

ПРИЛОЖЕНИЕ

к аттестационному паспорту программного средства № 312 от 9 октября 2012 года

1 Общие сведения

1.1 Название программного средства (далее – ПС)

TRIGEX.05.

1.2 Заявитель ПС

Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского.

1.3 Организация-разработчик ПС

Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского.

1.4 Авторы ПС

А.С. Серегин, Т.С. Кислицына, А.М. Цибуля.

1.5 Сведения о регистрации ПС и его компонентов

Программное средство «TRIGEX.05» – регистрационный № 657 от 03.07.2008.

Модуль подготовки констант CONSYST (версия 0601) с оболочкой PRECONS, и 2 библиотеки ядерных констант БНАБ-93: 28-ми групповая АВВН93g.01a и 299-ти групповая АВВН93m.01a (акт о регистрации № 572 от 11.06.2004).

Программное средство «CARE_03» для расчетов изотопной кинетики нуклидов – регистрационный № 711 от 22.11.2010, аттестационный паспорт № 311 от 09.10.2012.

1.6 Основание для выдачи аттестационного паспорта программного средства:

«Разработка комплекса мер по повышению точности и надежности прогноза и контроля эффективности органов СУЗ, эффектов и запаса реактивности. Верификация комплекса программ TRIGEX.05 для расчетов реактора БН-600». Отчет о научно-исследовательской работе, инв. №12223, ФГУП «ГНЦ РФ – ФЭИ», Обнинск, 2009.

Результаты экспертизы и решение Секции № 1 «Нейтронно-физические расчеты» экспертного Совета по аттестации программных средств при Ростехнадзоре (протокол заседания № 41 от 28 сентября 2011 года).

Решение экспертного Совета по аттестации программных средств (протокол заседания № 59 от 9 октября 2012 года).

Экспертиза и аттестация программного средства проведены в соответствии с требованиями руководящих документов Ростехнадзора РД-03-33-2008 и РД-03-34-2000.

1.7 Эксперты, проводившие экспертизу ПС

И.Ю. Жемков, к.т.н., начальник лаборатории ОАО «ГНЦ НИИАР»;

М.С. Юдкевич, к.ф.-м.н., ведущий научный сотрудник НИЦ «КИ»;

А.И. Попыкин, к.ф.-м.н., начальник лаборатории ФБУ «НТЦ ЯРБ».

2 Назначение и область применения ПС

2.1 Назначение ПС

Программное средство «TRIGEX.05» предназначено для расчета следующих нейтронно-физических характеристик реактора БН-600:

- эффективный коэффициент размножения активной зоны;
- положение компенсирующих стержней, обеспечивающее критическое состояние реактора;
- максимальный запас реактивности;
- эффективность РО СУЗ;
- подкритичность;
- эффекты реактивности;
- распределение энерговыделения;
- максимальная повреждающая доза облучения ТВС;
- параметры запаздывающих нейтронов.

2.2 Область применения ПС по типу объекта использования атомной энергии
Реактор БН-600.

2.3 Область применения ПС по моделируемым режимам

Режимы нормальной эксплуатации и при нарушениях нормальной эксплуатации.

2.4 Область применения ПС по условиям и параметрам расчета

Геометрия ТВС реактора – шестигранная.

Теплоноситель – натрий.

Топливо активной зоны – оксидное урановое;

Топливо в экспериментальных сборках – оксидное урановое и уран-плутониевое топливо (МОКС-топливо).

Топливо боковой и торцевых зон воспроизводства – оксидное урановое.

Материал поглотителей органов СУЗ – естественный карбид бора, обогащенный карбид бора, оксид европия.

Диапазоны значений параметров расчета при применении ПС:

- температура топлива – от 300°K до 2100°K;
- обогащение топлива по урану-235 – не более 30%;
- содержание плутония-239 в МОКС-топливе экспериментальныхборок – не более 30%;
- обогащение по бору-10 в органах СУЗ – не более 80%;
- наработка штатных ТВС – до 592 эффективных суток, периферийных ТВС – до 770 эффективных суток.

2.5 Погрешность, обеспечиваемая ПС в области его применения

Ниже в таблице приведены максимальные отклонения рассчитываемых параметров от значений этих параметров, полученных:

при эксплуатации реактора БН-600;

по другим программным средствам;

на исследовательских установках.

№ п/п	Параметр	Отклонение *
1	$K_{эфф}$, % $\Delta k/k$	0,4
2	Положение компенсирующих стержней, обеспечивающее критическое состояние реактора, мм	30
3	Максимальный запас реактивности, % $\Delta k/k$	0,4
4	Подкритичность реактора, % $\Delta k/k$: при перегрузке после взвода рабочих органов аварийной защиты в рабочее положение	0,4 0,3
5	Эффективность одиночных регулирующих органов СУЗ, %: компенсирующие стержни стержни автоматического регулирования стержни аварийной защиты рабочий орган аварийной защиты, предназначенной для снижения мощности реактора в режиме отключения одной циркуляционной петли	7 8 8 7
6	Суммарная эффективность группы, %: рабочих органов компенсации реактивности рабочих органов автоматического регулирования рабочих органов аварийной защиты рабочих органов компенсации реактивности и автоматического регулирования всей системы рабочих органов СУЗ	7 8 8 7 8
7	Эффективность органов аварийной защиты без одного наиболее эффективного органа, %	8
8	Мощность ТВС, %: активной зоны 1-го ряда бокового экрана боковой зоны воспроизводства ** внутриреакторного хранилища	6 10 10 10
9	Максимальная линейная нагрузка на ТВЭЛ, %: активной зоны 1-го ряда бокового экрана боковой зоны воспроизводства ** внутриреакторного хранилища	6 10 10 10
10	Максимальная повреждающая доза облучения ТВС, %: активной зоны 1-го ряда бокового экрана боковой зоны воспроизводства ** внутриреакторного хранилища	6 10 10 10
11	Суммарный температурно-мощностной эффект реактивности, % $\Delta k/k$	0,3
12	Темп потери реактивности при выгорании, % $\Delta k/k/сутки$	0,001
13	Запаздывающие нейтроны, %: эффективная доля запаздывающих нейтронов 6-ти групповые параметры запаздывающих нейтронов	4 5

