

Акционерное общество «Государственный научный центр
Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени
А.И. Лейпунского».

**Программа "Ядерный калькулятор ЭГП-6" для
инженерных расчётов радиационных характеристик
ОТВС Билибинской АЭС**

Авторы: Жердев Геннадий Михайлович,
Суворов Альберт Петрович.

Назначение

Программа предназначена для проведения инженерных расчетов характеристик ОТВС с трубчатыми ТВЭЛ-ами уран-графитовых реакторов ЭГП-6, АМБ и АМ

Рассчитывается:

- нуклидный состав;
- массовые характеристики продуктов деления, актинидов и продуктов активации металлоконструкций ТВС и их радиационные характеристики с учетом выгорания топлива и его неравномерности по высоте ТВС и конкретного режима облучения топлива в зависимости от времени выдержки;
- источники нейтронов в зависимости от времени выдержки;
- выход, интенсивность источников и спектров фотонов в топливе выгруженных ОТВС и их изменения в зависимости от времени выдержки;
- остаточное энерговыделение ОТВС в зависимости от времени выдержки.

Рассматривается топливо из U-Mo – сплава с магнием и UO_2 – топливо с магнием. Сырьём для изготовления ТВС является топливо-природный или регенерированный уран. Металлоконструкции ТВС выполнены из нержавеющей стали ОХ18Н9Т.

Допустимые значения времени после прекращения самоподдерживающейся реакции деления до 100 лет, выгорания топлива – до 16 Мвт.сут/кг U.

