



*Российская Академия Наук*

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

**ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ  
БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ  
АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ**



RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES

**NUCLEAR SAFETY  
INSTITUTE**

Препринт ИБРАЭ № IBRAE-2018-06

Preprint IBRAE-2018-06

**Блохин П. А., Блохин А. И., Ванеев Ю. Е., Сипачев И. В., Кизуб П. А.**

**ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС КОРИДА ДЛЯ  
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК  
ИСТОЧНИКОВ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ  
И СОЗДАВАЕМЫХ ИМИ РАДИАЦИОННЫХ  
ПОЛЕЙ**

Москва  
2018

Moscow  
2018

# Программный комплекс КОРИДА для прогнозирования характеристик источников ионизирующих излучений и создаваемых ими радиационных полей

*П. А. Блохин, А. И. Блохин, Ю. Е. Ванеев, И. В. Сипачев, П. А. Кизуб*

ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ БЕЗОПАСНОГО РАЗВИТИЯ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ  
115191, Москва, ул. Б. Тульская, 52  
тел.: (495) 276-20-00 доб.4-74, эл. почта: [blokhin@ibrae.ac.ru](mailto:blokhin@ibrae.ac.ru)

## Содержание

1. Введение.....	3
2. Назначение и состав ПК КОРИДА .....	4
3. Архитектура комплекса и функции основных компонент .....	6
Системная оболочка.....	6
Препроцессор.....	7
Блок вычислительных модулей.....	11
База данных.....	13
4. Заключение .....	14
Литература.....	14

## 1. Введение

В эпоху становления отечественной атомной промышленности преследовались, прежде всего, цели своевременного ввода объектов в эксплуатацию и отработки новых ядерных технологий. Вопросы определения дальнейшей судьбы этих объектов не рассматривались в силу предполагаемой отдаленности последствий и ограниченности трудовых и временных ресурсов. Как следствие, на заключительных стадиях жизненного цикла (ЗСЖЦ) объектов всё более остро стали проявляться накопившиеся проблемы в сферах радиационной и экологической безопасности. Первые мероприятия по их решению начали проводиться в рамках работ по ядерному наследию [1]. В первую очередь рассматривались задачи, связанные с обеспечением безопасного обращения с РАО и ОЯТ, а также с выводом из эксплуатации (ВЭ) ядерно- и радиационно-опасных объектов (ЯРОО). При существующей тенденции к росту числа задач в сфере ЗСЖЦ актуальны разработки научно-обоснованных подходов к их решению с использованием прогностических программных комплексов.

Обоснование радиационной безопасности ЯРОО предполагает проведение расчётных исследований и оценку дозы облучения персонала, которую он получит в результате выполнения работ, связанных с обращением с радиоактивными материалами. К таким работам относятся, например, комплекс мероприятий, сопровождающих вывод из эксплуатации ЯРОО, включая, полный или частичный демонтаж зданий, конструкций, сооружений, оборудования, контейнеризацию РАО и ОЯТ, их хранение и транспортировку. Проведение расчётных обоснований требует использования специализированных программных средств (ПС), позволяющих прогнозировать изменения радиационной обстановки от изменений в пространстве и во времени характеристик источников ионизирующего излучения и защитных барьеров. Анализ возможностей существующих ПС показал, что все они создавались с ориентацией на решение реакторных задач (расчеты критичности, эффектов реактивности, моделирование кампаний, облучения материалов и др.). Для обоснования радиационной безопасности объектов такие программы, в принципе, могут применяться, но при условии их доработки.

Как следствие, актуальным является создание специализированного программного комплекса (ПК) для решения задач, возникающих в процессе обоснований радиационной безопасности ЯРОО, включая объекты ядерного наследия и пункты хранения РАО и ОЯТ.

Разработки такого ПК начаты в 2017 году и осуществляются в рамках мероприятий федеральной целевой программы «Обеспечение ядерной и радиационной безопасности на 2016 - 2020 годы и на период до 2030 года».

Целью данной работы является описание принятых к разработке решений по архитектуре комплекса, функциям основных модулей и выбору базовых программных средств.

## 2. Назначение и состав ПК КОРИДА

Создание ПК КОРИДА – «Программный Комплекс для Обоснования Радиационной безопасности объектов с Источниками ионизирующих излучений, Дозовый Аспект» - продиктовано спецификой задач в области обоснования радиационной безопасности объектов наследия, связанной с большими неопределенностями в исходных данных и отсутствием апробированных технических решений. В качестве основных направлений, на которые нацелен комплекс можно выделить следующие:

- 1) Определение радиационных характеристик РАО и ОЯТ значимых для задач обоснования долговременной безопасности:
  - характеристика радионуклидных составов ОЯТ и РАО;
  - прогнозирование остаточной радиоактивности, тепловыделения и иных последствий облучения материалов;
  - моделирование измерений содержания ядерно-делящихся материалов в РАО.
- 2) Обоснование радиационной безопасности на этапе эксплуатации при проведении работ с источниками ионизирующих излучений, в том числе, на ЗСЖЦ ЯРОО и при создании пунктов захоронения РАО.
- 3) Обоснование возможности повторного использования облученных материалов.

Ряд задач, входящих в указанные направления, ранее, практически, не рассматривались во взаимосвязи. В качестве примера можно привести проблему определения радионуклидного состава остеклованных РАО, получаемых при переработке ОЯТ на заводе РТ-1 (ФГУП «ПО «Маяк») [2]. Здесь, помимо основной задачи по моделированию нуклидной кинетики, требуется проведение расчетных исследований по целому спектру вопросов: определение содержания радионуклидов, представляющих значимость при оценке долговременной безопасности; оценка радиационных характеристик РАО (энерговыведение, газовыведение, спектры гамма и нейтронных источников и т.д.), расчет радиационных полей при проведении транспортных операций и пр. Этот блок задач необходимо решать в едином программном комплексе, где будут взаимосвязаны библиотеки ядерных данных, программы по расчёту содержания радионуклидов в материалах в процессах нейтронного облучения и радиоактивного распада, программы расчёта характеристик полей ионизирующих излучений.

