071E-02 2.4072E-02 2.4072E-02
3.000059E+01 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4093E-02
2.4093E-02 2.4093E-02 2.4094E-02 2.4094E-02 2.4094E-02
4.000059E+01 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4093E-02 2.4093E-02
2.4093E-02 2.4093E-02 2.4094E-02 2.4094E-02 2.4094E-02
5.000059E+01 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4093E-02 2.4093E-02
2.4093E-02 2.4093E-02 2.4094E-02 2.4094E-02 2.4094E-02
6.000059E+01 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4093E-02 2.4093E-02
2.4093E-02 2.4093E-02 2.4094E-02 2.4094E-02 2.4094E-02
7.000059E+01 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4093E-02 2.4093E-02
2.4093E-02 2.4093E-02 2.4094E-02 2.4094E-02 2.4094E-02
8.000059E+01 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4093E-02 2.4093E-02
2.4093E-02 2.4093E-02 2.4094E-02 2.4094E-02 2.4094E-02
9.000059E+01 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4093E-02 2.4093E-02
2.4093E-02 2.4093E-02 2.4094E-02 2.4094E-02 2.4094E-02
1.000006E+02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4092E-02 2.4093E-02 2.4093E-02
2.4093E-02 2.4093E-02 2.4094E-02 2.4094E-02 2.4094E-02

Рисунок 6.4 – Файл выходных данных Velocity.dat

Ниже в Таблица 6.5 приведены аналитические и расчетные значения скорости свинцового теплоносителя при ламинарном и турбулентном режимах течения и значения средних относительных погрешностей расчета кодом HYDRA в сравнении с аналитическим решением.

Таблица 6.5 – Сравнение расчетных значений скорости свинцового теплоносителя с аналитическим решением

Ре- жим те- че- ния	Число Рей- нольдса	Давление на входе в канал, Па	Скорость, рассчитан- ная кодом HYDRA, м/с	Скорость, рассчитанная аналитически, м/с	Абсолют- ная погреш- ность, м/с	Относи- тельная погреш- ность, %
Ламинарный	600	91846,97284	$3,8059 \cdot 10^{-3}$	$3,84038 \cdot 10^{-3}$	$3,448 \cdot 10^{-5}$	0,898
	800	91847,06725	$5,0833 \cdot 10^{-3}$	$5,12050 \cdot 10^{-3}$	$3,720 \cdot 10^{-5}$	0,727
	1000	91847,16167	$6,3617 \cdot 10^{-3}$	$6,40063 \cdot 10^{-3}$	$3,893 \cdot 10^{-5}$	0,608
	1200	91847,25609	$7,6406 \cdot 10^{-3}$	$7,68075 \cdot 10^{-3}$	$4,015 \cdot 10^{-5}$	0,523
	1500	91847,39771	$9,5592 \cdot 10^{-3}$	$9,60094 \cdot 10^{-3}$	$4,174 \cdot 10^{-5}$	0,435
	Средние значения погрешностей					$3,850 \cdot 10^{-5}$
Турбулентный	$4,0 \cdot 10^4$	92111,77773	0,25603	0,25603	$0,5128 \cdot 10^{-5}$	2,003
	$8,0 \cdot 10^4$	92743,22754	0,51205	0,51205	$0,0256 \cdot 10^{-5}$	0,050
	$1,0 \cdot 10^5$	93175,09282	0,64006	0,64006	$0,2820 \cdot 10^{-5}$	0,441
	$1,2 \cdot 10^5$	93679,22926	0,76808	0,76808	$0,5384 \cdot 10^{-5}$	0,701
	$1,4 \cdot 10^5$	94253,01502	0,89609	0,89609	$0,7948 \cdot 10^{-5}$	0,887
	$1,6 \cdot 10^5$	94894,39112	1,02410	1,02410	$1,0510 \cdot 10^{-5}$	1,027
	$1,8 \cdot 10^5$	95601,68861	1,15211	1,15211	$1,3080 \cdot 10^{-5}$	1,135
	$2,2 \cdot 10^5$	97208,72272	1,40814	1,40814	$0,8205 \cdot 10^{-5}$	0,583
	$3,0 \cdot 10^5$	101164,96486	1,92019	1,92019	$1,8460 \cdot 10^{-5}$	0,961
	$3,5 \cdot 10^5$	104123,52046	2,24022	2,24022	$1,9870 \cdot 10^{-5}$	0,887
	Средние значения погрешностей					$1,8330 \cdot 10^{-5}$

Полученные значения скорости свинцового теплоносителя вводились вручную в отдельный текстовый файл для построения графика зависимости скорости течения свинцового теплоносителя от числа Рейнольдса. На Рисунок 6.5 и Рисунок 6.6 представлена графическая зависимость средней скорости течения свинцового теплоносителя от числа Рейнольдса в сравнении с аналитическим решением.

