

Федеральная служба  
по экологическому, технологическому и атомному надзору

Федеральное государственное учреждение  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЦЕНТР  
ПО ЯДЕРНОЙ И РАДИАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ  
(НТЦ ЯРБ)

---

МЕТОДИЧЕСКИЙ ДОКУМЕНТ

---

УТВЕРЖДЕН  
Приказ НТЦ ЯРБ  
№\_70\_\_\_от 25.12.2009 г.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭКСПЕРТИЗЕ И ВЕРИФИКАЦИИ  
ПС ПО НАПРАВЛЕНИЮ НЕЙТРОННАЯ ФИЗИКА

ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ  
с 1 февраля 2010 г.

Москва, 2009

Настоящий документ содержит рекомендации по экспертизе и верификации программных средств по направлению «нейтронная физика», применяемых при обосновании безопасности объектов использования атомной энергии. Документ разработан в соответствии с РД-03-33-2008 «Инструкция об организации экспертизы программных средств, применяемых при обосновании и (или) обеспечении безопасности объектов использования атомной энергии» [1] и РД-03-34-2000 «Требования к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании программных средств, применяемых для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии» [2].

Выпускается впервые.

Разработчики МД:

Попыкин А.И., Зарицкий С.М., Уголева И.Р.

## СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	4
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	5
1 Назначение и область применения.....	6
2 Общие положения.....	8
3 Верификация и экспертиза ПС, предназначенных для расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов и гамма-излучения.....	10
4 Верификация и экспертиза ПС-имитаторов работы активной зоны реактора.....	14
5 Верификация и экспертиза нейтронно-физических частей программ совместного нестационарного полномасштабного нейтронно-теплогидравлического расчета режимов нарушения нормальных условий эксплуатации и аварий.....	19
5.1 Общая часть.....	19
5.2 Особенности нейтронно-физических частей ПС нестационарного расчета переходных процессов в РУ в условиях нормальной эксплуатации и для расчетного моделирования измерений.....	18
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	19
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	20
ПРИЛОЖЕНИЕ 2.....	21

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Верификация ПС -	обоснование возможности использования ПС в заявленной области применения и погрешности расчета параметров путем сравнения с экспериментальными данными, расчетными данными, полученными по другим ПС, результатами аналитических тестов, теоретического анализа [2]. Понятие «верификация ПС», употребляемое в настоящем документе, объединяет понятия «верификация ПС» и «валидация ПС», принятые в стандарте [3].
Верификационный отчет -	основной документ, обосновывающий способность ПС моделировать процессы (режимы) ОИАЭ (и/или его элементов) и рассчитывать параметры, необходимые для обоснования безопасности этих процессов (режимов) в заявляемой области применения ПС и с заявляемой погрешностью рассчитываемых параметров [2].
Методическая компонента погрешности расчета	погрешность, связанная с методикой расчета, с используемым приближением, его численной реализацией, подготовкой нейтронно-физических констант.
Программное средство -	программа (код), комплекс программ, библиотека констант, самостоятельный программный модуль или их совокупность; в тексте данного документа «программное средство», «программа», «код» являются синонимами.

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

АС	атомная станция
НД	нормативный документ
ННУЭ	нарушение нормальных условий эксплуатации
НТЦ ЯРБ	Научно-технический центр по ядерной и радиационной безопасности
НУЭ	нормальные условия эксплуатации
ОИАЭ	объект использования атомной энергии
ОР СУЗ	орган регулирования системы управления и защиты
ПС	программное средство
РД	руководящий документ
РОСФОНД	Российская национальная библиотека файлов оцененных нейтронных данных
РУ	реакторная установка
СВРК	система внутриреакторного контроля
ТГ	турбогенератор
ФНП	федеральные нормы и правила

## **1 Назначение и область применения**

1.1 Настоящий документ содержит рекомендации по экспертизе и верификации ПС по направлению «нейтронная физика», применяемых при обосновании и (или) обеспечении безопасности ОИАЭ. Документ разработан на основании анализа опыта аттестации ПС, изложенного в [5].

1.2 Настоящий документ содержит рекомендации по экспертизе и верификации ПС, применяемых в следующих областях нейтронно-физических расчётов:

- расчет пространственно-энергетического распределения нейтронов и гамма-излучения;
- имитация работы активной зоны реактора;
- нестационарный нейтронно-физический расчет, выполняемый самостоятельными модулями динамических ПС:
  - при моделировании аварий и переходных процессов РУ;
  - при моделировании переходных процессов РУ в условиях нормальной эксплуатации.