При рассмотрении возможности повторного использования материалов, содержащих радиоактивные вещества, в первую очередь, перспективными видятся «загрязненные» металлы и бетон, которые будут образовываться в большом количестве при ВЭ ЯРОО. Например, на предприятиях, где планируется засыпка водоемов-хранилищ и котлованов скальными породами (например, объект В-17 ФГУП «ПО «Маяк»), основной объем можно засыпать загрязненным бетоном, который остается после демонтажа зданий, а сверху засыпать чистым гравием. В данном случае с помощью ПК может быть решена задача оптимизации дозовых нагрузок на персонал при выполнении работ по засыпке. Из загрязненных металлов после их частичной очистки и переплавки, можно изготавливать различную продукцию для нужд атомной отрасли, например, контейнеры для захоронения РАО, металлическую арматуру для бетонных плит и др. [3]. Область применения ПК в данном случае – оценка максимального содержания радионуклидов в материале, при котором соблюдаются нормативные требования по радиационной безопасности.

Таким образом, назначение разрабатываемого ПК состоит в получении данных, необходимых для анализа и оценки радиационной безопасности персонала при обращении с радиоактивными материалами, а также при планировании работ на ЯРОО.

С учетом специфики решаемых задач, разрабатываемый ПК должен обладать следующими функциональными возможностями:

- оценка радионуклидного состава ОЯТ и РАО, формирующегося в процессах нейтронного облучения материалов и радиоактивного распада ядер, и определение радиационных характеристик источников ионизирующих излучений;

- моделирование переноса нейтронного и фотонного излучений в произвольной (сколь угодно сложной) трехмерной геометрии без жестких ограничений по времени счета;
- оценка дозы внешнего облучения персонала с учетом сценария проведения работ, изменения характеристик источников ионизирующих излучений и барьеров безопасности;
- ускоренное моделирование переноса излучений как в последовательном, так и в параллельном режимах на многоядерных и многопроцессорных ЭВМ;
- автоматизация процесса создания расчетных моделей путем конвертации файлов из графического представления в форматы моделирующих программ;
- визуализация расчетных моделей, сценариев демонтажа конструкций и удаления РАО, перемещений персонала, результатов расчетов;
- обработка результатов моделирования и представление их в удобном для пользователя виде.

В рамках разработки ПК не стоит задача создания абсолютно нового программного обеспечения, поскольку, как показал предварительный анализ, существуют современные коды в области моделирования переноса ионизирующих излучений, на разработку каждого из которых ушли сотни человеко-лет, и их целесообразно использовать, предусмотрев этап адаптации к включению в состав разрабатываемого программного комплекса. Поэтому, на первом этапе работ был проведен анализ возможностей и доступности существующих программ.

При классификации программ для расчётов характеристик полей излучений выделяют:

- инженерные программы, реализующие различные приближённые подходы к решению задачи (формализм факторов накопления, диффузионные модели и др.);
- прецизионные программы, реализующие метод Монте-Карло (МК-программы) или детерминистские методы решения уравнения переноса на основе «сеточных» алгоритмов (SN-программы).

Инженерные программы имеют существенные ограничения при описании геометрии и материального состава системы «источник-защита-детектор», что приводит к существенным погрешностям вычисляемых величин.

Из современных зарубежных и российских МК-программ, можно выделить следующие разработки: семейство программ MCNP [4-6] (MCNP-4B, MCNP-5, MCNPX), программа Geant4 [7], версии отечественных программ: MCU [8-11] (MCU-RFFI/A, MCU-RR, MCU-PTR, MCU-FR - разработки НИЦ «Курчатовский институт»), BRAND [12] (ГНЦ РФ-ФЭИ), TDMCC [13] (РФЯЦ-ВНИИЭФ), ПРИЗМА [14] (РФЯЦ-ВНИИТФ). Они широко используются для обоснований ядерной и радиационной безопасности объектов ядерной техники. При этом отечественные разработки в достаточной мере доступны, в отличие, например, от последних версий программы MCNP.

В последнее десятилетие значительный прогресс был достигнут в разработках «сеточных» программ (SN-программ), реализующих методы дискретных ординат, конечных элементов, различные нодальные методы. Наиболее развитые программы этого направления: КАСКАД-С [15], КАТРИН [16], РАДУГА [17], ODETTA [18], TORT-DORT [19], DOT-4 [20] и др. В них используются «сеточные» алгоритмы с высокой степенью детализации геометрических структур, что позволяет свести погрешности пространственной дискретизации к сколь угодно малой величине.

Основное преимущество SN-программ перед МК-программами заключается в значительно меньших затратах времени на вычисления (как минимум на порядок), в то время как преимуществом МК-программ является относительно более простой и универсальный способ описания сложных геометрических структур с использованием методов комбинаторной геометрии. Долгое время при использовании МК-программ имелись ограничения, связанные с недостаточной производительностью вычислительной техники. С появлением многоядерных компьютеров и мощных вычислительных кластеров это ограничение практически снято. Точность моделирования с использованием МК-программ, как правило, ограничена неопределенностью констант в файлах оценённых ядерных данных и неопределенностями технологических параметров исследуемых объектов.