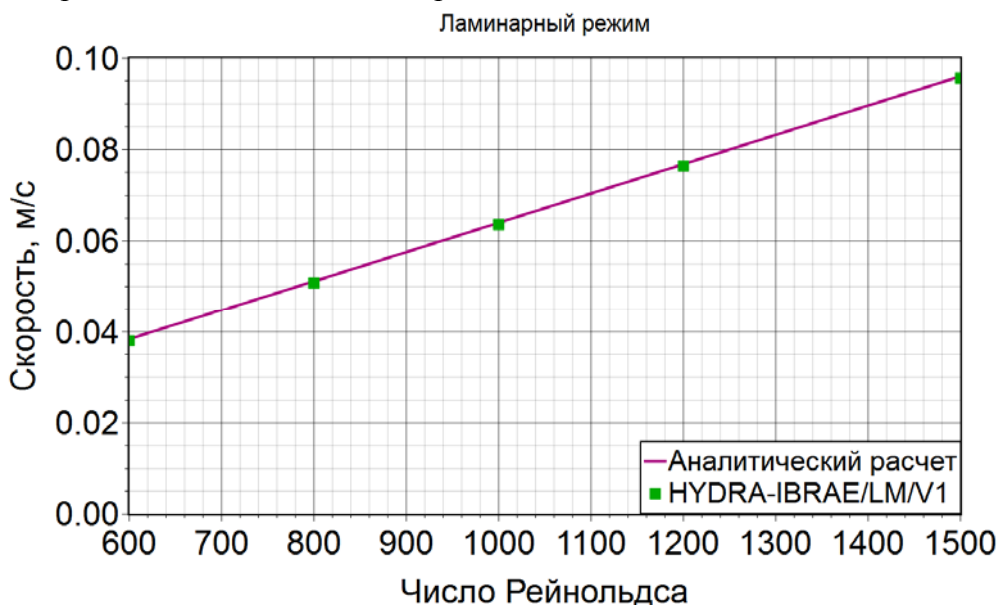


Рисунок 6.5 – Сравнение расчетных значений средней скорости свинцового теплоносителя и аналитического решения в зависимости от числа Рейнольдса при ламинарном режиме

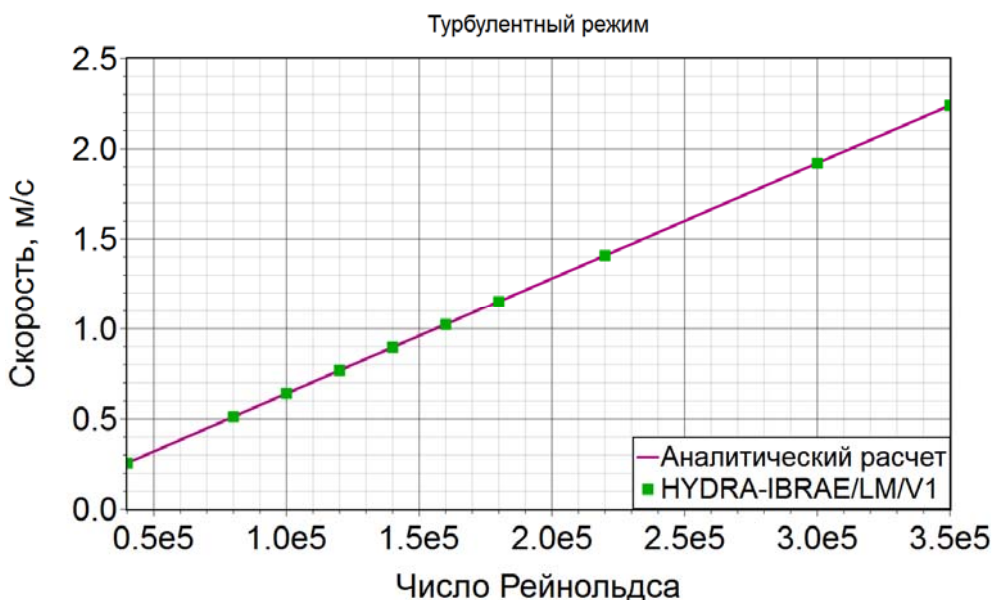


Рисунок 6.6 – Сравнение расчетных значений средней скорости свинцового теплоносителя и аналитического решения в зависимости от числа Рейнольдса при турбулентном режиме

6.2 Пример 2. Моделирование естественной циркуляции натриевого теплоносителя в замкнутом контуре и сравнение с аналитически решением

В данном примере опишем расчёт аналитической задачи о естественной циркуляции натриевого теплоносителя в замкнутом контуре.

6.2.1 Постановка задачи

Для проведения численного расчета была предложена следующая схема. Циркуляционный контур представляет собой трубку длиной 10 м с гидравлическим диаметром 6 мм. Длина горизонтальных участков составляет 1 м, а длина вертикальных – 4 м. Длина обогреваемого участка слева 1 м, справа расположен охлаждаемый участок такой же длины. Схема теста приведена на 6.7. В 6.6 приведены геометрические параметры тестовой схемы.

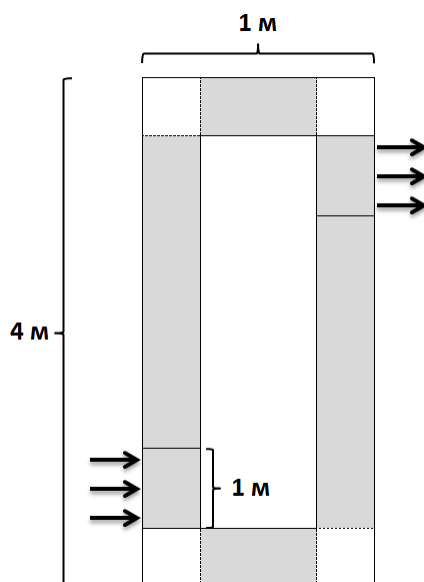


Рисунок 6.7 – К постановке задачи о естественной циркуляции натриевого теплоносителя в замкнутом контуре

Таблица 6.6 – Геометрические параметры

Общая длина контура, м	10
Длина вертикального участка, м	4
Длина горизонтального участка, м	1
Внешний/внутренний диаметры обогреваемой трубки, м	0,008/0,006
Длина обогреваемого (охлаждаемого) участка, м	1
Профиль энерговыделения	Однородный

Аналитическое решение для замкнутого контура (без канала для сброса давления) можно получить из уравнений Эйлера для несжимаемой жидкости, баланса энергии и предположения о линейной зависимости плотности жидкого натрия от температуры. В итоге получим аналитические зависимости для массовой скорости и для величины подогрева от мощности нагревателя:

$$\rho u = \left(\left(\frac{4\bar{\rho}^2 x(1-y)g\alpha Q}{0,11\pi\bar{C}_p} \right)^4 \frac{1}{34\bar{\eta}r^3} \right)^{\frac{1}{11}}, \quad (6.6)$$

$$\Delta T = \frac{Q}{(\rho u)\bar{C}_p\pi r^2} \quad (6.7)$$

где u – скорость конвективного потока, усредненная по сечению, r – радиус трубы, $\bar{\rho}$ – усредненная по контуру плотность среды, $\bar{\eta}$ – усредненная по контуру динамическая вязкость, \bar{C}_p – усредненная по контуру теплоемкость, x – отношение длины вертикального участка трубы к общей длине, $(1 - y)$ – отношение длины необогреваемого вертикального участка к длине всего вертикального участка, Q – мощность нагрева/охлаждения теплоносителя.