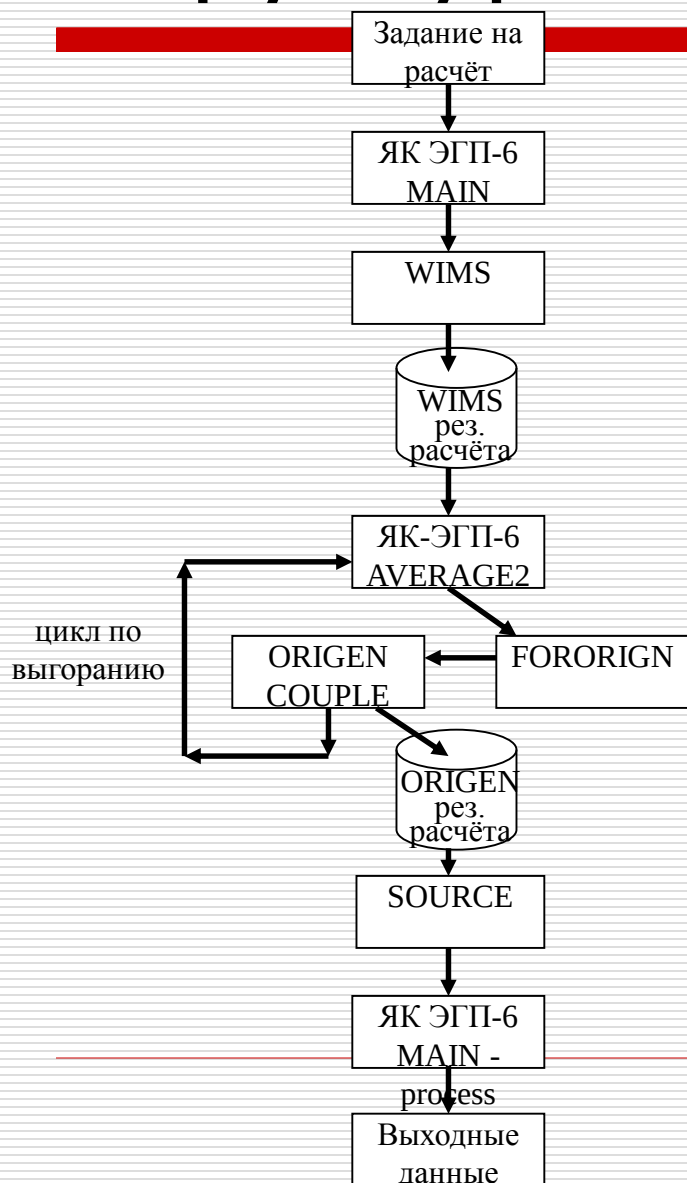
Входные данные

1. Номер ТВС (данные для последующей связи с БД БиАЭС) -
2. Номер вида топлива (1 - уран-молибденовое; 2 - оксидное)
3. Номер блока (номер истории) (от 1 до 4)
4. Дата загрузки в формате XX.YY.ZZZZ
5. Дата выгрузки в формате XX.YY.ZZZZ
6. Дата выдачи данных по активностям в формате XX.YY.ZZZZ.
7. Масса урана в необлучённой ТВС (в граммах)
8. Масса урана-235 в необлучённой ТВС (в граммах)
9. Полная энерговыработка в МВт·сут. всей ТВС

В соответствии с датой загрузки и выгрузки из АЗ, номера блока программа извлекает из архива историй история заданного периода и выжигает ТВС.

Далее по дате окончания облучения (выгрузки) и дате измерения рассчитывается изотопный состав на нулевой мощности

Структура программы