1.3 Одно и то же ПС может использоваться в различных областях расчёта.

1.4 Терминология, введенная и пояснённая в тексте настоящего документа, рекомендуется для употребления в отчете о верификации и обосновании ПС (далее верификационный отчет) и документах по экспертизе по направлению «нейтронная физика».

1.5 Настоящий документ содержит дополнительные рекомендации по разработке и экспертизе отдельных разделов верификационного отчета (детализирующие требования документа [2]) и приложения к аттестационному паспорту ПС.

1.6 Порядок проведения экспертизы ПС по направлению «нейтронная физика» определяется Регламентом работы экспертного Совета по аттестации ПС при Ростехнадзоре (далее Совета), Регламентом работы секции № 1 Совета и регламентами других секций, если ПС проходит аттестацию по нескольким секциям.

1.7 Экспертиза ПС является многоступенчатой. Результаты экспертизы содержатся в следующих материалах:

- экспертных заключениях отдельных экспертов, назначаемых секцией № 1, и ответах разработчиков верификационного отчёта на замечания экспертов;
- протоколах совещаний экспертов с представителями Заявителя (при необходимости);
- совместных экспертных заключениях нескольких экспертов (как правило, после совещания экспертов);
- протоколах (выписках из протоколов) заседаний секции № 1;
- особых мнениях членов секции № 1.

Материалы экспертизы ПС оформляются в виде отдельного документа и представляются в Совет и Заявителю.

## **2 Общие положения**

2.1 Настоящий документ носит рекомендательный характер и предназначен для:

- подразделений и должностных лиц Ростехнадзора и организаций, входящих в систему Ростехнадзора, занимающихся вопросами, связанными с аттестацией ПС, и/или привлеченных для экспертизы ПС и обосновывающих безопасность ОИАЭ материалов, в которых используются расчеты, выполненные с помощью ПС;
- организаций, разрабатывающих и применяющих подлежащие аттестации ПС для конструирования, изготовления, эксплуатации, обоснования безопасности ОИАЭ (и/или его элементов);
- всех организаций и физических лиц, привлекаемых к экспертизе ПС и обосновывающих безопасность ОИАЭ материалов, в которых используются ПС.

2.2 Верификационный отчет ПС выполняется в соответствии с документом [2] с учетом дополнительных требований по направлению нейтронная физика ([2], раздел 15). Верификационный отчет должен содержать все разделы, предусмотренные этим документом. В случае, если авторы отчета не включают материал по какому-либо разделу, соответствующее пояснение должно быть дано под номером этого раздела.

2.3 Методология верификации ПС – это совокупность средств и методов, используемых при проведении верификации ПС. Эта методология должна быть представлена в разделе 2 верификационного отчета. Изложение методологии должно включать описание способов определения всех параметров, перечисленных в п. 2.6 приложения к аттестационному паспорту ПС. Рекомендуется расположить параметры и способы определения их погрешностей в виде таблицы или группы таблиц в разделе 6 верификационного отчета.

2.4 Погрешности расчёта всех величин, входящих в п. 2.6 приложения к аттестационному паспорту, должны быть определены и обоснованы в разделе 9 верификационного отчета. Определение принятого Заявителем понятия погрешности должно быть дано в этом разделе и приведено также в п. 2.6 приложения к аттестационному паспорту.

В качестве меры погрешности расчета рекомендуется использовать отклонения рассчитываемого параметра от измеренной величины, совокупности измеренных величин, которые подвергаются первичной обработке, величины рассчитанной по другому (аттестованному) ПС. Значение погрешности может являться результатом обработки отклонений рассчитанных величин от сравниваемых в соответствии с определенными Заявителем алгоритмами (например, алгоритмами математической статистики и т.п.) и может характеризоваться принятыми при этом параметрами (например, средним квадратичным отклонением, доверительной вероятностью, доверительным интервалом и т.д.). При определении погрешности следует учитывать погрешность величины, с которой производится сравнение.

2.5 Рекомендуется оценивать методическую и константную компоненты погрешности ПС. Эти компоненты погрешности могут оцениваться как совместно, так и по отдельности.

