

**ГОСУДАРСТВЕННАЯ КОРПОРАЦИЯ ПО АТОМНОЙ ЭНЕРГИИ «РОСАТОМ»
АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР «ДЖЭТ»
(АО «ИТЦ «ДЖЭТ»)**



ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

CMS

Описание ПО

б/н

Номер редакции 1.0

На 16 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

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.

АО «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

СОДЕРЖАНИЕ

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	4
1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ	5
1.1 Назначение программы	5
1.2 Возможности программы	5
1.3 Область применения теплогидравлического кода CMS	5
1.4 Основные характеристики программы	8
1.5 Ограничения, накладываемые на область применения программы	8
2 ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ	9
2.1 Определение задачи	9
2.2 Методы решения задачи	9
2.3 Формирование расчетной схемы теплогидравлической модели	9
3 ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ	10
3.1 Сведения о входных данных	10
3.2 Сведения о выходных данных	10
4 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА	13
4.1 Минимальный состав технических средств	13
4.2 Минимальный состав программных средств	13
5 ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА	14
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	15
Лист регистрации изменений	16

ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

ГОСТ Р	Государственный стандарт Российской Федерации
ПО	Программное обеспечение
ПК	Персональный компьютер
РП	Руководство пользователя
РЭ	Руководство по эксплуатации
ОС	Операционная система
САПФИР	Система Автоматического Проектирования Физических Инженерных Расчетов – интегрированная программная система для создания и проведения различных физических расчетов и их отладки.
СУБД	Система управления базами данных
ESUSDS	англ. executive system of Universal Software Development System (досл. исполнительная система Универсальной Системы Разработки Программного Обеспечения) – интегрированная программная система, которая поддерживает документирование, разработку, выполнение в режиме реального времени и тестирование всего комплекса программного обеспечения тренажера.
P&ID	англ. Piping and instrumentation diagram (досл. Схема трубопроводов и контрольно-измерительных приборов)

1 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ И НАЗНАЧЕНИЕ

1.1 Назначение программы

Теплогидравлический код CMS (Compressible Media Solver), основанный на решении системы фундаментальных уравнений сохранения и замыкающих соотношений, является основной составляющей частью математической модели тренажера атомного энергоблока.

Теплогидравлический код CMS предназначен для численного моделирования динамики теплогидравлических процессов в технологических системах энергоблоков АЭС с ВВЭР, с учетом с учетом интерфейса по теплогидравлическим параметрам между ними, в режимах нормальной эксплуатации, нарушений нормальной эксплуатации и аварийных ситуациях при условии сохранения геометрии моделируемых технологических систем, в том числе активной зоны, реактора и контайнмента.

Отличительной особенностью этого кода является то, что при использовании в качестве основы неомогенной и неравновесной теплогидравлической модели, он позволяет выполнять расчетные анализы для произвольных гидравлических контуров в режиме реального времени.

Кодогенератор спроектирован для уменьшения усилий разработчиков, увеличения производительности и улучшения качества работ по созданию симуляционных задач в режиме реального времени. Он использует мощный графический редактор, который позволяет инженерам моделировать сложные электрические схемы более легко.

1.2 Возможности программы

Теплогидравлический код CMS позволяет моделировать все основные физические процессы и явления, которые могут иметь место во всем спектре режимов нормальной эксплуатации и аварийных режимов, включая запроектные аварии.

1.3 Область применения теплогидравлического кода CMS

Теплогидравлический код CMS позволяет моделировать все основные физические процессы и явления, которые могут иметь место во всем спектре режимов нормальной эксплуатации и аварийных режимов, включая запроектные и тяжелые запроектные аварии. В том числе:

- гидродинамические процессы:
 - естественная и принудительная циркуляция однофазного или двухфазного теплоносителя, включая обратные потоки;
 - изменение концентрации и перенос бора, водорода, радиоактивных продуктов деления, активированных продуктов, неконденсирующихся газов;
 - изменение режима работы насосов: включение, отключение, выбег, кавитация, двухфазное течение, реверс потока, заклинивание ротора и расцепление с электродвигателем;
 - однофазные и двухфазные истечения через предохранительные клапаны и в разрывы трубопроводов;

АО ИТЦ «ДЖЭТ»	Программное обеспечение CMS Описание ПО	Номер редакции 1.0
---------------	--	--------------------