Программа для ЭВМ Ядерный Калькулятор ЭГП-6, представляет собой совокупность программ WIMS-D5B и ORIGEN-S, а также ряда вспомогательных программ, обеспечивающих как подготовку исходных данных для вышеупомянутых программ и их взаимодействие, так и обработку результатов для получения радиационных характеристик. Расчетной программой прецизионного расчёта нуклидного состава комплекса «ЯК ЭГП-6», является программа ORIGEN-S. Управляющая программа комплекса обеспечивает вызовы ORIGEN-S для реализации расчёта изотопной кинетики «по шагам», что необходимо для учёта изменения спектров и нейтронных сечений при выгорании. Программа WIMS-D5B предназначена для снабжения ORIGEN-S блокированными константами

Тип ЭВМ: IBM PC – совместимые компьютеры.

Язык: FORTRAN-90.

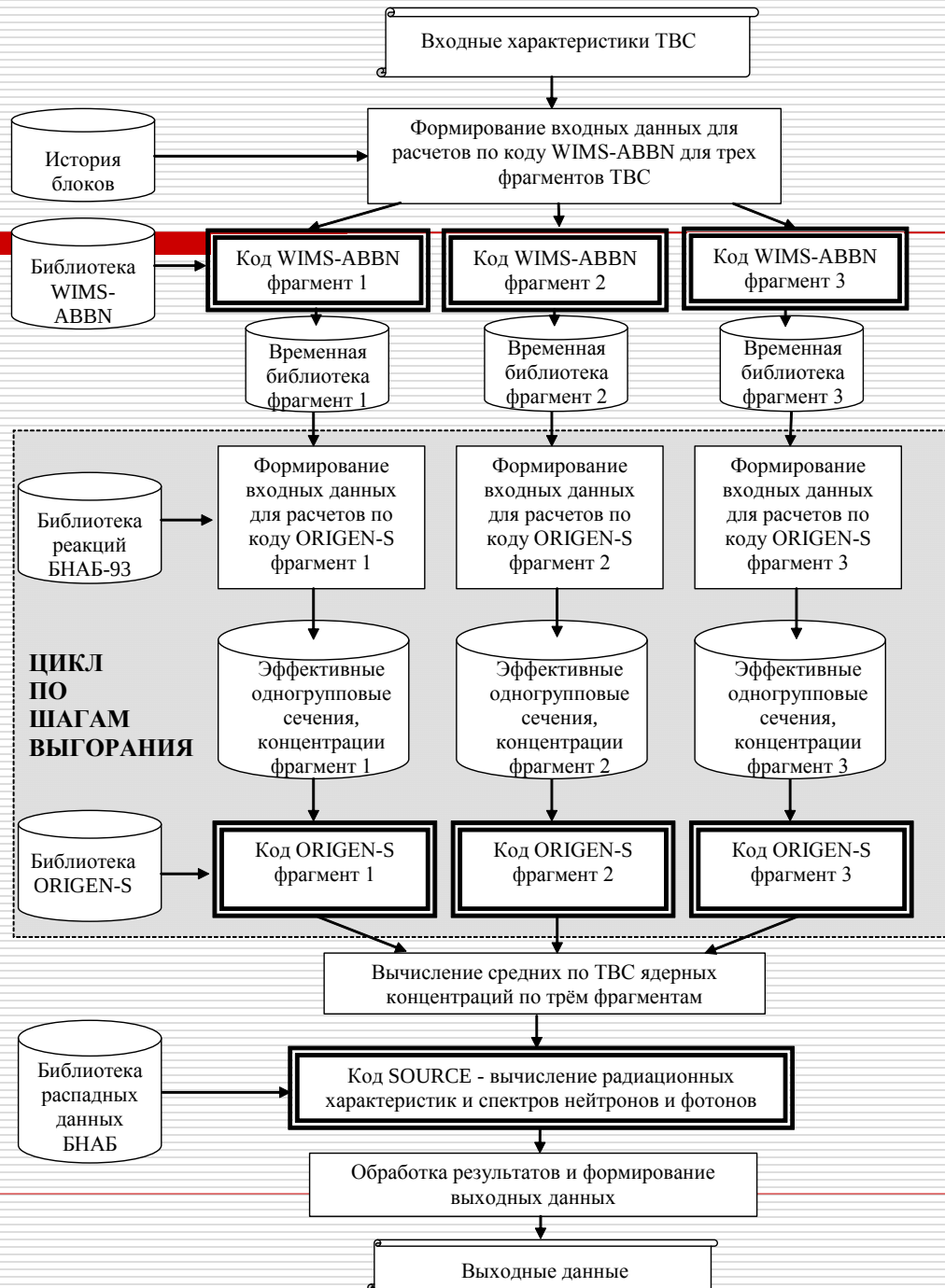
ОС: Windows.