6.2.2 Построение нодализационной схемы

Нодализационная схема аналитического теста представлена на 6.8 и состоит из трех вертикальных каналов.

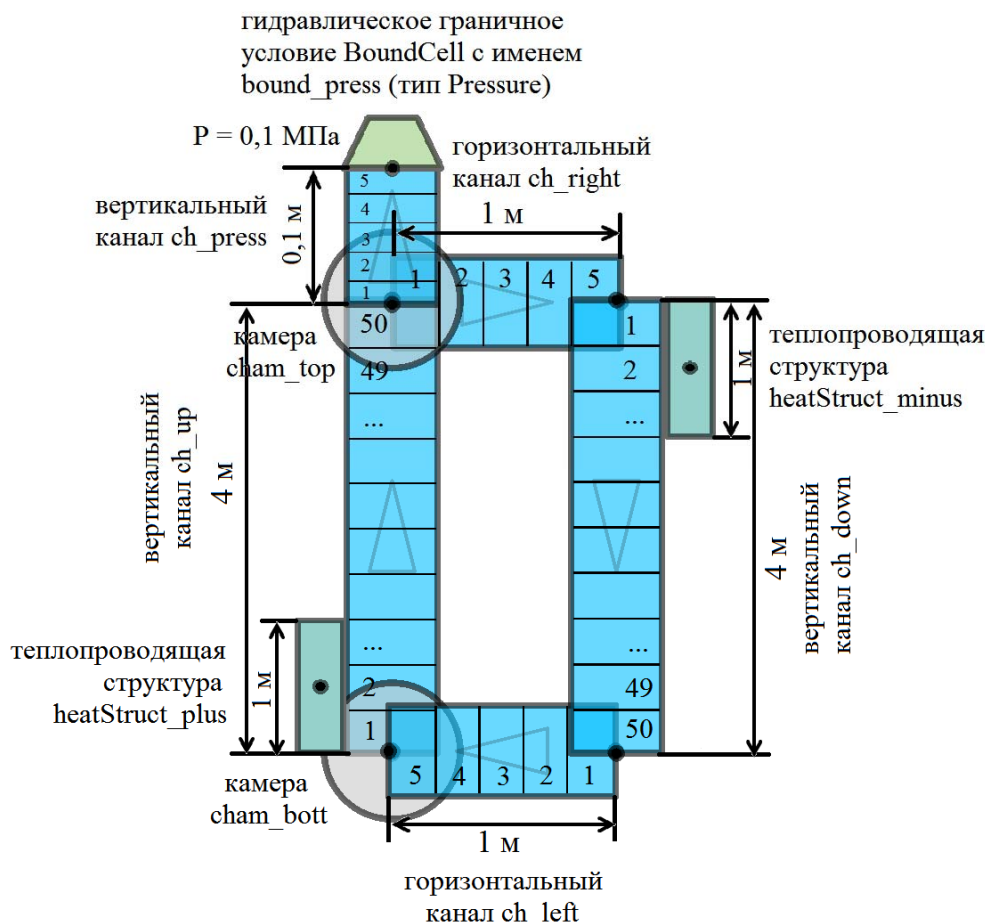


Рисунок 6.8 – Нодализационная схема

Схема состоит из каналов ch_up, ch_right, ch_down, ch_left (объекты Channel), соединенных циклически через две камеры cham_top и cham_bott (объекты Chamber). Каналы ch_right и ch_left моделируют горизонтальный участок замкнутого контура. Так как по

условиям задачи эти каналы одинаковы по геометрии и начальным термодинамическим параметрам, целесообразно ввести для каждого из них только одну секцию. Каналы ch_up и ch_down моделируют вертикальные участки замкнутого контура, при этом в начале каналов к ним подсоединяются теплопроводящие структуры heatStruct_plus и heatStruct_minus (объекты HeatStruct). Поэтому эти каналы разбиты на две секции, одна из которых граничит с теплопроводящей структурой, а другая нет. Секции, не граничащие с теплопроводящими структурами, как и каналы ch_right, ch_left, ch_press разбиты на 5 одинаковых расчетных ячеек, что дает хорошую скорость счета и достаточную точность расчета теплогидравлических величин. Канал ch_press введен для компенсации теплового расширения теплоносителя при нагреве, поэтому он соединен с гидравлическим граничным условием bound_press (объект BoundCell) с заданным постоянным давлением в 0,1 МПа. Для того чтобы соединить три канала ch_up, ch_right и ch_press, необходимо ввести камеры cham_top (объект Chamber). Нижняя камера cham_down необходима для того, чтобы замкнуть контур. Секции каналов ch_up и ch_down разбиты на 50 расчетных ячеек как и теплопроводящие структуры heatStruct_plus и heatStruct_minus по аксиальной координате, по радиальной координате теплопроводящие структуры разбиты на 3 расчетные ячейки. Такое разбиение дает приемлемую точность расчета теплогидравлических параметров. К внешним границам теплопроводящих структур heatStruct_plus и heatStruct_minus подсоединены тепловые граничные условия heatBound_plus и heatBound_minus соответственно (объекты HeatBound). В качестве heatBound_plus и heatBound_minus задаются тепловые граничные условия 2-го рода, т.е. тепловой поток, обогревающий для heatBound_plus и охлаждающий для heatBound_minus. Величина тепловых потоков одинакова по модулю. В 6.7 приведены геометрические параметры каждого моделируемого канала.