2.6 Методическую компоненту погрешности, связанную с применяемым приближением при решении уравнения переноса, рекомендуется по возможности определять, используя само верифицируемое ПС, т.е. повышая порядок приближения с использованием согласованного константного обеспечения в приближении более высокого порядка.



2.7 Методическую компоненту погрешности численной реализации решения уравнения переноса рекомендуется определять, используя само верифицируемое ПС (например, путём увеличения числа пространственных точек, энергетических групп).

2.8 Оценка методической и константной компонент погрешности может быть выполнена путём сравнения результатов расчетов с соответствующими результатами, полученными по реперным ПС (см. п. 3.2. настоящего документа).

2.9 При оценке погрешности результатов расчетов путем сравнения с измеряемыми величинами рекомендуется установить соответствие рассчитанных и измеренных величин и использовать расчетное моделирование измерений. В процессе расчетного моделирования должна быть описана связь между непосредственно измеряемыми величинами и производными от них величинами, которые используются для сравнения с результатами расчёта.

2.10 При оценке погрешности путём сравнения расчетных величин с измеряемыми необходимо установить и учитывать погрешность измеряемых величин. Информацию о погрешности измеренных величин и способах ее определения следует привести в разделе 8 верификационного отчета.

2.11 При верификации и экспертизе ПС рекомендуется сопоставить определение и величину погрешности расчёта тех же параметров по ранее аттестованным ПС. Для этой цели следует использовать в качестве официального источника базу данных по аттестационным паспортам НТЦ ЯРБ.

2.12 При использовании статистической обработки для оценки погрешности рекомендуется в разделе 9 верификационного отчета обосновать правомерность статистической обработки и выбор статистического распределения, используя принятые для этого обоснованные подходы (например, в математической статистике).

2.13 При использовании нормального распределения для оценки погрешности рекомендуется приводить доверительную вероятность, доверительный интервал, уровень значимости и другие характеристики.

### **3 Верификация и экспертиза ПС, предназначенных для расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов и гамма-излучения**

3.1 В ПС расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов и гамма-излучения, в основном, реализуется решение линейного уравнения переноса в различных приближениях.

3.2 При верификации и экспертизе этих ПС рекомендуется установить для какого типа расчётов данное ПС предназначено:

- нейтронно-физические расчеты ячейки или фрагмента активной зоны ядерного реактора с целью подготовки малогрупповых констант (сеточных коэффициентов) для ПС-имитаторов реактора и нейтронно-физических модулей ПС динамического расчета;
- нейтронно-физические расчеты фрагмента реактора или реактора в целом с целью разработки расчетных тестов для ПС-имитаторов реактора и ПС нейтронно-физического расчета, являющихся самостоятельными модулями ПС динамического расчета;
- расчеты распределения плотности потока нейтронов во фрагменте ядерного реактора или ядерном реакторе в целом для определения отдельных характеристик, таких, как эффекты и коэффициенты реактивности, эффективность органов регулирования и т.д.;
- расчеты плотности потока нейтронов и гамма-излучения с целью определения тепловых и радиационных характеристик, ослабления излучений в защите, а также флюенса нейтронов, воздействующих на конструкции реактора;
- расчеты плотности потоков нейтронов и гамма-излучения с целью определения радиационных и тепловых характеристик, а также проверки выполнения критериев радиационной и ядерной безопасности хранилищ свежего и отработавшего ядерного топлива и других объектов и средств долговременного хранения, бассейнов выдержки, перегрузочных устройств, средств транспортировки;
- расчеты плотности потоков нейтронов и гамма-излучения в ячейке или фрагменте активной зоны с целью определения изотопного состава ядерного топлива в процессе выгорания при нахождении его в активной зоне и

изменения изотопного состава в процессе ядерных превращений при нахождении его вне активной зоны;

- расчеты других величин, являющихся функционалами решения уравнения переноса.

Указанные выше сведения должны быть приведены в п. 2.1. приложения к аттестационному паспорту ПС.