Сведения о методиках расчёта

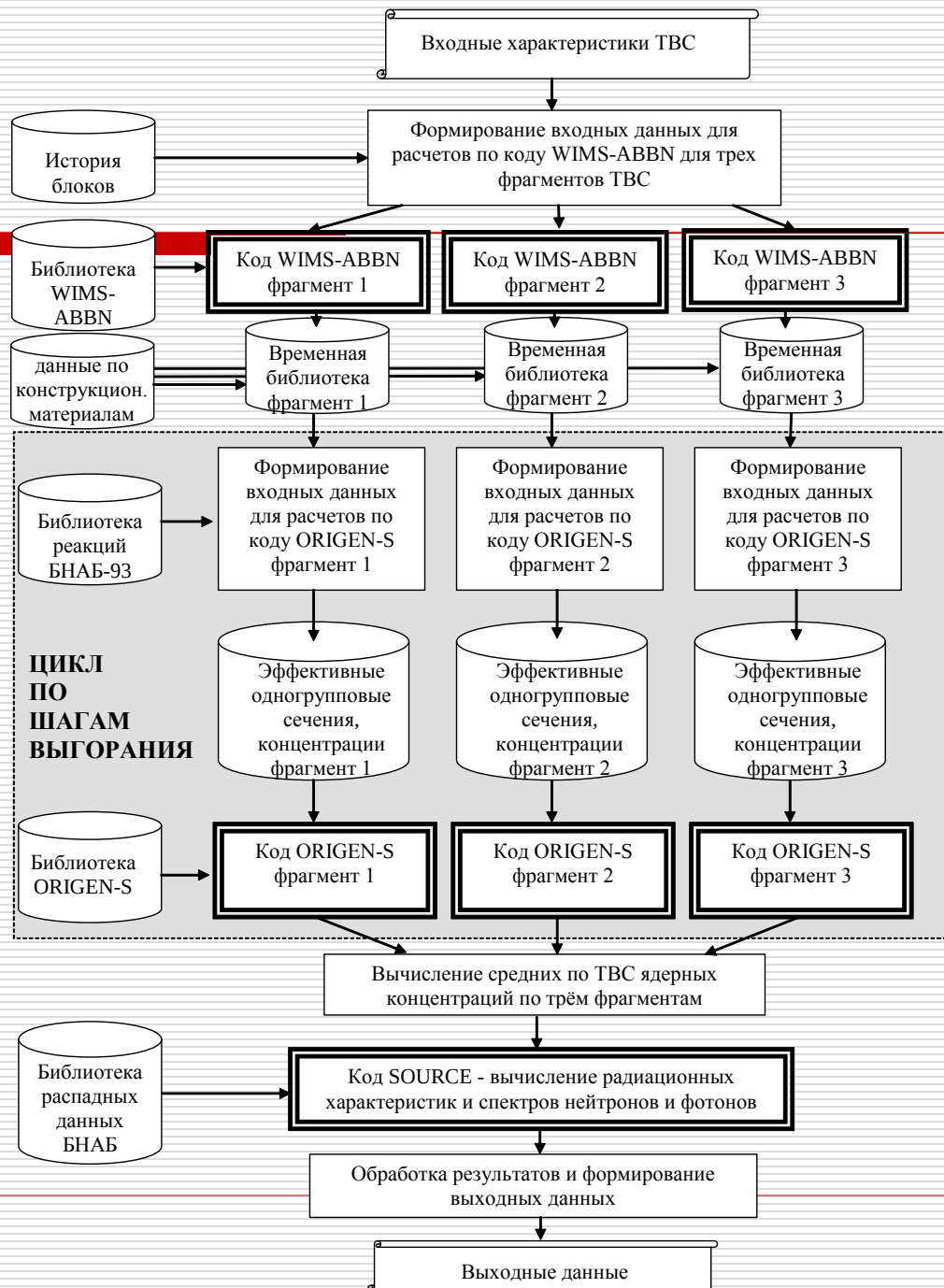
- ❑ В программе для ЭВМ «ЯК ЭГП-6» расчёт выгорания производится в два этапа.
- ❑ На первом этапе вначале методом вероятности первых столкновений, а потом методом дискретных ординат производится стандартный расчёт с выгоранием по программе WIMS-ABBN, являющейся усовершенствованием программы WIMS-D5B.
- ❑ На втором этапе данные, полученные на первом этапе являются исходными для детального расчёта изотопной кинетики по программе ORIGEN-S. Эта программа для расчёта использует матричный экспоненциальный метод.
- ❑ В комплексе реализован метод расчёта изотопной кинетики «по шагам». Это обеспечивает корректный учёт изменения спектров и нейтронных сечений при выгорании.
- ❑ В заключение, рассчитывается источник проникающих излучений и производится обработка данных и вывод информации в согласованном с потребителем формате

Принципиальная
блок-схема кода
«ЯК ЭГП-6» для
расчёта
характеристик
топлива

3 фрагмента
высотного
разбиения



Принципиальная
блок-схема кода
«ЯК ЭГП-6» для
расчёта активации
металлоконструкции
ТВС



Сведения о библиотеках констант

В программе для ЭВМ «ЯК ЭГП-6» используются следующие библиотеки констант:

- Для детального расчета активности используется стандартное константное обеспечение ORIGEN-S;
- В работе программы WIMS-ABBN используется константное обеспечение WIMS/ABBN;
- Для вычисления всех неблокируемых нейтронных констант библиотека реакций MF=9, входящей в систему констант БНАБ-93.2, аттестованная ранее в качестве Рекомендованных Справочных Данных.
- Для расчёта радиационных характеристик ОТВС и спектров нейтронов и фотонов используются данные о радиоактивных распадах радионуклидов из библиотеки ENDF/B-VII.1 и БНАБ-93.

Учет тормозного излучения радионуклидов (от торможения β -частиц и моноэнергетических электронов, образующихся при распаде) проводится в соответствии с рекомендациями публикации S.J.Wyard, Nucleonics, 1955, v.13 №7, p.44.

Сведения об ограничениях и диапазонах параметров

1. Выгорание топлива.

