

**Федеральный надзор России
по ядерной и радиационной безопасности
(Госатомнадзор России)**

РУКОВОДЯЩИЕ ДОКУМЕНТЫ

ТРЕБОВАНИЯ
к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании
программных средств,
применяемых для обоснования безопасности
объектов использования атомной энергии

УТВЕРЖДЕНЫ
приказом начальника
Госатомнадзора России
от « 28 » декабря 2000 г № 122

Введены в действие
с 29 декабря 2000 г

РД - 03 - 34 - 2000

СОДЕРЖАНИЕ

I.	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ-----	3
II	ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОСТАВУ И СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЕТА О ВЕРИФИКАЦИИ ПС-----	4
III.	ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К СОДЕРЖАНИЮ ОТЧЕТА О ВЕРИФИКАЦИИ ПС-----	8
IV	ТРЕБОВАНИЯ К ОПИСАНИЮ И ПРЕДСТАВЛЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ВЕРИФИКАЦИИ ПС, РЕАЛИЗУЮЩИХ РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДИКИ, УСТАНОВЛЕННЫЕ НОРМАТИВНЫМИ ДОКУМЕНТАМИ -----	14
Приложение 1. Термины и определения -----		15
Приложение 2. Примерная структура матрицы верификации ПС, моделирующего теплофизические процессы в контурах реакторной установки. -----		17
Приложение 3. Примерная структура матрицы верификации ПС для расчета напряженно-деформированного состояния и анализа прочности элементов активных зон, оборудования и трубопро- водов ОИАЭ -----		18
Приложение 4. Примерная структура матрицы верификации ПС, пред- назначенного для расчёта напряжённо-деформированного состояния строительных конструкций ОИАЭ-----		19
Приложение 5. Форма проекта аттестационного паспорта ПС -----		20

I. Общие положения

1 Настоящий документ разработан в развитие руководящего документа Госатомнадзора России - Положения об аттестации программных средств, применяемых при обосновании или обеспечении безопасности объектов использования атомной энергии

2 Настоящий документ содержит требования к составу и содержанию отчета о верификации и обосновании программных средств (ПС), применяемых при обосновании безопасности объектов использования атомной энергии (ОИАЭ) по направлениям

- нейтронно-физические расчеты,
- расчеты теплопередачи и гидродинамики Стационарные и динамические связанные расчеты нейтронно-физических, гидродинамических, термодинамических и термомеханических характеристик, моделирование аварийных и нестационарных процессов,
- расчеты радиационной защиты и радиационной безопасности ОИАЭ (миграция радиоактивных веществ в технологических средах и их прохождение через локализирующие барьеры, оценка источника выброса или сброса радиоактивных веществ, их распространения в зданиях, сооружениях и окружающей среде, оценка доз облучения персонала и населения),
- расчеты напряженно- деформированного состояния и анализ прочности элементов активных зон, оборудования и трубопроводов ОИАЭ,
- расчеты строительных конструкций ОИАЭ,
- расчетное моделирование физико-химических процессов, влияющих на ядерную и радиационную безопасность ОИАЭ, в том числе расчеты, устанавливающие условия и параметры ядерной безопасности для конкретного оборудования, технологического процесса, пункта хранения

3 Отчет о верификации и обосновании ПС, применяемых при обосновании безопасности ОИАЭ (далее - отчет о верификации) разрабатывается Разработчиком и/или Заявителем ПС и представляется в Совет по аттестации ПС при Госатомнадзоре России в комплекте документов, обосновывающих заявление на аттестацию ПС

4 Отчет о верификации является основным документом, обосновывающим 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

5 Изложенные в настоящем документе требования предназначены для

- подразделений и должностных лиц Госатомнадзора России и организаций, входящих в систему Госатомнадзора России, 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

6 Оформление отчета о верификации должно соответствовать общим требованиям к отчетам о научно - исследовательской работе, нормирующим порядок обработки и использования результатов исследований

7 Состав и содержание отчета о верификации должны соответствовать требованиям настоящего документа. Отступления от этих требований должны быть обоснованы разработчиком отчета о верификации. Отсутствие или недостаточность обоснования отступлений могут послужить основанием для возврата (непринятия) заявления на аттестацию ПС или увеличения срока экспертизы ПС

8 Разработчик отчета о верификации вправе включать в него информацию, не отраженную в требованиях настоящего документа, но являющуюся, по его мнению, важной для обоснования ПС

9 Состав и содержание отчета о верификации зарубежного ПС, применяемого для обоснования безопасности ОИАЭ, подпадающего под сферу регулирующей деятельности Госатомнадзора России, должны соответствовать требованиям настоящего документа. В отчете о верификации, помимо информации о верификации ПС за рубежом, должно быть представлено обоснование применимости ПС для отечественных ОИАЭ

10 Используемые в настоящем документе термины и их определения приведены в приложении 1