3.3 ПС для решения однородного или неоднородного линейного уравнения переноса, погрешность которых в области применимости определяется только погрешностью используемых файлов оцененных ядерных данных (без учёта погрешности исходных технологических данных - геометрических размеров, материального состава и т.д.), считаются реперными ПС. При этом файлы оцененных ядерных данных могут использоваться в расчете либо непосредственно, либо в виде библиотек, предусмотренных форматом программы. В качестве файлов оцененных данных в реперных ПС рекомендуется использовать систему РОСФОНД. При использовании данных из различных систем оцененных данных в верификационном отчете должны быть даны соответствующие пояснения.

3.4 ПС, не являющиеся реперными, относятся к инженерным ПС. Инженерные ПС, реализующие решение уравнения переноса, могут иметь собственные библиотеки многогрупповых (или представленных в другом формате) констант, являющиеся неотъемлемыми частями ПС, либо могут использовать проблемно-ориентированные библиотеки констант, существующие в виде отдельно зарегистрированных программных продуктов. Верификация и экспертиза инженерных ПС проводится совместно с упомянутыми библиотеками констант.

3.5 В п.2 верификационного отчета следует указать относится ли верифицируемое ПС к реперным или инженерным.

3.6 Верификация реперных ПС проводится с использованием результатов бенчмарк-экспериментов (экспериментов реперного класса). Кроме того, рекомендуется сравнение с результатами расчетов по аттестованным реперным ПС и зарубежным ПС этого класса, отвечающим стандарту [3].

3.7 При верификации инженерных ПС рекомендуется сравнение результатов расчетов непосредственно с результатами измерений, выполненных на ОИАЭ (с учётом оцененной погрешности этих измерений), сравнение с расчетами по

реперным ПС, сравнение с расчетами по аттестованным инженерным ПС, с теоретическими оценками.

3.8 Определение погрешности, принятое при верификации инженерного ПС, должно быть дано в п.9 верификационного отчета и кратко повторено в п.2.6 приложения к аттестационному паспорту. Наряду с этим рекомендуется указать, как определена методическая компонента погрешности. Информация о ней должна быть приведена в п.6 приложения к аттестационному паспорту.

3.9 При верификации ПС для расчета малогрупповых констант (сеточных коэффициентов) рекомендуется сравнение рассчитанных значений коэффициента размножения (собственного значения линейного уравнения переноса в используемом приближении), пространственно-энергетического распределения плотности потока нейтронов для ячеек или фрагмента реактора, эффектов и коэффициентов реактивности с соответствующими величинами, рассчитанными по реперной программе.

3.10 При верификации ПС, рассчитывающих изотопный состав выгоревшего топлива, рекомендуется использовать опубликованные результаты определения изотопного состава топлива радиохимическими методами.

3.11 Реперные ПС расчета изменения изотопного состава топлива должны базироваться на аттестованной реперной программе расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов и использовать справочные данные для цепочек ядерных превращений.

3.12 Для верификации и экспертизы ПС расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов и гамма-излучения рекомендуется использовать:

- отечественные и зарубежные документированные банки и базы данных оцененных экспериментов, включая использованные при создании систем оцененных ядерных данных и известных кодов;
- оцененные в рамках выполнения международных проектов эксперименты и созданные на их базе расчетные тесты;
- оцененные эксперименты и созданные на их базе расчетные тесты, использованные ранее при разработке верификационных отчетов аттестованных программ;

- опубликованные материалы по оцененным экспериментам и разработанным на их базе тестам;
- Международный справочник оцененных критических эталонных экспериментов по безопасности (International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments);
- банк экспериментальных данных НТЦ ЯРБ;
- эксперименты и подготовленные на их базе тесты, предложенные Заявителем.

Для упомянутых выше материалов в разделе 8 верификационного отчета должны приводиться точные ссылки и подробная аннотация, включающая погрешности экспериментов.

Для тестов, предложенных Заявителем впервые, в том же разделе должно быть приведено подробное описание.

3.13 Для верификации и экспертизы ПС расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов и гамма-излучения рекомендуется использовать:

- отечественные и зарубежные системы расчетных тестов и их расчетные оценки по различным кодам, включая тесты, использованные при создании известных кодов;
- расчетные тесты и их расчетные оценки, разработанные в рамках выполнения международных проектов;
- расчетные тесты и их расчетные оценки, использованные при разработке верификационных отчетов для ранее аттестованных программ;
- опубликованные расчетные тесты и (или) их оценки по различным программам;
- расчетные тесты, разработанные Заявителем специально для настоящей верификации.