Таблица 6.7 – Геометрические параметры моделируемых каналов

Канал	Длина, м	Диаметр, мм	Число расч. ячеек
«ch_up»	4	6	88
«ch_up», секция до тепл. эл. «hs_plus»	0,1	6	8
«ch_up», секция у тепл. эл. «hs_plus»	1	6	40
«ch_up», секция после тепл. эл. «hs_plus»	2,9	6	40
«ch_down»	4	6	88
«ch_down», секция до тепл. эл. «hs_minus»	0,1	6	8
«ch_down», секция у тепл. эл. «hs_minus»	1	6	40
«ch_down», секция после тепл. эл. «hs_minus»	2,9	6	40
«ch_right»	1	6	40
«ch_left»	1	6	40
«ch_out»	0,1	6	5

6.2.3 Файл входных данных

Параметры натриевого теплоносителя описываются в теге Coolant (6.8).

Таблица 6.8 – Атрибуты теплоносителя

Атрибут	Значение	Описание
Name	Na	Имя теплоносителя – натрий
Pressure	1.0e5	Давление теплоносителя
Tfluid	733	Температура жидкой фазы теплоносителя
Tgas	SAT	Температура газовой фазы теплоносителя – держится на линии насыщения
Void	0.0	Истинное объёмное паросодержание

Для упрощения понимания и дальнейшей модификации входного файла можно использовать константы (объект Constant). Используемые во входной файле для рассматриваемого теста константы описаны в 6.9.

Таблица 6.9 – Константы

Имя	Значение	Описание
lengthHeatStruct	1	Длина теплопроводящей структуры
lengthAfterHS	3	Длина секции вертикального канала, не граничащей с теплопроводящей структурой
lengthChLR	1	Длина горизонтальных каналов
cellnumHeatStruct	50	Число расчетных ячеек по аксиальной координате для теплопроводящей структуры
cellnumAfterHS	5	Число расчетных ячеек в секции вертикального канала, не граничащей с теплопроводящей структурой
cellnumChLR	5	Число расчетных ячеек в горизонтальных каналах
cellnumChMeas	51	Номер ячейки вертикальных каналов, в которой измеряются теплогидравлические параметры
roughness	0	Шероховатость каналов
hydraulicR	0,003	Гидравлический радиус каналов
thicknessCh	0,001	Толщина теплопроводящих структур
heatPower	$2.5e3/(2*\pi*(hydraulicR+thicknessCh)*lengthHeatStruct)$	Величина теплового потока, значение в Вт пересчитывается в Вт/м ²

Атрибуты для канала channel_up приведены в 6.10, для остальных каналов все аналогично.

Таблица 6.10 – Атрибуты канала channel_up

Атрибут	Значение	Описание
Name	channel_up	Имя (уникальный идентификатор) канала
Секция 1		
CellNumber	cellnumHeatStruct (50)	Число расчетных ячеек секции

Length	lengthHeatStruct (1)	Длина секции, м
Roughness	roughness (0)	Шероховатость
Area	$\pi * \text{hydraulicR} * \text{hydraulicR}$ ($\pi * 0,003 * 0,003$)	Площадь поперечного сечения, м ²
Deqv	$2 * \text{hydraulicR}$ (2*0,003)	Диаметр канала, м
Dh	lengthHeatStruct (1)	Перепад высоты, м
Секция 2		
CellNumber	cellnumAfterHS (5)	Число расчетных ячеек секции
Length	lengthAfterHS (3)	Длина секции, м
Roughness	roughness (0)	Шероховатость
Area	$\pi * \text{hydraulicR} * \text{hydraulicR}$ ($\pi * 0,003 * 0,003$)	Площадь поперечного сечения, м ²
Deqv	$2 * \text{hydraulicR}$ (2*0,003)	Диаметр канала, м
Dh	lengthAfterHS (3)	Перепад высоты, м

В 6.11 приведены атрибуты для теплопроводящей структуры heatStruct_plus, описание теплопроводящей структуры heatStruct_minus полностью идентично.

Таблица 6.11 – Атрибуты теплопроводящей структуры heatStruct_plus

Атрибут	Значение	Описание
Name	heatStruct_plus	Имя (уникальный идентификатор) канала
Geometry	Cylindrical	Тип системы координат – цилиндрическая
Dimension	2	Размерность теплопроводящей структуры
Multiplicity	1	Множитель (упрощает ввод повторяющихся элементов)
Аксиальная секция AxialSection		
Z0	0	Координата начала аксиальной секции, м
DZ	lengthHeatStruct (1)	Длина аксиальной секции, м
NZ	cellnumHeatStruct (50)	Число расчетных ячеек по аксиальной координате
Радиальная секция RadialSection		
R0	hydraulicR (0,003)	Координата начала радиальной секции, м
DR	thicknessCh (0,001)	Длина радиальной секции (толщина), м
NR	3	Число расчетных ячеек по радиальной координате
Область одного материала Region		
Z0	0	Аксиальная координата начала области, м
DZ	lengthHeatStruct (1)	Протяженность области по аксиальной координате, м
R0	hydraulicR (0,003)	Радиальная координата начала области, м
DR	thicknessCh (0,001)	Протяженность области по радиальной координате, м
Material	12X18H9	Материал области – сталь марки 12X18H9
Temp	733	Начальная температура, К

Тепловое граничное условие heatBound_plus на внешней границе теплопроводящей структуры heatStruct_plus задается следующим образом (см. 6.12).

Таблица 6.12 – Атрибуты теплового граничного условия heatBound_plus

Атрибут	Значение	Описание
Name	heatBound_plus	Имя (уникальный идентификатор) канала
Type	2	Тип теплового граничного условия – теплового граничного условия 2-го рода (тепловой поток)
TypeQ	TF	Ключ, определяющий, в каком виде задается тепловой поток – табличная функция
Q	tablePower_plus	Величина теплового потока, Вт/м ² , или идентификатор контрольной/табличной функции

Атрибуты камеры chamber_high описаны в 6.13. Аналогично описывается камера chamber_low.