- однонаправленные и противоположные течения газообразных и жидких компонентов парогазовой смеси;
- образование и изменение уровня жидкости в объемах;
- учет режима критического истечения через предохранительные клапаны и разрывы трубопроводов;
- малые течи и большие разрывы трубопроводов, в том числе и с двухсторонним истечением;
- процессы тепло-массообмена:
 - межфазный теплообмен жидкости и газа;
 - теплообмен между теплоносителем (однофазный теплоноситель или паро-газо-жидкостная гомогенная или гетерогенная смесь) и стенками, с учетом влияния азота и других неконденсирующихся газов на теплопередачу и с учетом внутренних источников тепла;
- все режимы теплообмена:
 - излучение,
 - теплопроводность,
 - конвективный теплообмен,
 - режимы конденсации и кипения: в условиях недогретой жидкости, пузырьковый, переходный, в условиях критического теплового потока, пленочный и полное осушение;
 - учет теплового эффекта химических реакций;
 - теплообмен с многослойными стенками;
 - тепловыделение от работающего оборудования и тепловые потери от оборудования и трубопроводов.

Реальные объекты (баки, трубопроводы, тройники, арматура, теплообменники, насосы и др.) моделируются набором стандартных элементов и связей между ними в рамках нодализационных схем произвольной конфигурации. Обеспечивается возможность гибкого построения нодализационных схем для применения теплогидравлической модели при моделировании любых систем энергоблока, содержащих гидравлические контуры и объекты любой конфигурации и геометрии.

Теплогидравлическая модель учитывает все рассматриваемые отказы, и интегрируется с другими математическими моделями (нейтронно-физической, электрической, АСУ). Теплогидравлический код обеспечивает возможность проведения расчетов в реальном времени.

Теплогидравлическая модель содержит достаточное количество расчетных узлов для правильного учета распределенности параметров в сложной системе любой геометрии и правильной передачи информации средствам измерения и контроля.

При использовании теплогидравлической модели применительно к реакторному контуру обеспечиваются следующие положения:

Расчетная схема первого контура включает реактор с активной зоной, главные циркуляционные петли, компенсатор давления, парогенераторы и главные циркуляционные насосы.

Расчетная схема позволяет учитывать эффекты несимметричности петель:

б/н	6
-----	---

- по связанным с петлями компонентами оборудования и их состояния (петля с подсоединенным компенсатором давления и без; петля с подводом/отводом в смежные системы и без; петля с течью и без и т.п.);
- по неадекватности изменения параметров (реверс расхода в одной из петель; поступление в реактор более холодного теплоносителя из одной из петель и т.п.).

Расчетная схема активной зоны позволяет использовать необходимое количество расчетных ячеек, чтобы давать правильное отображение распределения температур и энерговыделений по радиусу и высоте ТВЭЛ и по активной зоне в целом, максимальные температуры топлива и оболочки ТВЭЛ и минимальные запасы до кризиса кипения; учитывать эффекты несимметричности процесса (например, попадание в активную зону «холодного языка» теплоносителя); давать возможность оценить место, время и количество разгерметизированных ТВЭЛ с целью определения граничных условий для оценки выхода радиоактивности.

Расчетная схема нижней и верхней камер смешения позволяет моделировать эффект неполного перемешивания теплоносителя.

Моделируются эффекты нарушения нормальной работы ГЦН: кавитация, двухфазное течение, реверс потока, заклинивание ротора и расцепление с электродвигателем.

Моделируется выделение и перенос водорода при паро-циркониевой реакции.

Моделируется эффект накопления газообразных компонентов в застойных зонах, например, под крышкой реактора.

Учитывается обратная связь с гермообъемом при расчете течей и разрывов.

Модель первого контура полностью интегрируется с моделью активной зоны реактора, системами аварийного охлаждения зоны, моделью защитной оболочки и другими моделируемыми системами.

В парогенераторах со стороны второго контура помимо моделирования основных параметров обеспечиваются:

- вычисление расхода рециркуляции;
- эффект сепарации пара;
- вычисление уровня жидкости;
- полное заполнение (с опрессовкой);
- эффект оголения трубчатки и полное осушение.

При использовании теплогидравлической модели применительно к защитной оболочке удовлетворяются следующие положения:

Нодализационная схема содержит достаточное количество расчетных объемов, чтобы обеспечить все необходимые вычисления температуры, давления, концентрации водорода и радиоактивности.

Моделируется влияние аварии с потерей теплоносителя на температуру и давление в контейменте.

Моделируется эффект работы спринклерных систем, передача тепла конструкциям, изменение параметров в прямках контеймента, контроль и удаление водорода.

