

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
Общество с ограниченной ответственностью «ДЖЭТ ЛАБ»
(АО ИТЦ «ДЖЭТ»)**



ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

ММ ВВЭР -1000

Описание ПО

б/н

Номер редакции 1.0

На 19 листах

Москва, 2023

Собственность . Запрещается без предварительного письменного разрешения собственника воспроизводить, переводить, изменять в любой форме или частично, передавать во временное или постоянное пользование другим организациям или лицам, разглашать или использовать сведения в коммерческих интересах лиц или организаций, не связанных договорными

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

ПРАВА НА СОДЕРЖАНИЕ

Настоящий документ является собственностью АО ИТЦ «ДЖЭТ» и защищен законодательством Российской Федерации и международными соглашениями об авторских правах и интеллектуальной собственности

Копирование документа либо его фрагментов в любой форме, распространение, в том числе в переводе, воспроизводство, изменение в любой форме или частично, а также передача во временное или постоянное пользование третьим лицам, разглашение или использование сведений в коммерческих интересах третьих лиц возможны только с письменного разрешения АО ИТЦ «ДЖЭТ».

Документ и связанные с ним графические изображения могут быть использованы только в информационных, некоммерческих или личных целях.

АО ИТЦ «ДЖЭТ» оставляет за собой право на изменение или обновление настоящего документа без предварительного уведомления.

Все названия компаний и продуктов, которые являются товарными знаками или зарегистрированными товарными знаками, являются собственностью соответствующих владельцев.

За содержание, качество, актуальность и достоверность используемых в документе материалов, права на которые принадлежат другим правообладателям, а также за возможный ущерб, связанный с использованием этих материалов, ответственности не несет.

ИТЦ ДЖЭТ

117335, г. Москва, Нахимовский проспект, дом 58

Сайт компании: <https://get-sim.ru/>

Тел.: +7 495 788 04 06

Электронный адрес службы поддержки: itcget@rosatom.ru

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	4
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ	5
1.1 Назначение программы	5
1.2 Обозначение и наименование	5
1.3 Программное обеспечение необходимое для функционирования программы	5
1.4 Язык программирования	6
2 ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ	7
3 ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ	8
3.1 Алгоритм программы и используемые методы	8
3.2 Описание расчетной схемы	8
3.3 Структура программы	12
3.4 Связи с другими программами	12
4 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА	13
5 ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА	14
6 ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	15
6.1 Сведения о входных данных	15
6.1.1 Константы	15
6.1.2 Параметры для твэл и активной зоны	15
6.2 Сведения о выходных данных	17
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	18
Лист регистрации изменений	19

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ГОСТ Р	Государственный стандарт Российской Федерации
CR	Модель нейтронной физики (Neutron-physical model oh the reactor core)
SA	Модель тяжелых аварий (Severe accident modeling)
TH	Теплогидравлическая модель первого контура (Thermo-hydraulic model of primary circuit)
USDS	Универсальная Система Разработки Программного обеспечения (Universal Software Development System)
АЭС	Атомная электростанция
БРУА	Быстродействующая редуцирующая установка сброса пара в атмосферу
ГПК	Главный паровой коллектор
ОС	Операционная система
ПК	Персональный компьютер
ПК КД	Предохранительный клапан компенсатора давления
ПК ПГ	Предохранительный клапан парогенератора
ПМТ	Полномасштабный тренажер
ПО	Программное обеспечение
РП	Руководство пользователя
РЭ	Руководство по эксплуатации
САОЗ	Система аварийного охлаждения активной зоны реактора
СН	Модель защитной оболочки реактора (Containment)
ТВС	Тепловыделяющая сборка
УЛР	Устройство локализации расплава

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ

1.1 Назначение программы

Математическая модель ВВЭР-1000 В-320 для технических средств обучения предназначена для моделирования параметров в реакторном контуре на всем протяжении развития аварии: от исходного события до тяжелой стадии, включая внекорпусную.

В процессе моделирования рассматриваются: изменение теплогидравлических параметров в реакторной установке; разогрев, плавление и деградация активной зоны; поведение расплавленных материалов активной зоны и поле температур в нижней камере реактора и т.д.