(*) – значения получены с учетом поправок, описанных в разделе 3 настоящего аттестационного паспорта;

(**) – кроме 1-го ряда бокового экрана.

3 Сведения о методиках расчета, реализованных в ПС

В основе решения реализованной в ПС дискретной многогрупповой задачи диффузии лежит метод улучшенной крупной сетки. Внутренние итерации выполняются с использованием усовершенствованного метода неявных нестационарных итераций MINI (Method of Implicit Non-Stationary Iteration), а внешние итерации ускоряются по модифицированной схеме Виландта и сдвигом спектра. В ходе итерационного решения прямой задачи проводится уточнение вспомогательных параметров коррекции. Точность расчета с использованием этих параметров имеет тот же порядок, что и точность с применением конечно-разностной сетки с шестью узлами в горизонтальной плоскости на каждую шестигранную призму при втрое меньшем шаге вдоль оси Z.

Уравнения теории возмущений наряду с обычными членами (для конечно-разностных методов) содержат и дополнительные составляющие (члены кривизны), обусловленные использованием улучшенной крупносеточной дискретизации и представляющие собой поправки к обычным членам.

Для решения задачи с внешним источником нейтронов используется алгоритм Г.Я. Румянцева, обеспечивающий возможность быстрой сходимости итерационной процедуры решения.

Для подготовки малогрупповых нейтронно-физических констант используется трехмерный 26-групповой расчет нейтронного поля в той же геометрической модели, для которой проводится основной малогрупповой расчет. Результаты 26-группового расчета используются не только для усреднения сечений, но и для формирования начального распределения потоков нейтронов.

Учет гетерогенной структуры элементарных объемов расчетной модели производится на основе итерационной процедуры подбора гомогенизированных констант. Уравнения изотопной кинетики нуклидов решаются аналитически с применением программного средства «CARE_03», с использованием формулы Бейтмана по методу суммаций. Окончательное значение вычисляемых нейтронно-физических характеристик получаются путём внесения поправок в рассчитываемые по программе величины, значение и обоснование которых приведено в верификационном отчете.

При расчете нейтронно-физических характеристик для установившегося режима перегрузок реактора БН-600 учитывается систематическое расхождение расчетных и экспериментальных величин: эффективности стержней СУЗ, максимального запаса реактивности, подкритичности реактора. Для этого вводятся поправочные коэффициенты – множители для расчетных величин, при использовании которых обеспечивается непревышение погрешностей, указанных в п.2.5 настоящего приложения.

4 Сведения о базах данных (библиотеках констант), используемых в ПС

Неотъемлемой частью ПС является программа подготовки констант CONSYST (версия 0601), в состав которой входит:

базовая бинарная библиотека «ABBN93g.01a», которая содержит 28-групповые константы для 137 стабильных изотопов (константы для

нестабильных изотопов, в особенности с малым периодом полураспада, в библиотеку не включены);

мультигрупповая бинарная библиотека «ABBN93m.01a», которая включает в себя 299-групповые константы для 16 изотопов.

5 Дополнительная информация о ПС

Ниже приведены сведения об области применения ПС, которая не аттестуется:

расчет пространственного распределения и спектра плотности потока нейтронов;

расчет пространственного распределения и спектра ценностей нейтронов;

расчет ценности нейтронов деления;

расчет пространственного распределение флюенса нейтронов и уровней радиационного повреждения конструкционных материалов в процессе выгорания топлива;

поля скоростей реакций деления и захвата нейтронов;

параметры воспроизводства топлива;

выгорание топлива в процессе кампании реактора;

расчет коэффициентов чувствительности эффективного коэффициента размножения и мелко линейных функционалов потока к изменению ядерных концентраций нуклидов и расчет пространственного распределения коэффициентов чувствительности;

время жизни мгновенных нейтронов.

6 Пользователи ПС

Пользователями ПС являются специалисты следующих организаций, являющиеся разработчиками ПС и (или) прошедшие соответствующее обучение по применению ПС:

Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского

Открытое акционерное общество «Концерн Росэнергоатом» филиал «Белоярская атомная станция»;

Открытое Акционерное Общество «Опытное Конструкторское Бюро Машиностроения им. И.И. Африкантова».

Ученый секретарь
экспертного Совета по аттестации
программных средств
при Ростехнадзоре

С.А. Шевченко

Председатель Секции № 1
«Нейтронно-физические расчеты»
экспертного Совета по аттестации
программных средств
при Ростехнадзоре

С.М. Зарицкий