Для упомянутых выше материалов в разделе 7 верификационного отчета должны приводиться точные ссылки и подробная аннотация, включающая погрешности расчетов тестов по различным кодам.

Для тестов, предложенных Заявителем впервые, в разделе 7 верификационного отчета должно быть приведено подробное описание теста, допускающее его

независимый расчет и оценку погрешности полученных в результате расчета величин.

#### **4 Верификация и экспертиза ПС-имитаторов работы активной зоны реактора**

4.1 ПС - имитаторы работы активной зоны реактора (далее ПС-имитаторы реактора) предназначены для расчетов параметров РУ (в основном, активной зоны) в процессе выгорания топлива.

Они включают в себя ПС квазистационарного расчета активной зоны реактора и необходимые для этого расчета программы теплогидравлического расчета. Временная зависимость в ПС-имитатор реактора входит через выгорание топлива, которое компенсируется изменением концентрации жидкого (борного) поглотителя в активной зоне, перемещением компенсирующих стержней, выгорающим поглотителем. В этих программах могут учитываться перемещения регулирующих стержней, переходные процессы на ксеноне и накопление шлаков.

4.2 ПС-имитаторы реактора предназначены для обоснования эксплуатационной безопасности в период работы активной зоны с определенной загрузкой, либо для обоснования безопасности на определенный период для реакторов с непрерывной перегрузкой топлива. В результате расчётов по этим ПС должно быть показано, что выполняются ограничения на параметры РУ, предусмотренные ФНП, НД, РД и регламентом безопасной эксплуатации РУ.

Для отдельных параметров, рассчитываемых в процессе эксплуатации, эксплуатационными документами предусмотрены периодические измерения, в том числе постоянный контроль и архивирование распределения энерговыделения, температуры отдельных элементов (компонент) активной зоны, расхода теплоносителя и т.д. средствами внутриреакторного контроля, периодические измерения подкритичности, эффективности аварийной защиты, эффективностей групп и отдельных ОР СУЗ, эффектов и коэффициентов реактивности и других величин. Для периодических измерений могут быть использованы дополнительные средства измерений.

4.3 В качестве программ теплогидравлического расчета для ПС-имитаторов реактора рекомендуется использовать ранее аттестованные теплогидравлические программы.

4.4 Программы, рассчитывающие теплогидравлические параметры, могут являться и неотъемлемыми частями ПС-имитаторов реактора.

4.5 Нейтронно-физический расчет в ПС-имитаторе реактора производится, как правило, в малогрупповом диффузионном приближении либо в других аналогичных приближениях. Для реализации расчета в ПС должна содержаться библиотека малогрупповых диффузионных констант (сеточных коэффициентов) с их зависимостями от учитываемых режимных параметров РУ.

4.6 Библиотека малогрупповых констант может являться неотъемлемой частью ПС, либо отдельным программным продуктом, подготовленным с помощью специального ПС.

Рекомендуется отдельная аттестация ПС подготовки малогрупповых констант в соответствии с рекомендациями п.3 настоящего документа. Информация об этом должна быть приведена в разделе 2 верификационного отчета и п. 4 приложения к аттестационному паспорту ПС.

4.7 Верификация и экспертиза ПС-имитатора реактора проводится совместно с используемыми в данном ПС аттестованными ранее ПС теплогидравлического расчета и библиотеками малогрупповых констант, либо с соответствующими теплогидравлическими ПС и библиотеками малогрупповых констант, являющимися неотъемлемыми частями ПС-имитатора. Информация об этом должна содержаться в п. 1 приложения к аттестационному паспорту ПС.

4.8 Для верификации ПС-имитаторов реактора рекомендуется сравнение результатов расчёта и результатов измерений, выполненных на РУ (с учётом оцененных погрешностей этих измерений), сравнение со специально разработанными расчетными тестами, с расчетами по аналогичным ПС, причем предпочтение должно отдаваться ПС, аттестованным для расчетов данного реактора.

4.9 Для верификации ПС-имитаторов реактора рекомендуется создание баз данных измеренных величин, подготовленных на основании периодических измерений параметров РУ, обработки архивов параметров РУ, измеряемых системой СВРК. Параметры, входящие в базы данных, должны иметь расчетные оценки, полученные, в том числе, расчетным моделированием процесса измерения, и оценки погрешности.