Математическая модель ВВЭР-1000 обеспечивает выполнение сквозных расчетов любого аварийного режима, описывает процессы и явления, имеющие место при переходе аварии в тяжелую стадию. Программа позволяет моделировать тяжелые аварии в составе тренажерной математической модели энергоблока; основные сценарии тяжелой аварии всех стадий развития. Программа позволяет рассчитывать: температуры в кассетах, процессы плавления и деградации, образование блокад и локальных бассейнов расплава в активной зоне; взаимодействие расплавленных материалов с внутрикорпусными устройствами и корпусом реактора, прогрев и проплавление корпуса реактора, образование водорода в результате пароциркониевой реакции, разгерметизацию тепловыделяющего элемента (ТВЭЛ) и выход радиоактивных продуктов, выпадение расплавленных компонентов активной зоны в подреакторное пространство, взаимодействие с водой, подаваемой на тяжелой стадии аварии.

Программа предназначена для использования на атомных электростанциях, оснащенных энергоблоками АЭС с реактором типа ВВЭР-1000.

1.2 Обозначение и наименование

s.ssabef - Контрольный модуль, в котором осуществляется: вызов тяжело-аварийных модулей, интерфейс со смежными системами, расчет распределения объемного энерговыделения по кассетам активной зоны, расчет изменения геометрии ТВЭЛ и образования блокад;

s.bdsa - Блок данных для тяжело-аварийных модулей;

thd01h.c - Контрольный модуль, в котором осуществляется: вызов программ расчета теплогидравлических параметров в реакторной установке.

1.3 Программное обеспечение необходимое для функционирования программы

ММ ВВЭР -1000 может работать под управлением ОС UNIX/LINUX и под управлением ОС семейства MS Windows. Для разработки программного обеспечения используется оболочка ESUSDS.

Архитектура программного комплекса SAM базируется на двух пакетах кодов: пакет тяжело-аварийных модулей и пакет для моделирования изменения параметров в реакторном контуре при тяжелой аварии. Пакет тяжело-аварийных модулей не использует дополнительного программного обеспечения. Пакет для моделирования изменения параметров в реакторном контуре разрабатывается на базе теплогидравлического кода CMS с помощью соответствующего

б/н	5
-----	---

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

генератора кода. Для его разработки нужна графическая оболочка SAPFIR и исполняемый модуль **cmsf.exe** со своими библиотеками и подпрограммами.

1.4 Язык программирования

Математическая модель ВВЭР-1000 В-320 написана на языке Fortran, Пакет для моделирования изменения параметров в реакторном контуре использует программы написанные на С.

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

2 ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ НАЗНАЧЕНИЕ

ММ ВВЭР -1000 предназначена для моделирования параметров в реакторном контуре на всем протяжении развития аварии: от исходного события до тяжелой стадии, включая внекорпусную стадию. При этом рассматриваются следующие аспекты:

- изменение теплогидравлических параметров в реакторной установке;
- разогрев, плавление и деградация активной зоны,
- поведение расплавленных материалов активной зоны и поле температур в нижней камере реактора;
- разогрев и разрушение корпуса реактора;
- выход расплава из корпуса реактора и взаимодействие его с бетоном или с компонентами устройства локализации расплава (УЛР);
- паро-циркониевая реакция и разгерметизация ТВЭЛ с выделением и распространением водорода и радиоактивных продуктов.

Ниже представлено описание программного комплекса, разработанного для моделирования в составе тренажерных программных комплексов внутрикорпусной стадии тяжелых запроектных аварий в режиме реального времени. Программный комплекс разрабатывался для реакторной установки с реактором ВВЭР-1200 (проект энергоблока АЭС Руппур, Бангладеш)

Разработка программного комплекса для моделирования внутрикорпусной стадии тяжелой аварии осуществлялась с учетом требования интеграции этой модели с моделью теплогидравлики реакторной установки и, в частности, с интегральной моделью реактора.

Интегральная модель реактора, включает в себя новую покассетную модель активной зоны, аксиальное и секторальное (в плане) моделирование реактора, поперечные перетоки между каналами активной зоны и параллельными секторами в расчетной схеме реактора и тяжело-аварийные модули для описания внутрикорпусной фазы тяжелой аварии.

Модуль для анализа процессов, протекающих в активной зоне реактора типа ВВЭР, обеспечивает моделирование процессов, протекающих в активной зоне при ее разогреве, плавлении и деградации на тяжелой стадии запроектной аварии. Основными задачами такого моделирования является определение:

- распределения температур по активной зоне, с учетом мощности остаточных тепловыделений, неравномерности распределения тепловыделений по активной зоне и теплового эффекта паро-циркониевой реакции;
- изменения геометрии ТВЭЛ и каналов теплоносителя в активной зоне;
- выхода водорода и распространения его по первому контуру;
- количества разгерметизированных ТВЭЛ, выхода радиоактивных продуктов, накопленных под оболочкой ТВЭЛ, и распространения их по первому контуру;
- выхода расплавленных материалов активной зоны (состав, массы и энергии) в нижнюю камеру реактора.