Таблица 6.13 – Атрибуты камеры chamber_high

Атрибут	Значение	Описание
Name	chamber_high	Имя (уникальный идентификатор) канала
Length	2*hydraulicR (2*0,003)	Длина, м
Deqv	2*hydraulicR (2*0,003)	Гидравлический диаметр, м
Area	pi*hydraulicR*hydraulicR (pi*0,003*0,003)	Площадь проходного сечения, м ²
Dh	0	Перепад высот, м

В 6.14 приведены атрибуты гидравлического граничного условия bound_press. Здесь стоит обратить внимание на то, что дополнительно задаются параметры TypeTfluid и Tfluid, определяющие температуру жидкой фазы теплоносителя на границе. Если их не задать, то в качестве этой температуры будет браться значение Tfluid из объекта Coolant (см. 6.8). Контрольная функция outTemp берет значение температуры жидкой фазы теплоносителя из ячейки канала channel_press, которая граничит с граничным условием bound_press.

Таблица 6.14 – Атрибуты гидравлического граничного условия bound_press

Атрибут	Значение	Описание
Name	bound_press	Имя (уникальный идентификатор) канала
Coolant	Na	Теплоноситель – натрий
Type	Pressure	Тип гидравлического граничного условия – по давлению
TypePressure	Const	Ключ, определяющий, в каком виде задается параметр – постоянное значение
Pressure	1.0e5	Значение давления, Па или идентификатор контрольной/табличной функции
TypeTfluid	CF	Ключ, определяющий, в каком виде задается температура теплоносителя –

		контрольная функция
Tfluid	outTemp	Значение температуры, К или идентификатор контрольной/табличной функции

В блоке Main заданы основные управляющие параметры. Он содержит тег Description, в котором приводятся название и краткое описание теста. В теге ModuleList указано, что проводятся расчеты модулем Hydra. В блоке TimeTable задаются параметры, управляющие расчётом – значения максимального и минимального шага по времени, начального шага, частота записи информации в выходной файл, время расчёта. Продолжительность расчета теста выбрана исходя из условий достижения стационарного режима естественной циркуляции и составляет EndTime = 1000 с, максимальный шаг по времени – DtMax = 10^{-1} , минимальный – DtMin = 10^{-4} , начальный шаг DtStart = 10^{-4} . При таких значениях достигается необходимая точность расчетов. Частота записи всех теплогидравлических параметров задается атрибутом DtOutput, отрицательное значение означает отсутствие такого вывода. Это сделано для ускорения счета. Частота записи контрольных функций задается атрибутом DtCF, в данном случае она составляет каждые 100 с. В теге PlotList блока Main можно регулировать число параметров, выводимых в plot-файл, с помощью которого отображаются графики. В данном примере вывод в plot-файл не производится (тег PlotList пустой).

Вывод переменных в выходные файлы осуществляется с помощью инструмента ControlFunc – контрольная функция. Для данной задачи выводились следующие параметры:

- произведение плотности теплоносителя на скорость в подъемном вертикальном канале channel_up в ячейке cellnumChMeas (см. Таблица 6.9, скорость задается на границах между ячейками, поэтому значение берется из границы cellnumChMeas+1);
- аналогичное произведение плотности теплоносителя на скорость в опускном вертикальном канале, чтобы убедиться, что удельный массовый расход сохраняется;
- температура теплоносителя после прохождения нагревающей теплопроводящей структуры heatStruct_plus;
- температура теплоносителя после прохождения охлаждающей теплопроводящей структуры heatStruct_minus;
- разница между двумя перечисленными выше температурами.

Все значения контрольных функций выводятся в один выходной файл outdata_2.5kW.dat.

На рисунке 6.9 представлен файл ввода входных данных для моделирования задачи о естественной циркуляции натриевого теплоносителя в замкнутом контуре при мощности нагрева/охлаждения в 2,5 кВт.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8" ?>
```

```
<Task Title="Natural circulation Na" Version="2.0">
```

```
<Main>
```

```
<Description>
```

```
Analytical test: Natural circulation
```

```
Creation Time : 14/02/2014
```

```
Description: Тест предназначен для верификации кода на аналитическом тесте по естественной циркуляции.
```

Нодализационная схема состоит из: пяти каналов, четыре из них представляют собой замкнутый контур, пятый необходим для компенсации расширения теплоносителя при нагреве, на нем задано граничное условие на давление. Для соединения каналов используются две камеры. Также на вертикальных участках присутствуют два тепловых элемента с одинаковыми мощностями. Один нагревает, другой охлаждает.

Основные выходные параметры, сравниваемые с экспериментальными данными: Значение произведения плотности на скорость теплоносителя, перепад температуры теплоносителя.

```

</Description>
<ModuleList>
  <Module Name="Hydra"/>
</ModuleList>
<TimeTable StartTime="0" EndTime="1000.0" DtStart="1.0e-4">
  <TimeControl Start="0.0" DtMax="1.0e-1" DtMin="1.0e-4" DtOutput="-1"
DtCF="100.0"/>
</TimeTable>
<PlotList></PlotList>
</Main>

<Hydraulics Version="2.0">

  <Constant Name="lengthHeatStruct" Value="1.0"/>
  <Constant Name="lengthAfterHS" Value="3.0"/>
  <Constant Name="lengthChLR" Value="1.0"/>
  <Constant Name="cellnumHeatStruct" Value="50"/>
  <Constant Name="cellnumAfterHS" Value="5"/>
  <Constant Name="cellnumChLR" Value="5"/>
  <Constant Name="cellnumChMeas" Value="cellnumHeatStruct+1"/>
  <Constant Name="roughness" Value="0.0"/>
  <Constant Name="hydraulicR" Value="0.003"/>
  <Constant Name="thicknessCh" Value="0.001"/>

  <Constant Name="heatPower"
Value="2.5e3/(2*pi*(hydraulicR+thicknessCh)*lengthHeatStruct)"/>

  <!-- Теплоноситель Na -->
  <Coolant Name="Na" Pressure="1.0e5" Tfluid="733.0" Tgas="SAT" Void="0.0"/>

  <!-- Связи структуры -->
  <NodalizationScheme>
    <Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="channel_up" InOut="In"
TypeTo="Chamber" NameTo="chamber_low"/>
    <Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="channel_up" InOut="Out"
TypeTo="Chamber" NameTo="chamber_high"/>
    <Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="channel_press" InOut="In"
TypeTo="Chamber" NameTo="chamber_high"/>
    <Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="channel_right" InOut="In"
TypeTo="Chamber" NameTo="chamber_high"/>

```