При разработке ПК КОРИДА в качестве основного метода моделирования переноса ионизирующего излучения выбран метод Монте-Карло, реализованный в отечественных кодах MCU-FR и TDMCC. Поскольку расчеты по этим кодам могут потребовать существенных затрат компьютерного времени, предполагается включение в состав комплекса «сеточной» программы ODETTA для проведения вариантных расчётов и экспресс-оценок характеристик радиационных полей. При этом программы, основанные на методе Монте-Карло, выступающие в качестве базового средства моделирования, могут быть использованы

для оценки погрешностей расчетов, которые обусловлены приближениями в «сеточном» методе (способ учета анизотропии рассеяния, число расчетных направлений, число энергетических групп).

Для расчета радиационных характеристик источников излучений необходимо иметь информацию о его радионуклидном составе. Для этого применяют программы, моделирующие изменение нуклидного состава в процессе нейтронного облучения и радиоактивного распада ядер (Serpent [21], MONTEBURNS [22], FISPACT-2007 [23], ACDAM-2.0 [24] и др.). Как правило, все эти коды нацелены на получение данных по радионуклидному составу облученного ядерного топлива или конструкционных материалов. С учетом потребности в более широком наборе рассчитываемых функционалов (энерговыведение, газовыведение, характеристики гамма и нейтронных источников, дозы от внешнего и внутреннего облучения, изменение радионуклидного состава при сверхдолгих временах выдержки и т.д.) в рамках создания ПК КОРИДА разрабатывается новый модуль нуклидной кинетики.

При решении некоторых практических задач расчета характеристик полей ионизирующих излучений для оценки дозового воздействия требуется задание точной трехмерной геометрии исследуемого объекта. Отечественные расчетные коды, как правило, не имеют специализированного интерфейса, позволяющего пользователю в интерактивном режиме построить графическую модель объекта и задать её характеристики (координаты, размеры, материальный состав и пр.), обеспечив их передачу расчётному модулю. С учетом требования к разрабатываемому комплексу по расчету сценарных задач (при которых поэтапно изменяются и геометрия модели и характеристики источников излучения) с оценкой интегральной дозы, получаемой персоналом при проведении практических работ на объекте, в состав комплекса должен входить специальный модуль для создания и редактирования трехмерных графических моделей, разработки сценариев проведения работ и автоматизированного преобразования всех задаваемых параметров в формат моделирующей программы. Перечисленным требованиям лишь частично удовлетворяет комплекс ОБОЯН [25], в котором отсутствуют модуль нуклидной кинетики и собственный графический редактор-конвертер.

В итоге, в состав разрабатываемого комплекса КОРИДА должны входить, как минимум, следующие основные расчетные и сервисные средства:

- МК-программа как базовое средство моделирования переноса излучений,
- SN-программа для оперативных вариантных расчетов переноса излучений,
- модуль расчета нуклидной кинетики,
- специализированный графический редактор с функцией конвертера данных,
- средства визуализации результатов расчетов.

### **3. Архитектура комплекса и функции основных компонент**

При разработке ПК КОРИДА выбрана универсальная модульная структура, которая позволяет достаточно гибко расширять функционал комплекса в целом и подключать готовые программы.

Программный комплекс состоит из четырёх основных компонент (блоков), интегрированных в единую системную оболочку:

- препроцессор;
- блок расчетных (процессинговых) модулей;
- постпроцессор;
- база данных.

#### **Системная оболочка**

Назначение – обеспечение функционирования комплекса программных средств.

Функции:

- общее управление функционированием комплекса (установка, подготовка расчётных моделей, счет задачи, обработка результатов);
- обеспечение согласованного взаимодействия всех модулей комплекса друг с другом;
- обеспечение взаимодействия ПК с другими программными комплексами;
- обеспечение удобства освоения и использования комплекса (интуитивно понятный интерфейс).

## Препроцессор

Назначение – подготовка исходных данных (ИД) и формирование расчетных моделей в формате вычислительных модулей.

Функции:

- разработка трехмерной графической модели объекта;
- подготовка данных для задания источников излучения в расчётных моделях;
- конвертация данных из графической модели в форматы данных для вычислительных модулей;
- автоматизированное формирование последовательности расчетных моделей, соответствующей поэтапному изменению геометрии и состава объекта, например, сценарию демонтажа.

Структура

Препроцессор использует информацию, содержащуюся в базе данных (БД) ПК, для трёх составляющих его модулей (рисунок 1):

- NKT - модуль нуклидной кинетики для расчёта составов и характеристик источников излучений;
- PGM - модуль для создания графических моделей объектов;
- CONV - модуль конвертации данных из графических моделей в форматы файлов исходных данных для расчетных модулей.

Ниже приведены краткие описания этих модулей.