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

3 ОПИСАНИЕ ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ

3.1 Алгоритм программы и используемые методы

Разработка программного комплекса для моделирования внутрикорпусной стадии тяжелой аварии осуществлялась с учетом требования интеграции этой модели с моделью теплогидравлики реакторной установки и, в частности, с интегральной моделью реактора.

Интегральная модель реактора, включает в себя новую покассетную модель активной зоны, аксиальное и секторальное (в плане) моделирование реактора, поперечные перетоки между каналами активной зоны и параллельными секторами в расчетной схеме реактора и тяжело-аварийные модули для описания внутрикорпусной фазы тяжелой аварии.

Модуль для анализа процессов, протекающих в активной зоне реактора типа ВВЭР, обеспечивает моделирование процессов, протекающих в активной зоне при ее разогреве, плавлении и деградации на тяжелой стадии запроектной аварии. Основными задачами такого моделирования является определение:

- распределения температур по активной зоне, с учетом мощности остаточных тепловыделений, неравномерности распределения тепловыделений по активной зоне и теплового эффекта паро-циркониевой реакции;
- изменения геометрии ТВЭЛ и каналов теплоносителя в активной зоне;
- выхода водорода и распространения его по первому контуру;
- количества разгерметизированных ТВЭЛ, выхода радиоактивных продуктов, накопленных под оболочкой ТВЭЛ, и распространения их по первому контуру;
- выхода расплавленных материалов активной зоны (состав, массы и энергии) в нижнюю камеру реактора.

3.2 Описание расчетной схемы

При моделировании температурных полей учитывается неравномерность энерговыделений по высоте и радиусу активной зоны, которая рассчитывается в рамках отдельной нейтронно-физической модели активной зоны, интегрированной в тренажерный программный комплекс.

Нейтронно-физическая модель и теплогидравлическая модель активной зоны, включенная в модель интегрального реактора, работают по расчетной схеме, включающей в себя каждую топливную кассету с разбиением на аксиальные участки. Для реакторов ВВЭР-1200 – это 163 бесчехловых ТВС с разбиением на 15 аксиальных ячеек каждая.

В расчетной схеме реактора верхняя и нижняя камеры реактора, а также опускной кольцевой канал разбиваются на 6 секторов с поперечными связями между собой:

- 6 элементов моделируют верхнюю камеру от выхода из активной зоны до выходных патрубков реактора;
- 6 элементов моделируют нижнюю камеру от перфорированного эллиптического днища шахты (13) до нижней решетки днища шахты;
- 6 элементов моделируют верхнюю часть опускного кольцевого канала с кольцом входных патрубков;
- 6 элементов моделируют основной участок опускного кольцевого канала;
- 1 элемент моделирует объем под крышкой реактора;

б/н	8
-----	---

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

- 1 элемент моделирует объем между днищем реактора и перфорированным эллиптическим днищем шахты;
- 4 группы ТВС по (41, 41, 41, и 40) ТВС в каждой связаны с одним из четырех секторов нижней и верхней камер; при этом моделируется каждая кассета и для каждой кассеты вводится аксиальное разбиение на 15 аксиальных ячеек;

Моделируются также поперечные перетоки между элементами.

6 элементов соединены с выходными патрубками реактора. В два из них осуществляется подача воды от гидроемкостей САОЗ.

В 6 элементов осуществляется вход воды из холодных ниток петель. В два из них осуществляется подача воды от гидроемкостей САОЗ.

В расчетную схему входит также связь с системой аварийного газоудаления (из объема под крышкой реактора) и связь с подреакторным объемом шахты реактора, которая открывается при проплавлении корпуса реактора и переходе аварии во внекорпусную стадию.

В расчете учитывается возможность:

- выделения водорода и тепла при паро-циркониевой реакции,
- выхода радиоактивных веществ из-под оболочек ТВЭЛ при их разгерметизации,
- выделения тепла при перемещении расплавленных материалов активной зоны в нижнюю камеру реактора,
- взаимного излучения от разогретых поверхностей расплава и стенок корпуса реактора,
- подачи воды в реактор в рамках мероприятий по управлению тяжелой аварией,
- расплавления решеток,
- образования блокад в отдельных кассетах при образовании и стекании расплава, с частичной или полной блокировкой проходного сечения,
- разгерметизации корпуса реактора при его проплавлении и переходе тяжелой аварии во внекорпусную стадию.