```

<Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="channel_left" InOut="Out"
            TypeTo="Chamber" NameTo="chamber_low"/>

<Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="channel_press" InOut="Out"
            TypeTo="BoundCell" NameTo="bound_press"/>
<Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="channel_right" InOut="Out"
            TypeTo="Channel" NameTo="channel_down" InOutTo="In"/>
<Connection TypeFrom="Channel" NameFrom="channel_down" InOut="Out"
            TypeTo="Channel" NameTo="channel_left" InOutTo="In"/>

<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="heatStruct_plus"
            Boundary="Internal" XHS="0.0" Length="lengthHeatStruct"
XCh="0.0"
            TypeTo="Channel" NameTo="channel_up"/>
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="heatStruct_plus"
            Boundary="External" XHS="0.0" Length="lengthHeatStruct"
            TypeTo="HeatBound" NameTo="heatBound_plus"/>
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="heatStruct_plus"
            Boundary="Upper"
            TypeTo="HeatBound" NameTo="heatBound_0"/>
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="heatStruct_plus"
            Boundary="Lower"
            TypeTo="HeatBound" NameTo="heatBound_0"/>
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="heatStruct_minus"
            Boundary="Internal" XHS="0.0" Length="lengthHeatStruct"
XCh="0.0"
            TypeTo="Channel" NameTo="channel_down"/>
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="heatStruct_minus"
            Boundary="External" XHS="0.0" Length="lengthHeatStruct"
            TypeTo="HeatBound" NameTo="heatBound_minus"/>
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="heatStruct_minus"
            Boundary="Upper"
            TypeTo="HeatBound" NameTo="heatBound_0"/>
<Connection TypeFrom="HeatStruct" NameFrom="heatStruct_minus"
            Boundary="Lower"
            TypeTo="HeatBound" NameTo="heatBound_0"/>
</NodalizationScheme>

<BoundCell Name="bound_press" Coolant="Na" Type="Pressure"
TypePressure="Const" Pressure="1.0e5" TypeTfluid="CF" Tfluid="outTemp"/>
<ControlFunc Name="outTemp" Formula="T">
  <Arg ShortName="T" LongName="Channel('channel_press').Temp(Fluid,5)"/>
</ControlFunc>

<!-- Тепловая структура -->
<HeatStruct Name="heatStruct_plus" Geometry="Cylindrical" Dimension="2"
Multiplicity="1">
  <AxialSection Z0="0.0" DZ="lengthHeatStruct" NZ="cellnumHeatStruct"/>
  <RadialSection R0="hydraulicR" DR="thicknessCh" NR="3"/>

```



```

    <Region Z0="0.0" DZ="lengthHeatStruct" R0="hydraulicR" DR="thicknessCh"
Material="12X18H9" Temp="733.0"/>
  </HeatStruct>
  <HeatStruct Name="heatStruct_minus" Geometry="Cylindrical" Dimension="2"
Multiplicity="1">
    <AxialSection Z0="0.0" DZ="lengthHeatStruct" NZ="cellnumHeatStruct"/>
    <RadialSection R0="hydraulicR" DR="thicknessCh" NR="3"/>
    <Region Z0="0.0" DZ="lengthHeatStruct" R0="hydraulicR" DR="thicknessCh"
Material="12X18H9" Temp="733.0"/>
  </HeatStruct>
  <MatProp Name="12X18H9" Default="On" />

<!-- Камеры -->
  <Chamber Name="chamber_high">
    <Section Length="2*hydraulicR" Deqv="2*hydraulicR"
Area="pi*hydraulicR*hydraulicR" Dh="0.0"/>
  </Chamber>
  <Chamber Name="chamber_low" >
    <Section Length="2*hydraulicR" Deqv="2*hydraulicR"
Area="pi*hydraulicR*hydraulicR" Dh="0.0"/>
  </Chamber>

<!-- Граничные условия тепловой структуры -->
  <HeatBound Name="heatBound_0" Type="2" TypeQ="Const" Q="0.0" />
  <HeatBound Name="heatBound_plus" Type="2" TypeQ="TF"
Q="tablePower_plus" />
  <HeatBound Name="heatBound_minus" Type="2" TypeQ="TF"
Q="tablePower_minus" />
  <Table Name="tablePower_plus">
    <PairXY X="0.0" Y="0.0" />
    <PairXY X="10.0" Y="-heatPower" />
  </Table>
  <Table Name="tablePower_minus">
    <PairXY X="0.0" Y="0.0" />
    <PairXY X="15.0" Y="heatPower" />
  </Table>

<!-- Каналы -->
  <Channel Name="channel_up">
    <Section CellNumber="cellnumHeatStruct"
Length="lengthHeatStruct"
Roughness="roughness"
Area="pi*hydraulicR*hydraulicR"
Deqv="2*hydraulicR"
Dh="lengthHeatStruct">
  </Section>
  <Section CellNumber="cellnumAfterHS"
Length="lengthAfterHS"
Roughness="roughness">

```

```

        Area="pi*hydraulicR*hydraulicR"
        Deqv="2*hydraulicR"
        Dh="lengthAfterHS">
    </Section>
</Channel>
<Channel Name="channel_down">
    <Section CellNumber="cellnumHeatStruct"
        Length="lengthHeatStruct"
        Roughness="roughness"
        Area="pi*hydraulicR*hydraulicR"
        Deqv="2*hydraulicR"
        Dh="-lengthHeatStruct">
    </Section>
    <Section CellNumber="cellnumAfterHS"
        Length="lengthAfterHS"
        Roughness="roughness"
        Area="pi*hydraulicR*hydraulicR"
        Deqv="2*hydraulicR"
        Dh="-lengthAfterHS">
    </Section>
</Channel>
<Channel Name="channel_right">
    <Section CellNumber="cellnumChLR"
        Length="lengthChLR"
        Roughness="roughness"
        Area="pi*hydraulicR*hydraulicR"
        Deqv="2*hydraulicR"
        Dh="0.0">
    </Section>
</Channel>
<Channel Name="channel_left">
    <Section CellNumber="cellnumChLR"
        Length="lengthChLR"
        Roughness="roughness"
        Area="pi*hydraulicR*hydraulicR"
        Deqv="2*hydraulicR"
        Dh="0.0">
    </Section>
</Channel>
<Channel Name="channel_press">
    <Section CellNumber="5"
        Length="0.1"
        Roughness="roughness"
        Area="pi*hydraulicR*hydraulicR/4"
        Deqv="2*hydraulicR/2"
        Dh="0.1">
    </Section>
</Channel>

```