## **5 Верификация и экспертиза нейтронно-физических частей программ совместного нестационарного полномасштабного нейтронно-теплогидравлического расчета режимов нарушения нормальных условий эксплуатации и аварий**

### **5.1 Общая часть**

5.1.1 ПС расчета нестационарных режимов НУЭ, ННУЭ и расчета аварий должны содержать программы совместного нестационарного нейтронно-физического и теплогидравлического расчета. Они должны моделировать работу РУ вплоть до ее останова в результате срабатывания аварийной защиты или по другим причинам. Это позволит снять ряд консервативных предположений при оценке безопасности РУ. Упомянутые ПС могут содержать также (самостоятельные) части, выполняющие расчеты прочности, моделирование работы ТГ, моделирование систем управления, безопасности, технологических параметров РУ и АС, а также моделирование нагрузки электрической сети и т.п.

5.1.2 ПС совместного нестационарного нейтронно-теплогидравлического расчета могут быть организованы в виде единого ПС или могут представлять собой объединение отдельно функционирующих ПС с помощью интерфейсов различных уровней, включая сетевые.

5.1.3 Рекомендуется, чтобы все самостоятельные модули ПС (см. п.5.2) были аттестованы по отдельности. В то же время, составленное из них ПС также должно пройти процедуру аттестации.

5.1.4 Экспертиза ПС совместного нестационарного нейтронно-теплогидравлического расчета может быть проведена в нескольких секциях или в одной секции (№1 или №2) с привлечением экспертов из других секций и (или) с включением необходимых специалистов в состав секции.

5.1.5 В нейтронно-физических частях нестационарных ПС моделирования РУ, как правило, реализуется нестационарное малогрупповое диффузионное приближение с учетом запаздывающих нейтронов и необходимых обратных связей, либо другие аналогичные приближения. Отдельные обратные связи могут входить в математическую модель, реализуемую в ПС, в виде уравнений или других соотношений, другие - в виде зависимости нейтронно-физических констант от соответствующих величин. В последнем случае значения параметров обратных



связей могут быть получены из отдельных модулей объединённого ПС, для которого входными величинами, в свою очередь, являются результаты расчета по нейтронно-физической части ПС (см. п. 5.2).

5.1.6 Для реализации малогруппового диффузионного приближения в нейтронно-физической части ПС может быть использована библиотека малогрупповых констант.

Библиотека может быть неотъемлемой частью ПС совместного нейтронно-теплогидравлического расчета или самостоятельным программным продуктом, в том числе подготовленным по аттестованному ПС, предназначенному для этой цели. Это указывается в п.1 приложения к аттестационному паспорту ПС.

5.1.7 Библиотека констант должна быть дополнена константами запаздывающих нейтронов. Рекомендуется использовать пространственно-распределенные константы запаздывающих нейтронов. Использование единых для активной зоны констант запаздывающих нейтронов должно быть обосновано.

5.1.8 Верификация программы расчета аварийных режимов, режимов нарушения нормальной эксплуатации и переходных процессов включает в себя:

- верификацию используемой в программе стационарной части, которая должна обеспечивать погрешность расчета основных параметров, исходного стационарного состояния не выше погрешностей соответствующих ПС-имитаторов реактора;
- верификацию каждой части комплексного ПС связанного нестационарного нейтронно-физического и теплогидравлического расчета в диапазонах параметров, в которых происходят физические и другие процессы при развитии рассматриваемых режимов, с использованием соответствующих экспериментов, математических тестов, сравнений с другими ПС, в первую очередь аттестованными;
- расчеты специально поставленных экспериментов для полного или частичного моделирования соответствующих аварий, режимов с нарушением условий нормальной эксплуатации и переходных процессов;
- сравнения со специально разработанными расчетными тестами;
- сравнения с результатами расчетов по аналогичным ПС.

5.1.9 В приложении к аттестационному паспорту ПС следует указывать, для расчета каких (групп) аварий, (групп) режимов ННУЭ, переходных процессов предназначено ПС. Их названия должны соответствовать терминологии, принятой в документах, регламентирующих обоснование безопасности ОИАЭ. При необходимости, для разных аварий в п.2.6 Приложения к аттестационному паспорту могут быть указаны для одних и тех же параметров разные погрешности в разных процессах и стадиях процессов. Эти сведения приводятся в п. 2.3. Приложения к аттестационному паспорту.