Всего расчетная схема реактора состоит из 181 расчетных ячеек, при этом каждая из ячеек 1-163, отведенных для моделирования ТВС, дополнительно разбивается по высоте на 15 аксиальных ячеек.

Для всех ячеек учитывается теплообмен с твердыми стенками.

Каждая кассета характеризуется эквивалентным ТВЭЛОМ, для которого и выполняется расчет. При этом предполагается, что все ТВЭЛЫ в данной кассете подобны эквивалентному ТВЭЛУ. Отдельно может быть смоделирован выделенный канал с максимально напряженным ТВЭЛОМ.

Распределение температуры по радиусу ТВЭЛА определяется решением одномерного радиального уравнения теплопроводности для каждого контрольного объема эквивалентного ТВЭЛА. Кроме того, учитываются тепловые потоки между аксиальными ячейками за счет аксиальной теплопроводности и тепловые потоки между нижними и верхними торцами ТВЭЛ и, соответственно расчетными ячейками верхней и нижней камер реактора за счет конвективного теплообмена и теплового излучения.

При решении одномерного уравнения радиальной теплопроводности каждый контрольный объем разбивается на семь радиальных слоев с динамически изменяющимися радиусами (рис.1): диоксид урана UO_2 (слой 1,2,3); гелиевый зазор между топливом и оболочкой (слой 4); цирконий или раствор U-Zr-O (слой 5); двуокись циркония (слой 6); зона перемещения (слой 7).

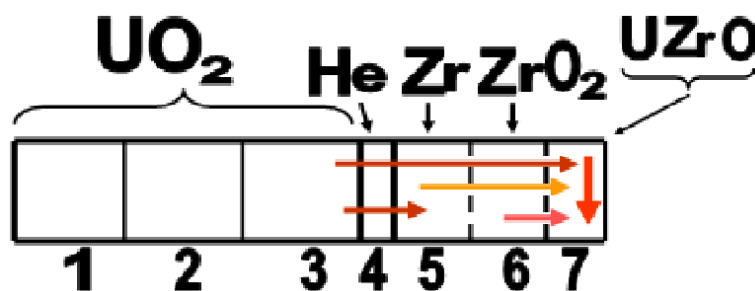


Рисунок 1 – Расчетная схема радиальной ячейки твэла

При решении одномерного уравнения теплопроводности

$$\rho c \frac{\partial T_w}{\partial \tau} = (1/r) \frac{\partial}{\partial r} [\lambda r \frac{\partial T_w(r)}{\partial r}] + q_v$$

используется аппроксимация

$$T_i = A_i \sin(\pi X_i / \Delta r_i) + B_i (X_i / \Delta r_i) + C_i$$

где i – индекс зоны расчетного элемента твэла; A_i , B_i , C_i – коэффициенты, зависящие от времени; X_i – радиальная координата в пределах i -го слоя; Δr_i – толщина i -го слоя.

Для определения коэффициентов A_i , B_i , C_i используется условия равенства температур и тепловых потоков на границах между слоями и равенства тепловых потоков на внутренней и внешней границах. В результате получаем систему из $3N$ уравнений, где N – число радиальных слоев (в данном случае $N=7$)

$$C_{i-1} = C_i + B_i$$

$$\lambda_{i-1} (A_{i-1} \pi / \Delta r_{i-1} + B_{i-1} / \Delta r_{i-1}) = -\lambda_i (A_i \pi / \Delta r_i + B_i / \Delta r_i)$$

$$\lambda dT/dr + Q_s = \dot{a}_N (C_N - B_N - T_T),$$

$$\lambda dT/dr = \dot{a}_0 (T_0 - C_1),$$

где T_T – температура теплоносителя, T_0 – температура в центре твэла, Q_s – тепловой эффект паро-циркониевой реакции, q_{vi} – объемное энерговыделение в каждой ячейке.

Система $3N$ уравнений для коэффициентов A_i , B_i , C_i решается на каждом временном

Режим теплообмена и коэффициент теплоотдачи α_N рассчитывается в рамках расчета замыкающих соотношений.

При расчете каналов активной зоны моделируется распределение паросодержаний, температур, коэффициентов теплопередачи и свойств теплоносителя.

Для бесчехловых кассет для каждой грани шестиугольной аксиальной расчетной ячейки учитывается поперечный расход теплоносителя между смежными ячейками.