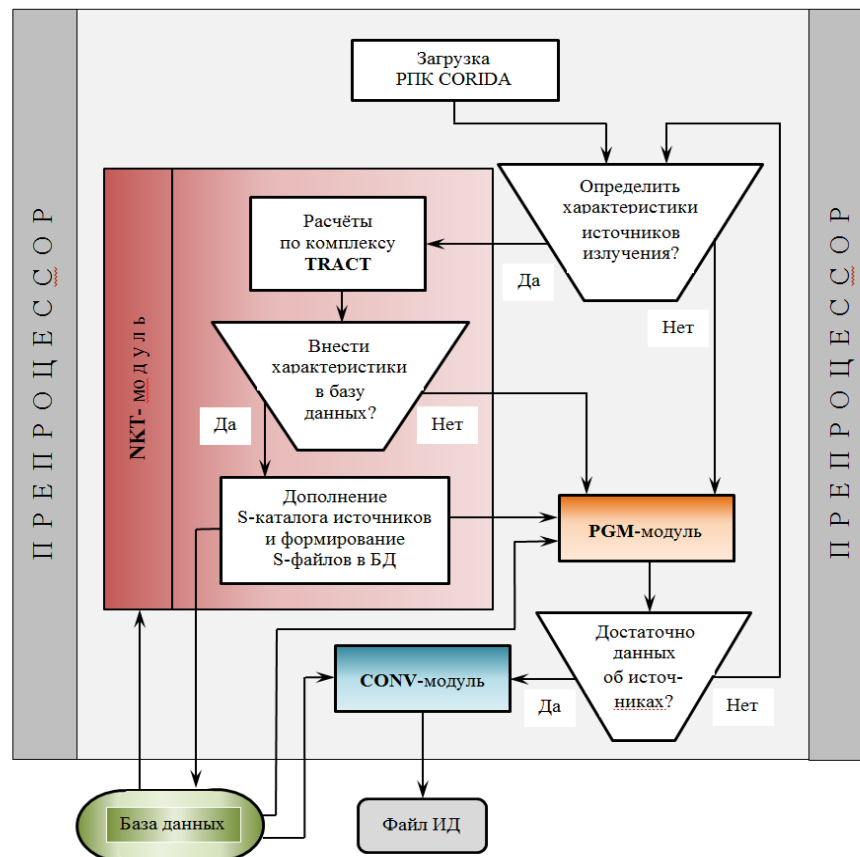


Рис. 1 Структура препроцессора и функциональные связи между модулями

*NKT-модуль*

Программные средства для моделирования нуклидной кинетики разрабатываются в двух версиях: в виде самостоятельного ПК – комплекса TRACT (TRANSmutation & ACTivation) и встроенного в комплекс КОРИДА модуля NKT, использующего комплекс TRACT.

Комплекс TRACT представляет собой набор из трех модулей для:

- обработки входных данных с условиями облучения и выдержки материала, выборки констант из библиотек ядерных данных для этих условий;
- моделирования изменений изотопного состава материала как в процессе облучения, так и при выдержке;
- расчетов различных радиационных характеристик облученных материалов и создаваемых ими источников нейтронного и гамма-излучения.

Порядок вызова модулей и управление потоком входных данных определяется с помощью специальных команд управления заданием. Система команд указывает на порядок вызова функциональных подмодулей и файлов ядерных данных на каждом шаге вычислений. Чтение сценария и его выполнение реализуется интерпретатором задания.

По мере развития комплекса TRACT, набор стандартных структур и функциональных модулей может расширяться и дополняться. При этом структура системы команд и системное наполнение комплекса остаются практически неизменными. В таблице 1 представлен перечень основных программ, входящих в комплекс.

Таблица 1 – Состав комплекса TRACT

Название подпрограммы	Назначение / функции
MAIN	Основная программа, которая читает входной файл-задание и организует вызов и исполнение модулей. Результат работы – формирование выходных файлов с результатами расчетов
Модули для обработки файла-задания	
MASS	Ввод и обработка данных о материале, заданных в виде весовых процентов для каждого элемента
ATOM	Ввод и обработка данных о материале, заданных в виде атомных процентов для каждого элемента
NUCL	Ввод и обработка данных о материале, заданных в виде числа ядер для каждого изотопа
ACTV	Ввод и обработка данных о материале, заданных в виде активности (Бк/г) для каждого изотопа
Модули чтения библиотек ядерных данных и подготовки для заданного нейтронного спектра средних сечений образования дочерних ядер и выходов продуктов деления и их связь с библиотекой распадных данных (Decay Data); модули расчета концентраций радионуклидов на основе решения системы уравнений нуклидной кинетики	
COLL	Расчет однокрупных интегральных сечений по заданному нейтронному спектру из библиотеки нейтронных активационных данных
DECA	Обработка библиотеки распадных данных, представленной в формате endf-6 (для каждого изотопа готовит данные по полному энерговыделению и вычисляет групповой гамма-спектр на заданной энергетической сетке)
DIFF	Решение системы уравнений
Модули для расчета радиационных характеристик	
ACTV	Расчёт интегральной активности для данного набора радионуклидов, а также для каждого изотопа
WHEAT	Расчёт интегрального энерговыделения для данного набора радионуклидов, а также для каждого изотопа
GAS	Расчёт образования водорода, гелия и трития в процессе облучения и охлаждения материала
SOURCE	Расчёт источников нейтронного и гамма-излучения облученного материала
OUTPUT	Формирование файла с результатами работы программы MAIN

Структура кода нуклидной кинетики TRACT представлена на рисунке 2. На данном этапе подготовлены и протестированы следующие элементы комплекса: база ядерно-физических данных, которая будет напрямую использоваться кодом, и модуль расчета энерговыделения.