## **5.2 Особенности нейтронно-физических частей ПС нестационарного расчета переходных процессов в РУ в условиях нормальной эксплуатации и для расчетного моделирования измерений**

5.2.1 Верификацию и экспертизу ПС нестационарного расчета переходных процессов в условиях нормальной эксплуатации рекомендуется осуществлять:

- сравнением результатов расчетов с измерениями на действующих РУ с учётом оцененной погрешности результатов измерений;
- сравнением результатов расчетов с аналогичными результатами, полученными по другим (аттестованным) ПС;
- расчетами специально подготовленных математических тестов.

5.2.2 Для определения погрешности измеряемых величин рекомендуется расчетное моделирование измерений.

5.2.3 При постановке задачи о моделировании измерений необходимо установить связь между рассчитываемой величиной, измеряемой величиной и величиной, получаемой в результате расчетного моделирования измерения.

5.2.4 Величины, получаемые в результате расчета и в результате расчетного моделирования измерения, рекомендуется получать по одной и той же программе или по программам с одинаковым константным обеспечением.

5.2.5 В ПС совместного нейтронно-теплогидравлического расчета, предназначенном для этих целей, должна быть предусмотрена возможность моделирования необходимых систем РУ и измерительной аппаратуры, включая эффективность регистрации, запаздывание сигнала, изменение свойств датчиков в процессе работы РУ и т.д.

5.2.6 В ПС совместного нейтронно-теплогидравлического расчета, предназначенном для расчетного моделирования измерений, необходимо предусмотреть возможность нормировки рассчитываемых параметров на результаты измерений моделируемого процесса и использование другой апостериорной информации.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Инструкция об организации экспертизы программных средств, применяемых при обосновании и (или) обеспечении безопасности объектов использования атомной энергии, РД-03-33-2008.
- 2 Требования к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании программных средств, применяемых для обоснования безопасности объектов использования атомной энергии, РД-03-34-2000.
- 3 American National Standard. Guidelines for the Verification and Validation of Scientific and Engineering Computer Programs for the Nuclear Industry, ANSI/ANS-10.4-1987.
- 4 International Handbook of Evaluated Criticality Safety Benchmark Experiments. NEA/NSC/DOC (95), 03 September 2003 Edition.
- 5 Зарицкий С.М, Попыкин А. И., Шевченко Р.А., Шевченко С.А. Анализ и обобщение опыта верификации и аттестации ПС по направлению нейтронная физика. Отчет НТЦ ЯРБ, ДНП № 05-16/2008, 2008 г.

(справочное)

Оглавление верификационного отчета (согласно документу [2])

- А) (1) Введение
- Б) (2) Назначение и область применения ПС
- В) (3) Описание ПС
- Г) (4) Описание расчетных схем и геометрических моделей
- Д) (5) Обоснование расчетной методики
- Е) (6) Матрица верификации
- Ж) (7) Описание расчетных и аналитических тестов
- И) (8) Описание экспериментальных установок и  
представление экспериментальных данных
- К) (9) Результаты верификации и обоснования
- Л) (10) Заключение (Проект аттестационного паспорта)
- М) (11) Перечень источников

(справочное)

Форма приложения к аттестационному паспорту ПС  
(согласно документу [1])

### **ПРИЛОЖЕНИЕ К ПРОЕКТУ АТТЕСТАЦИОННОГО ПАСПОРТА ПС**

- 1       Перечень регистрируемых программных модулей, их регистрационные номера.
- 2       Назначение и область применения ПС.
  - 2.1     Назначение.
  - 2.2     Тип объекта использования атомной энергии.
  - 2.3     Режимы.
  - 2.4     Ограничения на применение.
  - 2.5     Допустимые значения параметров.
  - 2.6     Погрешность, обеспечиваемая в области допустимых значений параметров.
- 3       Сведения о методиках расчета, используемых в ПС.
- 4       Сведения о базах данных (библиотеках констант), используемых в ПС.
- 5       Перечень организаций, эксплуатирующих ПС.
- 6       Дополнительная информация.
- 7       Особые условия.
- 8       Официальные эксперты (ФИО, место работы, занимаемая должность).

Председатель экспертного Совета

М.П.

Председатель секции №\_ экспертного Совета