При перемещении расплава в случае тяжелой аварии и застывании его в определенных сечениях с образованием блокад для каждой кассеты учитывается влияние перекрытия сечения на расход теплоносителя и на расчет коэффициента теплоотдачи.

На рис.2, 3 приведены расчетные схемы реактора ВВЭР-1200 и активной зоны.

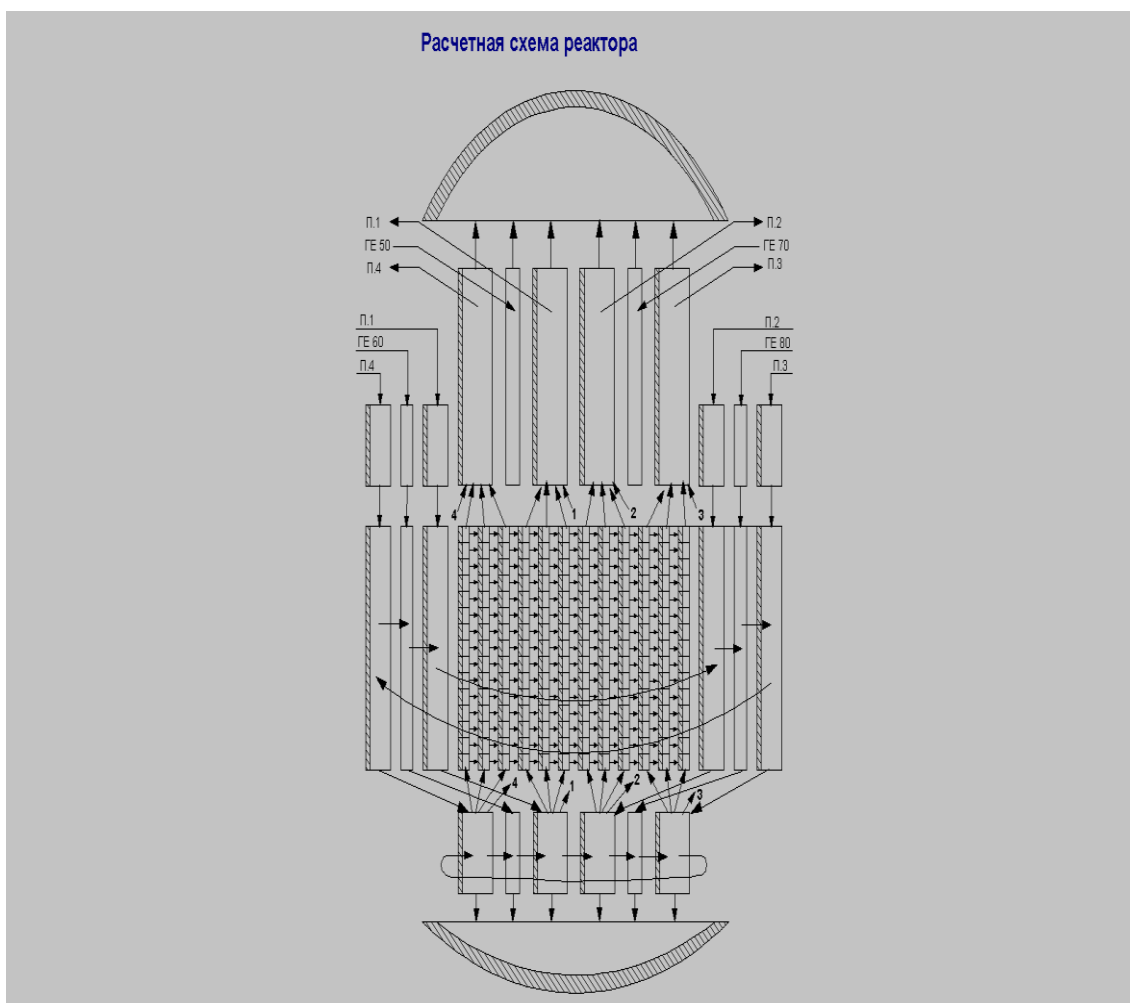


Рисунок 2 – Расчетная схема реактора ВВЭР-1200

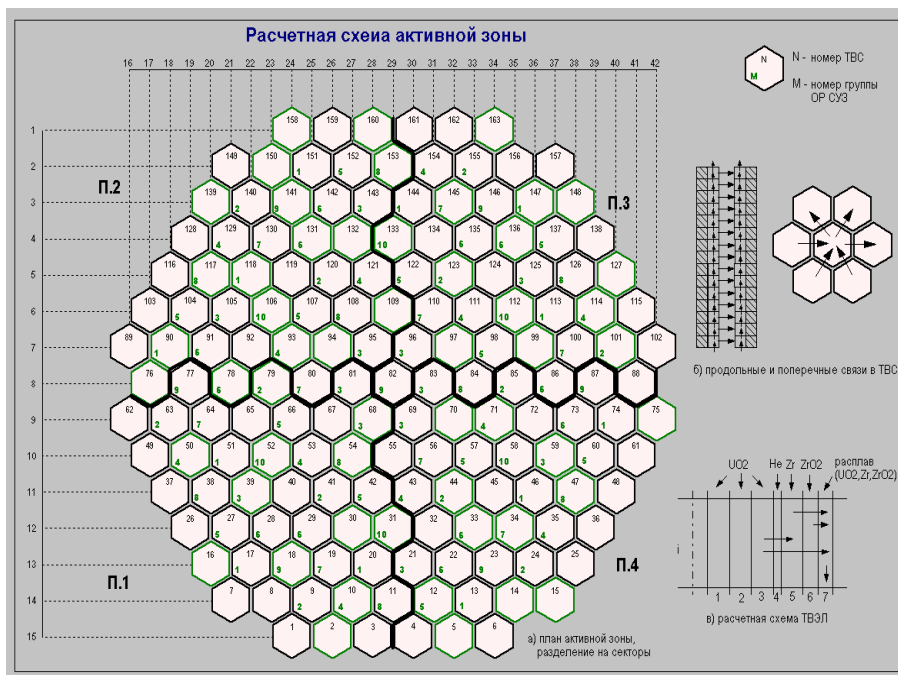


Рисунок 3 – Расчетная схема активной зоны

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

3.3 Структура программы

- s.sabef – модуль контроля, интерфейса и расчета:
 - вызов других модулей и интерфейс с системами CR, TH и CH;
 - расчет распределения объемного энерговыделения во всех тепловыделяющих сборках активной зоны; свойств материалов; геометрии ТВЭлов; образования блокад каналов при затвердевании расплава; паро-циркониевая реакция с выделением водорода и тепла
- s.sasobo - расчет процессов в напорной камере реактора (соскальзывание расплава в напорную камеру и его взаимодействие с внутрикорпусными устройствами и днищем корпуса реактора; нагрев нижней опорной плиты активной зоны, шахты реактора и днища корпуса реактора)
- s.saslum - расчет процессов стекания расплава в узлах и изменения геометрии и состава компонентов в ТВЭлах
- s.satemp - расчет распределения температуры в бассейне кориума на дне реактора и в стенке корпуса реактора, определение времени разрушения корпуса реактора