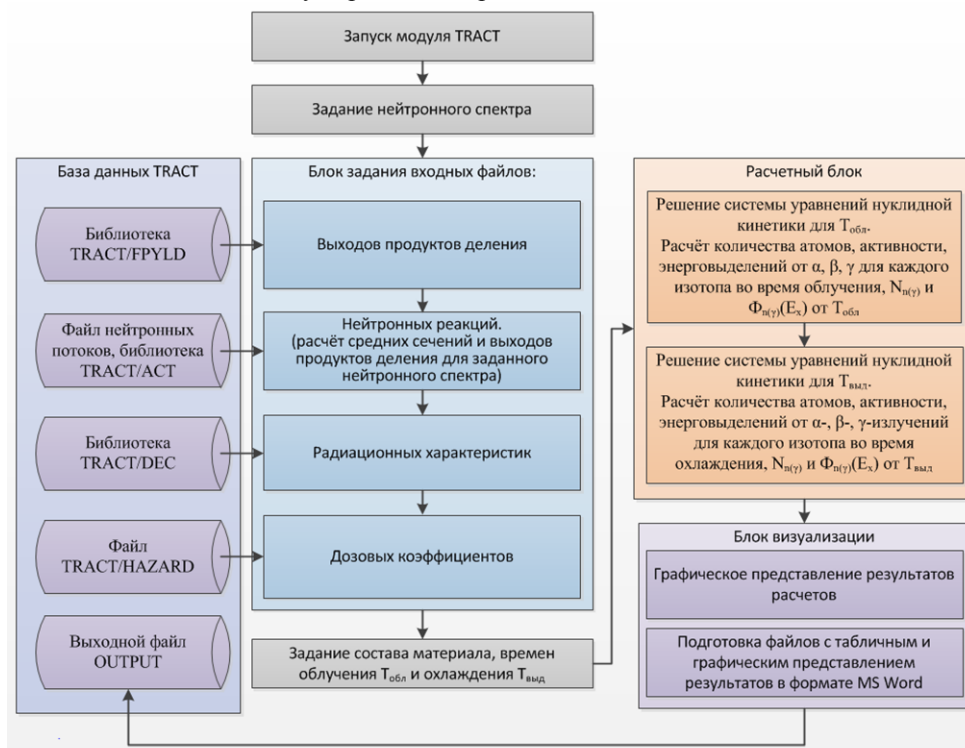


Рис. 2 Структура комплекса TRACT

#### PGM-модуль

После загрузки PGM-модуля (рисунок 3) пользователь или сам создаёт в нём графическую модель объекта или использует модель, уже подготовленную в какой-либо САПР-системе (например, MicroStation [26]) в формате «step». Для этого используется специально разработанный графический редактор со следующими функциями:

- разработка графической модели объекта на базе стандартных геометрических тел - примитивов и булевых операций с ними;
- преобразование графической модели в step-формате в набор примитивов;
- задание дополнительных параметров графической модели;
- формирование выходного файла в форматах «step» и «xml» для использования разработанных моделей другими графическими редакторами, а также в txt-формате для обмена данными между модулями в пределах препроцессора;
- задание параметров сценария демонтажа объекта и формирование последовательности выходных файлов.

Общий алгоритм, заложенный в основу работы графического редактора, представлен в работе [27].



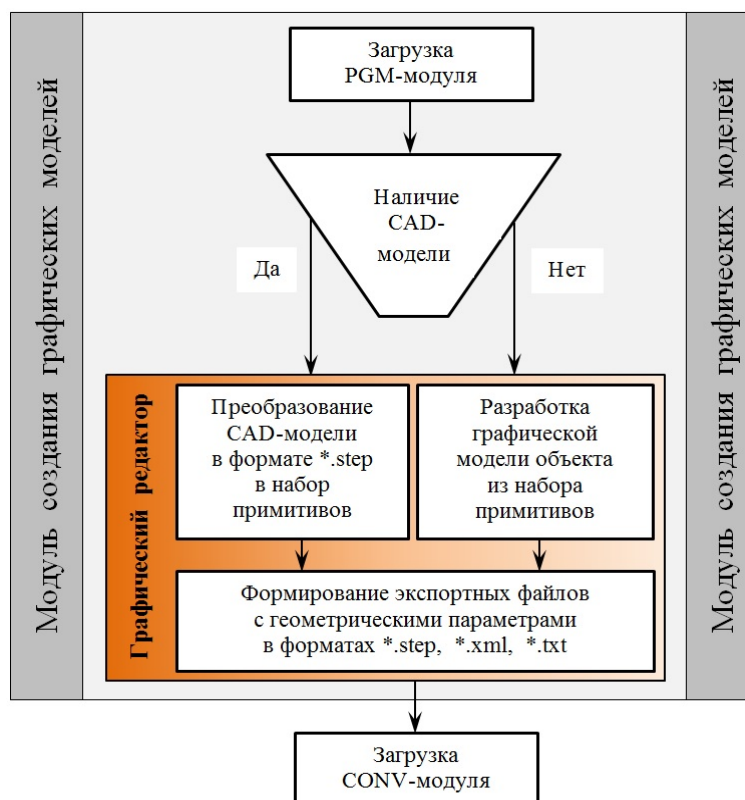


Рис. 3 Структура PGM-модуля

Пользователь может ограничиться созданием одной расчетной модели или сформировать последовательность расчетных моделей в соответствии со сценарием демонтажа объекта.

#### CONV-модуль

На вход CONV-модуля поступает информация, необходимая для создания расчетной модели в формате выбранного пользователем расчетного модуля. Информация от PGM-модуля передается через txt-файл, который обрабатывается несколькими последовательно загружаемыми подмодулями-конвертерами: G, M, S, R (рисунок 4). Они анализируют предназначенные для них данные, по условным ссылкам извлекают из базы данных дополнительную информацию и конвертируют её в соответствующие разделы файла исходных данных:

- подмодуль **G** обрабатывает геометрические данные и формирует раздел «GEOM»;
- подмодуль **M** обрабатывает информацию о материалах, извлекает из базы данных соответствующие нуклидные составы и формирует раздел «MAT»;
- подмодуль **S** обрабатывает информацию об источниках излучения, извлекает из базы данных энергетические и угловые распределения рождающихся частиц и формирует раздел «SOUR»;
- подмодуль **R** обрабатывает данные для управления счетом задачи и регистрации, формируя разделы «RUL» и «REG» соответственно.