```

<!-- ***** -->
<!-- Вывод значений контрольных параметров -->
<!-- ***** -->
<ControlFunc Name="rhoV_up" Formula="rho*V" OutFile="outdata_2.5kW.dat">
  <Arg ShortName="rho"
LongName="Channel('channel_up').Dens(Fluid,cellnumChMeas)"/>
  <Arg ShortName="V"
LongName="Channel('channel_up').Velocity(Fluid,cellnumChMeas+1)"/>
</ControlFunc>
<ControlFunc Name="rhoV_down" Formula="rho*V" OutFile="outdata_2.5kW.dat">
  <Arg ShortName="rho"
LongName="Channel('channel_down').Dens(Fluid,cellnumChMeas)"/>
  <Arg ShortName="V"
LongName="Channel('channel_down').Velocity(Fluid,cellnumChMeas+1)"/>
</ControlFunc>
<ControlFunc Name="Theat" Formula="Theat" OutFile="outdata_2.5kW.dat">
  <Arg ShortName="Theat"
LongName="Channel('channel_up').Temp(Fluid,cellnumChMeas)"/>
</ControlFunc>
<ControlFunc Name="Tcool" Formula="Tcool" OutFile="outdata_2.5kW.dat">
  <Arg ShortName="Tcool"
LongName="Channel('channel_down').Temp(Fluid,cellnumChMeas)"/>
</ControlFunc>
<ControlFunc Name="tempDiff" Formula="Theat-Tcool"
OutFile="outdata_2.5kW.dat">
  <Arg ShortName="Theat" LongName="ControlFunc('Theat').Func"/>
  <Arg ShortName="Tcool" LongName="ControlFunc('Tcool').Func"/>
</ControlFunc>

</Hydraulics>
</Task>

```

Рисунок 6.9 – Файл ввода исходных данных задачи о естественной циркуляции натриевого теплоносителя в замкнутом контуре

6.2.4 Выходные файлы и результаты расчета

Расчеты были проведены при трех различных мощностях нагрева/охлаждения: 2,0, 2,5 и 3,0 кВт. В каждом расчете начальная температура теплоносителя задавалась равной 733 К. Мощности были выбраны таким образом, чтобы течение после установления стационарного режима было турбулентным. При меньших мощностях наблюдается течение, переходное между ламинарным и турбулентным, в этом случае сложно построить аналитическое решение. Большие мощности приводят к вскипанию теплоносителя.

При расчете аналитических решений в качестве значений теплоемкости C_p , коэффициента динамической вязкости η , коэффициента теплового линейного расширения α используются значения, приведенные в 6.15, полученные как полусумма значений соответствующих минимальной и максимальной температурам теплоносителя.

Таблица 6.15 – Значения плотности, теплоемкости, а также коэффициентов кинематической вязкости и теплового линейного расширения для случаев разных мощностей нагрева/охлаждения

Мощность нагрева/охлаждения, кВт	Мин. и макс. температуры теплоносителя, К	Плотность ρ , кг/м ³	Теплоемкость C_p , Дж/кг/К	Коэффициент динамической вязкости $\eta \cdot 10^5$, кг/м/с	Коэффициент теплового линейного расширения $\alpha \cdot 10^5$, К ⁻¹
2,0	554–811	855,2	1287,4	29,06	26,95
2,5	527–824	856,8	1291,2	30,19	26,90
3,0	503–836	858,1	1294,8	31,43	26,86

На 6.10 показана зависимость перепада температуры, на 6.11 – скорости циркуляции, умноженной на плотность, от мощности нагрева/охлаждения. Видно хорошее соответствие результатов расчета кодом HYDRA и аналитического решения.

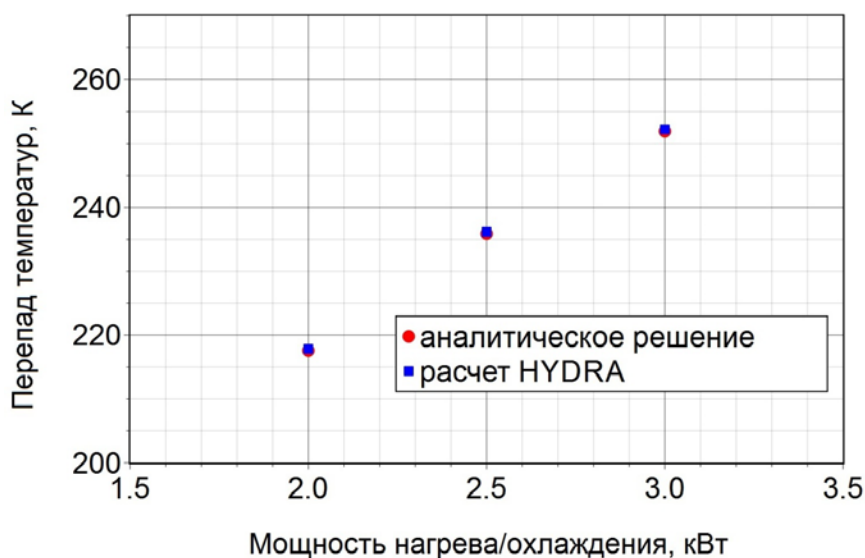


Рисунок 6.10 – Зависимости перепада температур в необогреваемых вертикальных участках после нагрева и охлаждения от мощности нагрева/охлаждения

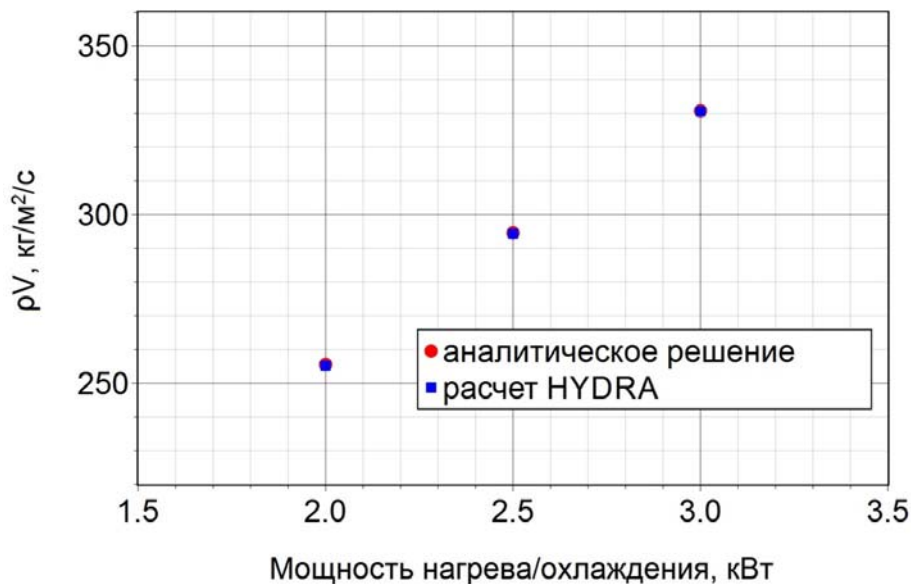


Рисунок 6.11 – Зависимость произведения массовой скорости от мощности нагрева/охлаждения

На 6.12 представлен файл выходных данных outdata_2.5kW.dat, содержащий расчетные значения массовой скорости натриевого теплоносителя и перепада температур.