Предусмотрена возможность моделирования течи из контеймента (например, повреждение или незакрытие арматуры проходки) при течи из первого контура, чтобы имитировать распространение радиоактивности в окружающей среде. Моделируются эффекты срабатывания предохранительного клапана

Включены источники тепловыделений в контейнменте (например, горячие корпуса и трубопроводы, попадание расплава топлива, горение водорода).

Код CMS позволяет быстро и качественно создавать расчетные схемы, объединять их между собой и проводить отладку, как отдельных технологических систем, так и целых комплексов.

Моделирование динамики насосов включает:

- давление на всасе и напоре насоса;
- расход насоса;
- кавитацию насоса;
- скорость вращения насоса;
- ток электродвигателя насоса.

В математической модели расчета давления и расхода насосы являются общей частью сети, выступая в качестве источника давления (центробежные) или источника расхода (плунжерные насосы). Напор и расход насоса, включая кавитацию, моделируются с учетом характеристик на входе и выходе насоса в гидравлической сети.

Для больших насосов, таких как ГЦН используются более сложные и обширные модели. В связи с этим для таких насосов моделируется передача тепла и жидкости, и эффекты изменения плотности.

1.4 Основные характеристики программы

Программа является исполняемым файлом для ОС Windows и Linux.

1.5 Ограничения, накладываемые на область применения программы

Разработанные модели функционируют только в рамках исполнительной системы ESUSDS.

2 ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ

2.1 Определение задачи

Основная задача, решаемая программой – создание файлов симуляционной модели содержащих:

- 1) Исходный код, описывающий модель на языках FORTRAN, C
- 2) Файлов инициализации массивов входных данных
- 3) Файлов добавления информации о модели и переменных в базу данных исполнительной системы
- 4) Файл сборки исполняемой модели

2.2 Методы решения задачи

Основным методом решения задачи является разработка симуляционной модели в программном комплексе САПФИР с помощью графического редактора. Программный комплекс САПФИР на основе разработанной схемы генерирует файл входных данных для работы кодогенератора.

2.3 Формирование расчетной схемы теплогидравлической модели

Теплогидравлическую модель, на базе которой строится программный комплекс CMS, можно назвать универсальной в том смысле, что сфера ее применимости не ограничивается задачами описания физических процессов в объектах с фиксированной геометрией, а включает в себя спектр тепло гидравлических явлений, существенных для корректного моделирования элементов АЭС в различных режимах их работы. В программе реализована двухскоростная, термодинамически неравновесная модель одномерного пароводяного потока, содержащего неконденсируемые газы. Модель описывает следующие явления, имеющие место в реальных переходных и аварийных режимах на АЭС:

- негомогенность и неравновесность потока ;
- истечение вскипающего теплоносителя через разрывы и предохранительные устройства;
- тепломассообмен через межфазную поверхность;
- перенос борной кислоты и радиоактивных продуктов деления.

3 ВХОДНЫЕ И ВЫХОДНЫЕ ДАННЫЕ

3.1 Сведения о входных данных

Входными данными для кодогенератора является текстовый файл с расширением .def, получаемый автоматически из программного комплекса САПФИР. Для разработки симуляционной модели необходимы следующие исходные данные:

- 1) Топология теплогидравлической системы.
- 2) Паспортные данные для моделируемых оборудования.

3.2 Сведения о выходных данных

Выходными данными являются файлы для сборки исполняемого файла симуляционной модели под управлением исполнительной системы USDS.

Файлы описания объектов расчетной схемы содержат информацию обо всех объектах, нанесенных разработчиком на расчетную схему. Эти файлы не используются непосредственно в ходе вычислений, а требуются на этапе генерации исходных текстов. Файлы имеют расширение .def, каждая CMS-задача моделирующей системы имеет один такой файл. На рисунке 1 представлена расшифровка имени файла описания объектов расчетной схемы.

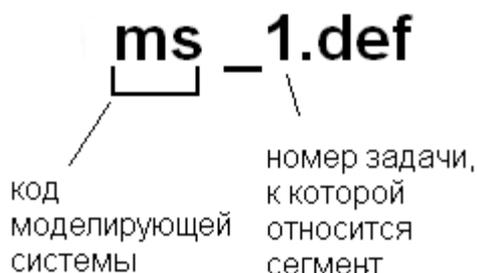


Рисунок 1 – Файл описания объектов расчетной схемы

Файлы объявления переменных служат для объявления переменных в базе данных, имеют окончание dbm. Каждая задача моделирующей системы имеет один такой файл. На рисунке 2 представлена расшифровка имени файла объявления переменных.