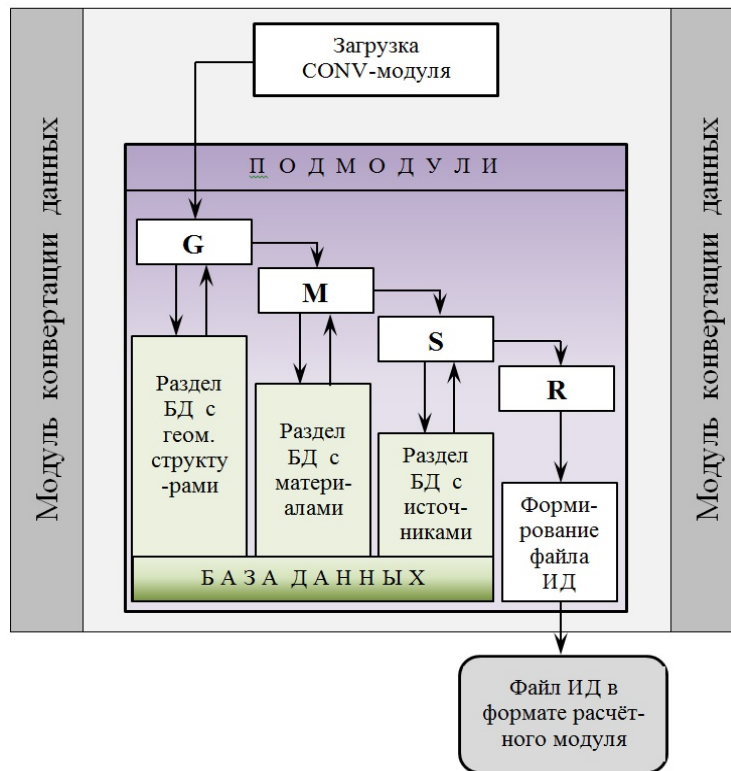


Рис. 4 Структура CONV-модуля

Сформированный таким образом файл исходных данных поступает на вход расчетного модуля, выбранного пользователем.

## Блок вычислительных модулей

Назначение – получение расчетных значений характеристик источников ионизирующего излучения и пространственно-энергетических распределений функционалов плотности потока нейтронов и фотонов.

Функции:

- ввод информации, содержащейся в файлах исходных данных, формирование рабочих массивов констант;
- численное решение уравнений нуклидной кинетики для задач выгорания топлива, активации материалов, трансмутации актинидов; подготовка данных по скорости генерации и энергетическим распределениям (спектрам) излучений;
- численное решение уравнений переноса частиц различными методами (Монте-Карло и  $S_n$ -метод);
- первичная обработка получаемых результатов.

Структура

Данный блок состоит из трех расчетных модулей (рисунок 5):

- МК-модуль, реализующий метод Монте-Карло;
- $S_n$ -модуль, реализующий  $S_n$ -метод;
- НКТ-модуль нуклидной кинетики на основе комплекса TRACT.

Ниже приведены краткие описания этих модулей.

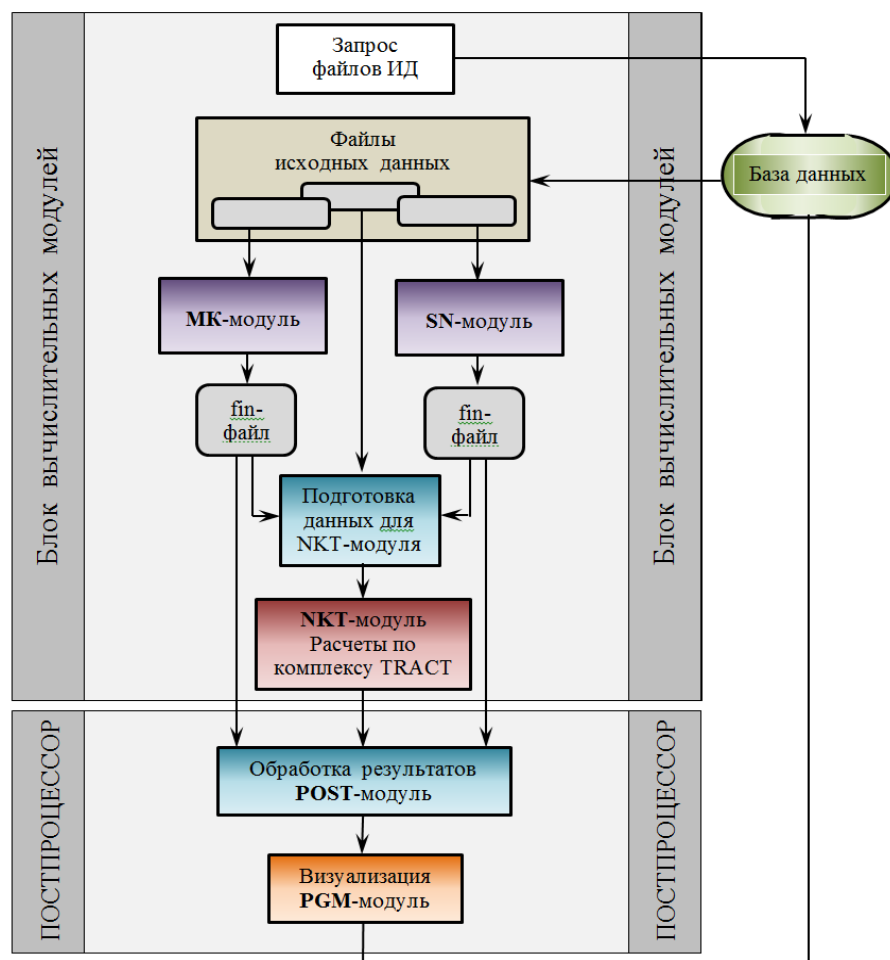


Рис. 5 Структура блока расчетных модулей и постпроцессора

#### МК-модуль

На вход модуля подается файл исходных данных, подготовленный препроцессором или выбранный в базе данных. На начальной стадии обработки этого файла проводится синтаксический анализ данных, осуществляется их преобразование в рабочие массивы констант для расчетной стадии, где происходит численное моделирование методом Монте-Карло переноса ионизирующих частиц с регистрацией заказанных функционалов плотности потока, значения которых заносятся на заключительной стадии в финальный fin-файл.