- s.sagoso - расчет процессов взаимодействия кориума с бетоном (образование и расширение каверны; выделение газов и в частности водорода)
- s.safigr - выход продуктов деления при разгерметизации ТВЭлов
- s.salov – расчет процессов в УЛР (если УЛР имеется)

3.4 Связи с другими программами

Интерфейс между модулями теплогидравлики первого контура (TH, CH, CR) и тяжело-аварийными модулями осуществляется через следующие параметры:

- тепловые потоки от ТВЭЛ к теплоносителю в каналах активной зоны;
- тепловые потоки от фрагментов расплава к пароводяной смеси в нижней камере реактора;
- массовые расходы водорода, образованного при паро-циркониевой реакции на ТВЭлах и на фрагментах расплава в нижней камере;
- потоки радиоактивных продуктов от разгерметизированных ТВЭЛ в каналы активной зоны;
- образование дополнительного места течи из корпуса реактора при его разгерметизации.

Интерфейс между ПК SAM и теплогидравлическими моделями других технологических систем осуществляется через расходы, температуры, давления, паросодержания, концентрации неконденсирующихся газов, концентрации примесей, положения задвижек и регулирующих клапанов, статусы оборудования для всех связей между первым контуром и смежными системами:

- течи из первого контура в контейнмент;
- подвод основной и аварийной питательной воды в парогенераторы;
- отвод пара из парогенераторов в ГПК, БРУА, ПК ПГ;
- сброс среды из ПК КД;
- подвод воды от активной и пассивной частей САОЗ;
- тепловые потоки от корпуса реактора и от поверхности расплава (на внекорпусной стадии аварии).