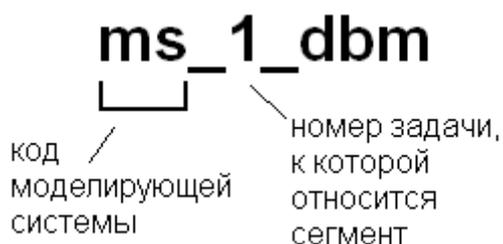


Рисунок 2 – Файл объявления переменных

Файлы объявления сегментов служат для объявления исполняемых сегментов в базе данных, имеют окончание dsd. Каждая задача моделирующей системы имеет один такой файл. На рисунке 3 представлена расшифровка имени файла объявления сегментов.

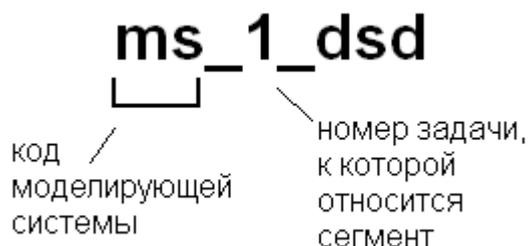


Рисунок 3 – Рисунок 4.2.3 – Файл объявления сегментов

Файлы инициализации переменных делятся на два типа – файлы для инициализации переменных в начальный момент расчета (блок-даты) и файлы, которые используются для реинициализации определенного набора переменных в любой момент выполнения расчета (селект-файлы).

Каждая CMS-задача моделирующей системы имеет два файла блок-дат, имеющих окончания **dat1** и **dat2**. На рисунке 4 представлена расшифровка имени блок-даты.

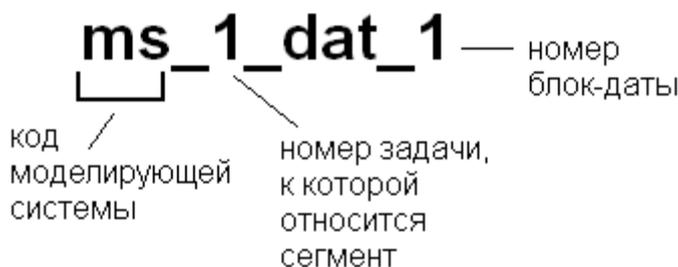


Рисунок 4 – Файл блок-даты

Каждая задача может иметь так же неограниченное число селект-файлов. Селект-файлы создаются и используются разработчиком в ходе создания прототипов математических моделей, служат для хранения информации о величинах переменных, сохраненной в селект-файле в выбранный момент выполнения расчета. Имена селект-файлов могут содержать любой допустимый исполнительной системой набор символов, но крайне желательно начинать их с префикса **sel**. Селект-файлы могут быть получены разработчиком на основании стандартных блок-дат. На рисунке 5 представлена расшифровка имени стандартного селект-файла:



Рисунок 5 – Стандартный селект-файл, полученный из блок-даты

Кроме того, из селект-файла так же может быть получена блок-дата. Пример расшифровки имени такой блок-даты приведен на рисунке 6.



Рисунок 6 – Селект-файл, полученный из блок-даты

Селект-файлы и блок-даты, полученные из селект-файлов, не являются обязательными компонентами CMS-задачи. Прототипы моделей технологических систем могут как содержать такие файлы, так и не содержать, поскольку они создаются или удаляются каждым разработчиком в зависимости от необходимости.

4 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА

4.1 Минимальный состав технических средств

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

- процессор с тактовой частотой не менее 1,2 ГГц;
- операционную систему Windows (XP, Vista, 7, 10) или Linux;
- оперативную память объемом не менее 512 Мб.

4.2 Минимальный состав программных средств

Системные программные средства, используемые программой, должны быть представлены операционной системой Windows (10, 11) или Linux

Также для реализации всех возможностей программы требуются предустановленные компиляторы C, FORTRAN.

5 ВЫЗОВ И ЗАГРУЗКА

Для запуска программы необходимо задать переменные окружения

- S3_HOME – путь для генерации выходных файлов.

- USER – имя системы(две буквы)

Запуск команды можно произвести следующей командой

cmsf.exe –compile ed1.def

где ed1.def – файл входных данных

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

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