#### SN-модуль

При использовании SN-модуля в базе данных выбирается соответствующий файл исходных данных, в котором зафиксированы значения всех параметров приближений: порядка разложения индикатрисы рассеяния, числа заданных направлений, числа ячеек пространственной сетки, числа энергетических групп. Далее осуществляется синтаксический анализ данных, формирование рабочих массивов констант, численное решение уравнения переноса и выдача результатов в финальном fin-файле.

#### NKT-модуль

Для решения задач с использованием этого модуля возможна загрузка готового файла ИД из базы данных или загрузка подмодуля подготовки исходных данных для расчета на основе содержащихся в fin-файлах нейтронных спектров и скоростей реакций. Результаты расчетов с использованием комплекса TRACT массива концентраций радионуклидов и их радиационных характеристик заносятся в базу данных.

### *Постпроцессор*

Назначение – обработка и визуализация результатов, получаемых вычислительными модулями.

Функции:

- обработка результатов расчетов;
- визуализация пространственных распределений величин с возможностью их совмещения с изображением графической модели объекта.

Структура

Постпроцессор состоит из двух модулей (см. рисунок 5):

- POST-модуль обработки результатов расчетов, включая подготовку данных к визуализации;
- PGM-модуль, в котором используются графический редактор.

## **База данных**

База данных должна обеспечить выполнение следующих функций:

- структурирование и сохранение информации, накапливаемой в процессе выполнения работ на исследуемых ЯРОО с применением ПК КОРИДА;
- обеспечение прямого доступа к информации из вычислительных модулей ПК;
- взаимодействие информационными, графическими и числовыми массивами между модулями данного ПК и другими вычислительными комплексами;
- подготовка отчетной документации в форматах PDF и/или DOC.

Содержание БД, структура которой приведена на рисунке 6, отражает потребности тех задач, на решение которых нацелен разрабатываемый комплекс. Как правило, эти задачи имеют статус НИОКР, для которых широко используют реляционную модель базы данных.

Разрабатываемая БД содержит два блока:

- объектовые данные;
- справочные данные.

Данные в первом блоке пополняются при исследовании конкретных объектов, информация во втором блоке является общей для большинства объектов.

Блок объектовых данных состоит из следующих разделов:

- данные КИРО;
- проектно-конструкторская документация;
- характеристики источников излучения;
- трехмерные модели объекта и его структурных компонент в виде графических моделей и файлов данных в формате вычислительных модулей;
- регламенты работы на объекте в условиях нормальной эксплуатации (или ВЭ) и аварийных ситуациях;
- файлы исходных данных для моделирования процессов переноса излучения и нуклидной кинетики;
- результаты расчетов в виде финальных файлов из вычислительных модулей и после их post-обработки.

Блок справочных данных включает в себя информацию, которая может понадобиться при подготовке исходных данных для расчетов и анализе полученных результатов:

- библиотеку по характеристикам радионуклидов (период полураспада, тип распада, дочерние ядра и пр.);
- библиотеку по характеристикам ионизирующих излучений, образующихся при распаде ядер (тип, энергия, выход и пр.);
- библиотеку по элементным составам типовых защитных и конструкционных материалов;
- файлы с вспомогательной информацией (изотопный состав природных материалов, коэффициенты перевода поток-доза и др.);
- нормативно-правовые документы.

Информации в этом блоке будет обновляться лишь по мере разработки новых нормативных актов или выхода новых библиотек оцененных ядерных данных.



Рис. 6 Схема организации базы данных РПК КОРИДА

#### 4. Заключение

На данном этапе реализации программного комплекса КОРИДА разработана его архитектура и определен базовый набор расчетных и сервисных модулей. Кинетики. Для обеспечения работы бета-версии модуля нуклидной кинетики сформирована база данных, которая поэтапно будет наполняться протестированными ядерно-физическими константами после моделирования бенчмарк-экспериментов. В составе модуля разработана подпрограмма, позволяющая проводить расчеты энерговыделения в материалах с заданным радионуклидным составом.

В состав расчетного блока также войдут программы, моделирующие перенос нейтронного и фотонного излучений. В качестве базовых выбраны монте-карловские программы TDMCC и MCU, обладающие широкими возможностями по представлению геометрии объектов и заданию характеристик источников. Для проведения оперативных многовариантных расчетов в разрабатываемом комплексе предусмотрена возможность подключения детерминистской программы, реализующей  $S_n$ -метод решения уравнения переноса.

Разработанная бета-версия графического редактора позволяет создавать трёхмерные модели объектов из стандартного набора тел-примитивов. Для использования САПР-моделей в качестве базовой информации по геометрии объекта в графическом редакторе реализованы функции чтения файла-модели в формате STEP, её редактирования и сохранения в том же формате.

Отдельные модули программного комплекса КОРИДА планируется верифицировать и аттестовать, а полноценная его версия планируется к выпуску в 2020 году.

#### Литература

1. Большов Л.А., Лаверов Н.П., Линге И.И. и др. Проблемы ядерного наследия и пути их решения. Тома 1-3. – Москва, Энегпроманалитика, 2012, 2013, 2015 гг.
2. Ремизов М. Б., Козлов П.В. и др. Концептуальные и технические решения по созданию на ПО «Маяк» установок остекловывания текущих и накопленных жидких ВАО // Вопросы радиационной безопасности, № 3 (75), 2014, с. 17-25
3. Блохин П.А., Ванеев Ю.Е., Панченко С.В. Оценка возможности повторного использования металлических радиоактивных отходов в атомной промышленности // Атомная энергия, т. 117, вып.2, с. 81-85.