```

Values CF (formulas). Formulas and arguments:
-----
Function: rhoV_up
  Formula: rho*V
  ----- Argument: rho Variable: Channel('channel_up').Dens(Fluid,cellnumChMeas)
  ----- Argument: V Variable: Channel('channel_up').Velocity(Fluid,cellnumChMeas+1)
Function: rhoV_down
  Formula: rho*V
  ----- Argument: rho Variable: Channel('channel_down').Dens(Fluid,cellnumChMeas)
  ----- Argument: V Variable: Channel('channel_down').Velocity(Fluid,cellnumChMeas+1)
Function: Theat
  Formula: Theat
  ----- Argument: Theat Variable: Channel('channel_up').Temp(Fluid,cellnumChMeas)
Function: Tcool
  Formula: Tcool
  ----- Argument: Tcool Variable: Channel('channel_down').Temp(Fluid,cellnumChMeas)
Function: tempDiff
  Formula: Theat-Tcool
  ----- Argument: Theat Variable: ControlFunc('Theat').Func
  ----- Argument: Tcool Variable: ControlFunc('Tcool').Func
-----

```

time	rhoV_up	rhoV_down	Theat	Tcool	tempDiff
0.000000E+00	0.0000E+00	0.0000E+00	7.3300E+02	7.3300E+02	0.0000E+00
1.000045E+02	2.0787E+02	2.0520E+02	8.6191E+02	6.3059E+02	2.3132E+02
2.000040E+02	2.3299E+02	2.3278E+02	8.9292E+02	6.0442E+02	2.8850E+02
3.000063E+02	2.3595E+02	2.3596E+02	8.9591E+02	6.0179E+02	2.9412E+02
4.000186E+02	2.3617E+02	2.3617E+02	8.9603E+02	6.0169E+02	2.9434E+02
5.000006E+02	2.3616E+02	2.3616E+02	8.9601E+02	6.0172E+02	2.9429E+02
6.000033E+02	2.3616E+02	2.3616E+02	8.9601E+02	6.0173E+02	2.9428E+02
7.000061E+02	2.3616E+02	2.3616E+02	8.9601E+02	6.0174E+02	2.9427E+02
8.000086E+02	2.3616E+02	2.3616E+02	8.9601E+02	6.0174E+02	2.9427E+02
9.000110E+02	2.3616E+02	2.3616E+02	8.9602E+02	6.0175E+02	2.9427E+02
1.000013E+03	2.3616E+02	2.3616E+02	8.9602E+02	6.0175E+02	2.9427E+02

Рисунок 6.12 – Файл выходных данных outdata_2.5kW.dat

В первом столбце на 6.12 выводится текущее расчетное время, во втором и третьем – массовая скорость на подъемном и опускном участках замкнутого контура соответственно, в четвертом и пятом столбцах – температура в подъемном и опускном участках соответственно, в шестом столбце – разница этих температур.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Воеводин А.Ф., Шугрин С.М. ВО "Наука", Новосибирск. 1993.
- 2 Холзнер С. XML. Энциклопедия, 2-е издание. – Спб.:Питер, 2004. – 1101 с.
- 3 TRAC-PD2. An advanced Best-Estimate Computer Program for Pressurized Water Reactor Loss-of-Coolant Accident Analyysis/NUREG/CR-2054. 1981.
- 4 Baker J.L.L. Simultaneous Flow of Oil and Gas. Oil and Gas Journal. 1954, vol.3, p. 185.
- 5 RELAP5/MOD3 Code Manual. Vol. IV: Models and Correlations. NUREG/CR-5535, 1995.
- 6 RELAP5/MOD3 Code Manual. Volume I: Code Structure, System Models, and Solution Methods. NUREG/CR-5535, 1995.
- 7 Александров А.А. Система уравнений IAPWS-IF97 для вычисления термодинамических свойств воды и водяного пара в промышленных расчетах 4.1 и 4.2. - Теплоэнергетика, 1998, № 9-10.
- 8 Авдеев А.А., Лабунцов Д.А. Обобщение опытных данных по критическому истечению вскипающих жидкостей. // Теплоэнергетика. 1978. №9. С.71-75.