- диапазоны выгорания топлива 12-16 МВт•сут/кг.

2. Выдержка топлива:

Рассматриваются следующие интервалы времени выдержки ОТВС реактора ЭГП-6:

- период времени от 1 до 30-ти суток: для обеспечения анализа радиационной безопасности операций по выгрузке ОТВС из реакторов и их загрузки в БВ;
- период времени от 1-го месяца до 4-х лет, во время которого ОТВС находятся в БВ, заполненных водой;
- период времени от 4-х до 25-ти лет, во время которого ОТВС находятся в осушенных БВ;
- период длительного сухого хранения в сухих БВ или СХОЯТ – 25 - 100 лет.
- задача получения характеристик ОТВС для коротких времён выдержки – менее одного часа – не аттестуется.
- учитываются потребности получения информации по активности и радиационным характеристикам ОТВС в различные промежуточные моменты времени для целей требуемого нормативами НП-030-05 и НП-067-05, периодических инвентаризаций по учёту и контролю ЯМ, РВ и РАО;

3. Тип и обогащение топлива:

- программа для ЭВМ «ЯК ЭГП-6» предназначена для анализа радиационных характеристик ОТВС уран-графитовых реакторов ЭГП-6, АМБ и АМ с одним из двух видов топлива – U-Мо сплава с магнием и UO₂ – топливо с магнием с первоначальным обогащением от 3 до 3,6 %. Сырьё для изготовления топлива - природный или регенерированный уран.

4. Конструкционные материалы:

- металлоконструкции ТВС выполнены из нержавеющей стали ОХ18Н9Т.

Верификация

- Результаты расчётов по программе «ЯК ЭГП-6» верифицировались сопоставлением с расчётами, выполненными по реперной, аттестованной программе «РАДИОНУКЛИД» (Аттестованное средство - РНЦ КИ).
 - Средняя погрешность расчётов активности актиноидов составляет 8%
 - Погрешность расчётов активности продуктов деления 5%
 - Погрешность расчёта остаточного энерговыделения 1.5%
 - Средняя погрешность расчётов источника нейтронов составляет 9%

Валидация

- Измерения радиационных характеристик образцов из ОТВС реактора АМ (с ТВЭЛ-ами, однотипными с ЭГП-6) после выдержки 45 лет – радиохимические и масс-спектрометрические измерения, измерения мощности доз фотонов (алмазными детекторами) и нейтронов, измерения мощности цезиевой линии спектрометром фотонов (проводились лабораторией С.А.Николаева - ФЭИ)
- Измерения радиационных характеристик ОТВС Билибинской АЭС после выдержки 25 суток, 3.75 и 7.77 лет – измерения мощности доз нейтронов и фотонов, измерения мощности цезиевой линии спектрометром фотонов (проводились лабораторией С.А.Николаева ФЭИ)
- Измерения спектров фотонов с энергией более 600 КэВ ОТВС Билибинской АЭС с выдержкой 88 и 665 суток (проводились лабораторией С.А.Николаева ФЭИ)
 - Средняя погрешность расчёта интегральных нейтронных характеристик составляет при выдержке 20 суток – 8%, 4-8 лет – 2-4%, 45 лет – 9%
 - Погрешность расчётов интегральных фотонных характеристик составляет при выдержке 20 суток – до 7%, при выдержке 4-8 лет – 3-12%, при выдержке 45 лет – 18-20%

Заключение

На сегодняшний момент программа представляет из себя рабочий инструмент для инженерных и эксплуатационных расчётов, ориентированный на конечного пользователя – сотрудников ОЯБиН АЭС

Использует простые и понятные входные данные.

Результаты готовит в формате, который требуется заказчику.

Проведена государственная регистрация программы.

Подготовлены материалы для аттестации программы «ЯК ЭГП-6».

Разработаны:

- верификационный отчёт;
- инструкция пользователя;
- предложен проект аттестационного паспорта;
- и все другие, необходимые для аттестации документы.

Документы переданы в НТЦ ЯРБ для аттестации, назначены эксперты

Благодарю за
внимание!