4. MCNP – A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 4B / by ed. Judith F. Briesmeister: LA-12625-M. – USA, 1997.
5. X-5 Monte Carlo Team, «MCNP - A General Monte Carlo N-Particle Transport Code, Version 5», Los Alamos National Laboratory report LA-UR-03-1987 (April 2003).
6. L. S. Waters, Ed., “MCNPX User’s Manual, Version 2.1.5,” LANL, TPO-E83\_G-UG-X-00001, Rev. 0, 1999; MCNPX 2.1.5 Monte Carlo N-Particle Transport Code System for Multiparticle and High Energy Applications, RSICC Code Package CCC-705.
7. J. Apostolakis, S. Giani, M. Maire, P. Nieminen, M.G.Pia, L. Urban. Geant4 Low Energy Electromagnetic Models For Electrons And Photons. //CERN-OPEN-99-034 (1999), INFN/AE-99/18 (1999).
8. Программа MCU-RFFI/A с библиотекой констант DLC/MCU DAT-1.0. Аттестационный паспорт программного средства № 61, выданный НТЦ ЯРБ ГАН РФ 17.10.96 г.
9. Алексеев А.В., Ванеев Ю.Е., Марихин Н.Ю., Пименов В.В. Использование программы MCU-RR для решения задач сопровождения эксплуатации исследовательских реакторов // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов. 2011. Вып. 4. С. 87-96.
10. Алексеев Н.И., Гомин Е.А., Марин С.В. и др. Программа MCU-PTR для прецизионных расчётов исследовательских реакторов бассейнового и бакового типов // Атомная энергия. 2010, т. 109, вып. 3. С. 123-129.
11. Гуревич М.И., Калугин М.А., Олейник Д.С., Шкаровский Д.А. Характерные особенности MCU-FR // ВАНТ, сер. «Физика ядерных реакторов», 2016, вып. 5, стр. 17-21.
12. Андросенко П. А., Белоусов В. И., Коньков А. В., Царина А. Г. Современный статус комплекса программ BRAND // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Физика ядерных реакторов, 2006, вып. 1, с. 74 — 84.
13. Житник А.К., Рослов В.И., Семенова Т.В. и др. Программа TDMCC (Time Dependent Monte Carlo Code). Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010614412 от 07.07.2010.
14. Кандиев Я.З., Малышкин Г.Н., Модестов Д.Г. и др. Адаптация программы ПРИЗМА к моделированию переноса нейтронов в активной зоне реактора ВВЭР. Доклад на 19-м семинаре «Нейтронно-физические проблемы атомной энергетики. Нейтроника 2008». Обнинск, 2008.
15. Волощенко А.М., Швецов А.В. КАСКАД-С-2.5 - программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения методом дискретных ординат в двумерных геометриях. Инструкция для пользователя. Отчет ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, инв. № 7-26-2004, М., 2004.
16. Волощенко А.М., Крючков В.П.. КАТРИН-2.5 – программа для решения уравнения переноса нейтронов, фотонов и заряженного излучения методом дискретных ординат в трехмерной геометрии. Инструкция для пользователя. Отчет ИПМ им. М. В. Келдыша РАН, инв. № 6-21-2011, М., 2011.
17. Басс Л.П., Гермогенова Т.А., Николаева О.В., Кузнецов В.С. Радуга-5.1 и Радуга-5.1(П) – программы для решения стационарного уравнения переноса в 2-х и 3-х мерных геометриях на одно- и многопроцессорных ЭВМ // Сб. докладов семинара «Нейтроника-2001. Обнинск, 30 октября–2 ноября 2001.
18. Селезнев Е.Ф., Селезнев С.А., Сычугова Е.П., Белоусов В.И. Апробация кода ODETTA на экспериментах по защите реактора. Безопасность, эффективность и экономика атомной энергетики. Десятая международная научно-техническая конференция МНТК-2016. Сб. трудов, Москва, 2016.
19. W.A. Rhoades: The TORT Three-Dimensional Discrete Ordinates Neutron/Photon Transport Code ORNL-6268 (November 1987).
20. Douglas O'Dell and Raymond E. Alcouffe: Transport Calculations for Nuclear Analyses: Theory and Guidelines for Effective Use of Transport Codes LA-10983-MS and UC-32 (September 1987)
21. J. Leppänen, M. Pusa, T. Viitanen, V. Valtavirta, and T. Kaltiaisenaho. "The Serpent Monte Carlo code: Status, development and applications in 2013." Ann. Nucl. Energy, 82 (2015) 142-150
22. D. L. Poston, and H. R. Trellue, “User’s Manual, Version 2.0 for MONTEBURNS Version 1.0,” LA-UR-99-4999 (September 1999).
23. RA Forrest, ‘FISPACT-2001: User manual’, UKAEA FUS 450, 2001. P.P.H. Wilson, D.L. Henderson. ALARA: Analytic and Laplacian Adaptive Radioactivity Analysis. Report UWFDM-1070, 1998.
24. Блохин А.И., Дёмин Н.А., Манохин В.Н., Сипачев И.В., Блохин Д.А., Чернов В.М. Расчётный комплекс АСДАМ-2.0 для исследований ядерных физических свойств материалов в условиях нейтронного облучения // ВАНТ, сер. «Материаловедение и новые материалы», 2015, вып. 3(82), стр. 81-109.
25. Блохин П.А., Ванеев Ю.Е., Ковальчук В.Д., Крючков Д.В., Мевлюс В.В. Программно-технический комплекс обоснования безопасности объектов ядерного наследия. // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2016. – №4. – с. 55-66.
26. Божко А.Н., Жук Д.М., Маничев В.Б. Система автоматизированного проектирования MicroStationV8/XM. МГТУ им. Баумана. М. 2010.
27. Блохин П.А., Ванеев Ю.Е., Сипачёв И.В. Алгоритм автоматизации подготовки исходных данных для программ моделирования переноса ионизирующих излучений / П.А. Блохин, — Препринт / Ин-т проблем безопас. развития атом. энергетики РАН, № ИБРАЕ-2017-07. — М. : ИБРАЭ РАН, 2017. — 11 с.