б/н	12
-----	----

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

4 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

В состав технических средств должен входить IBM-совместимый персональный компьютер (ПЭВМ), включающий в себя:

- процессор с тактовой частотой, ГГц - 1, не менее;
- операционную систему Windows (XP, Vista, 7, 10), UNIX/LINUX
- оперативную память объемом, Мб-512, не менее;

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

5 ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА

Контрольным модулем для системы SA, который включается в загрузочный модуль, является модуль **s.ssabef: load ssabef,20,0**.

Блок-дату **s.bdsa** включить в директорию **sa/bd**

В распределении памяти для системы SA выделяются **global01sa** и **global02sa**.

Система SA не требует задания собственного исходного состояния. Вместе с тем должны быть заданы исходные состояния для систем ТН (параметры в реакторе и активной зоне), СН (параметры в объеме между днищем реактора и УЛР) и CR (исходный массив распределения энерговыделений по кассетам и ячейкам активной зоны - **crxthqv(saknr, saknz)**). Инициализация системы SA происходит при первом ее запуске при условии, что значения **false** имеют следующие сигналы: **sa:incon, sa:start, sa:flag4, sa:begin, sa:beton, sa:dummy**.

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

6 ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

6.1 Сведения о входных данных

Для каждого проекта необходимо в базе данных определить или уточнить представленные ниже данные. Приведенные здесь данные актуальны для проекта с реактором ВВЭР-1200 и с моделированием всех кассет активной зоны с разбиением каждой кассеты на 15 аксиальных ячеек.

6.1.1 Константы

sakpi	/3.14159/ - число π
saksigma	/5.67e-8/- постоянная Стефана-Больцмана
satdt	/0.05/ - шаг расчета
Количественные параметры	
saknr	/163/ - число параллельных каналов (ТВС) в активной зоне
saknz	/15/ - число аксиальных расчетных ячеек в ТВС
sakntvel	/50856/ - общее число ТВЭЛ
sanhead	/10/ - число расчетных слоев по толщине стенки корпуса реактора
sakncomp	/10/ - максимальное число компонентов расплава

6.1.2 Параметры для ТВЭЛ и активной зоны

salcore	/3.73/ - высота тепловыделяющей части активной зоны
saduo2in	/0.0012/ - внутренний диаметр топливной таблетки
saduo2out	/0.0076/ - наружный диаметр топливной таблетки
sadzrin	/0.00773/ - внутренний диаметр оболочки ТВЭЛ
saaclad	0.007109/ = $0.0091 \cdot 3.14159 \cdot 3.73 / 15$ – боковая поверхность одного ТВЭЛ одной ячейки
salradmax	/0.006375/ = $.01275 / 2$ – половина шага между ТВЭлами (максимально возможный радиус ТВЭЛ)
saarmax2	/4.0640625e-5/ = $(.01275 / 2)^2$ - квадрат максимально возможного радиуса ТВЭЛ
saacore	/4.15/ - свободное проходное сечение активной зоны
saafullcore	/7.457/ = $4.15 + 163 \cdot 312 \cdot 3.14159 \cdot 0.0091^2 / 4$ – полное поперечное сечение активной зоны (проходное сечение + сечение всех ТВЭЛ)
samuo2core	/87065./ - масса UO_2 в активной зоне
samuo2	/0.458981/ = $87065. / (3.73 \cdot 312 \cdot 163)$ - масса UO_2 на одном метре одного ТВЭЛ
savfuel	/8.39079755/ = $50856 \cdot 3.73 \cdot 3.14159 / 4 \cdot (0.0076^2 - 0.0012^2)$ – объем UO_2
samzrcore	/22500./ - масса Zr в активной зоне
samzr	/0.118614/ = $22500. / (3.73 \cdot 312 \cdot 163)$ масса Zr на одном метре одного ТВЭЛ
samzro2_1	/3.3513e-04/ - масса пленки ZrO_2 на одном метре одного ТВЭЛ (зона 6)
samzro2_2	/3.35278e-04/ - масса пленки ZrO_2 на одном метре одного ТВЭЛ (зона 7)
samreloc	/0.001/ масса расплавленного материала, перемещаемого из зоны релокации одного ТВЭЛ одной ячейки на одном шаге расчета (для регулирования скорости сползания расплавленного материала по поверхности ТВЭЛ)

б/н	15
-----	----

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

samzres /0.000354199/ - минимальная масса циркония в зонах 5 или 7, при которой возможна паро-циркониевая реакция

samzores /0.00032114/ - минимальная масса ZrO_2 , которая должна оставаться в зоне релокации (зона 7) расчетной ячейки при соскальзывании из этой ячейки расплавленных компонентов

samcrit/0.002/ - минимальная масса расплава в зоне релокации (зона 7) на один ТВЭЛ в одной ячейке для возможности соскальзывания при температуре плавления

satbreak /2100./ - температура выхода расплавленного циркония из оболочки (зона 5) в зону релокации (зона 7)

sannom /3200000000./ - задаваемая номинальная мощность

sakgap /1.0/ - коэффициент для корректировки теплопроводности газового зазора в ТВэле
Параметры для корпуса реактора и внутрикорпусных устройств

salhead /0.1975/ - толщина днища реактора

samgrid1 /3000./ - масса нижней опорной решетки активной зоны

samgrid2 /1000./ - масса перфорированного днища шахты реактора

saalp /15.5/ - поверхность для расчета паро-циркониевой реакции в нижней камере

saafgr1 /15.5/ - поверхность контакта между расплавом и первым барьером

saawgr1 /16.0/ - поверхность контакта между теплоносителем и первым барьером

saafgr2 /22.0/ - поверхность контакта между расплавом и вторым барьером

saawgr2 /15.5/ - поверхность контакта между теплоносителем и вторым барьером

saafwgr2 /22./ - поверхность контакта между расплавом на втором барьере и теплоносителем

satheadcrit /1144./ - максимальная температура на поверхности корпуса реактора, при которой происходит разгерметизация корпуса

satfail /1700.0/ - температура разрушения (проплавления) первого и второго барьеров

saalfcriz /10.0/ - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности корпуса реактора

sahfgr1 /200./ - коэффициент теплоотдачи от активной зоны к первому барьеру

sahfgr2 /800./ - коэффициент теплоотдачи от расплава ко второму барьеру

sareal8/10./ - коэффициент увеличения теплоотдачи от нижнего слоя расплава ко второму барьеру при переходе этого слоя в расплавленное состояние

savwgr1 /14.26/ - объем нижней камеры от нижней отметки внутренней поверхности днища реактора до уровня первого барьера (опорной плиты активной зоны)

savwgr2 /8.5/ - объем нижней камеры от нижней отметки внутренней поверхности днища реактора до уровня середины второго барьера (перфорированного днища шахты реактора)

sahwgr1l /10000./ - коэффициент теплоотдачи от первого барьера к воде

sahwgr2l /10000./ - коэффициент теплоотдачи от второго барьера к воде

sahwgr1vg /10./ - коэффициент теплоотдачи от первого барьера к пару

sahwgr2vg /10./ - коэффициент теплоотдачи от второго барьера к пару

sakoeffh2 /1.0/ - коэффициент для корректировки расхода водорода из активной зоны

saafg2wup /15./ - поверхность теплообмена между верхним слоем кориума на втором барьере и теплоносителем

saafg2wback /1./ - боковая поверхность теплообмена между кориумом на втором барьере и теплоносителем

б/н	16
-----	----

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

sahwgr2l /10000./ - коэффициент теплоотдачи от кориума на втором барьере к воде
 sahwgr2vg /1./ - коэффициент теплоотдачи от кориума на втором барьере к пару
 sahwhe /5000./ коэффициент теплоотдачи от кориума на днище к воде
 sahwhevg /10./ - коэффициент теплоотдачи от кориума на днище к пару
 saafwhe /30./ - поверхность контакта кориума на днище с теплоносителем
 sahfhe /500./ - коэффициент теплопередачи от кориума на днище к днищу
 savdcmin /0.1/ - минимальный объем воды в реакторе, при котором осуществляется переход к двумерной осесимметричной задаче теплопроводности в нижней камере реактора
 saktomelt /10./ - коэффициент увеличения теплообмена между смежными расчетными слоями в двумерной осесимметричной задаче теплопроводности при переходе их в расплавленное состояние
 sambetzhm /8485./ - масса бетона в жертвенном материале УЛР
 sacporist /200.0/ - коэффициент увеличения поверхности контакта расплава с жертвенным материалом в УЛР за счет внутренних проходов и каналов

6.2 Сведения о выходных данных

Выходными данными является корректно функционирующая математическая модель сложного объекта, применимая для целей обучения персонала, тестирования алгоритмов автоматизации и пр.

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение ММ ВВЭР -1000 Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) ГОСТ 19.105–78 ЕСПД. Общие требования к программным документам (Раздел «Аннотация»).

Лист регистрации изменений

[illegible]