II. Общие требования к составу и содержанию отчета о верификации ПС

11 Отчет о верификации должен содержать разделы, названия которых должны соответствовать названиям, указанным в нижеследующих подпунктах данного пункта. В подпунктах данного пункта изложены требования к содержанию соответствующих разделов отчета о верификации

- А) в разделе "Введение" должны быть приведены
- точное название ПС,
 - перечень его самостоятельных модулей,
 - авторы ПС,
 - полное наименование организации - Разработчика ПС и организации - Заявителя ПС. В том случае, если Разработчиком и/или Заявителем ПС является физическое лицо, должны быть указаны его паспортные данные (либо данные заменяющего паспорт документа),
 - перечень отечественных организаций, использующих (применяющих) ПС,
 - сведения об операционной системе, языке (языках) программирования, характерных временах счета, а также требования к электронным вычислительным машинам, на которых возможно выполнение расчетов с применением ПС,
 - названия и номера документов, подтверждающих депонирование "замороженной" версии ПС и его самостоятельных модулей в Центре по организации экспертизы ПС,
 - информация об истории развития ПС, его предыдущие версии и аналоги, имеющийся опыт его эксплуатации, в том числе по использованию ПС в расчетах по обоснованию безопасности ОИАЭ (и/или его элемента), с соответствующими ссылками на литературные источники и документы

Б) в разделе "Назначение и область применения ПС" должна быть приведена информация о назначении и области применения ПС, для которой ПС заявляется к аттестации, а именно

- типы ОИАЭ (и/или его элемента), для которого может быть использовано ПС, определены режимы и технологические процессы и/или состояния ОИАЭ (и/или его элемента) и/или виды воздействия на объект, которые ПС моделирует, а также ограничения по применению ПС,

- предназначено ли ПС для проектных или эксплуатационных расчетов, и/или служит для обоснования безопасности ОИАЭ в документах, представляемых в Госатомнадзор России в рамках процедуры лицензирования ОИАЭ (далее лицензионные расчеты в обоснование безопасности ОИАЭ),

- относится ли ПС (по погрешности расчета) к классу реперных ПС, либо заявляется к аттестации как средство инженерных расчетов, а также к какому типу (по тематике расчета) относится данное ПС

В) в разделе "Описание ПС" должно быть представлено краткое описание ПС и дана ссылка на документ, где ПС описано полностью

Должны быть приведены

- описание постановки задачи, решаемой с помощью ПС, сведения о системах уравнений, описывающих рассматриваемые процессы и элементы объекта, описание и обоснование используемого метода их решения, сведения об использованных математических моделях, базах данных (библиотеках констант), информация о способах задания начальных, граничных условий и исходных данных для расчетов и т.п.,

- сведения об используемых соотношениях для расчета свойств материалов, эмпирических корреляциях, феноменологических (описывающих физические явления) коэффициентах и других зависимостях, замыкающих систему уравнений, которые включены в ПС, а также обоснование их включения в ПС с указанием (если это возможно) погрешности их определения и экспериментов, подтверждающих их адекватность в используемой области. Должны быть приведены ссылки на соответствующие источники информации

Основные допущения должны быть отражены с обоснованием и оценкой их адекватности (или консервативности) реальным процессам и объектам. Должно быть указано, как учтены в расчетной методике пространственные эффекты, какие элементы ОИАЭ рассчитаны в одно, двух или трехмерном приближении

Для многофункциональных и многоблочных ПС должна быть приведена блок-схема ПС

Г) в разделе "Описание расчетных схем и геометрических моделей" должна быть приведена информация по выбору расчетных схем и геометрических моделей, используемых при моделировании ОИАЭ (и/или его элемента). Должно быть представлено обоснование разбиения моделируемого объекта на элементы (контрольные объемы, конечные элементы и т.п.)

Д) в разделе "Обоснование расчетной методики" должно быть приведено обоснование расчетной методики, которая реализована в ПС

Должны быть приведены

- перечень заявленных к аттестации расчетных параметров и результаты обоснования величины максимального отклонения этих параметров при различных шагах интегрирования,

- основные сведения об оценке сходимости и устойчивости численных решений с указанием используемых методов анализа сходимости и устойчивости,

- информация о том, как влияют шаг интегрирования, частота сетки, нодализации и другие особенности численного метода на результаты расчетов, результаты оценки погрешности численной схемы,
- условия сопряжения уравнений, описывающих различные физические и химические процессы, и состояния элементов,
- результаты анализа чувствительности решения к изменению геометрических, граничных и режимных параметров, а также замыкающих соотношений в пределах имеющейся зоны неопределенности их выбора

Е) в разделе "Матрица верификации" должна быть приведена матрица верификации ПС

Матрица верификации ПС для каждого моделируемого объекта и/или элемента ОИАЭ представляется в виде таблицы и является иллюстрацией того, в какой области проведена верификация и обоснование ПС. В матрице верификации должны быть указаны

- режимы, технологические процессы и/или состояния ОИАЭ (и/или его элемента) и/или виды воздействия на объект, которые ПС моделирует,
- подлежащие проверке физические явления и/или процессы, происходящие при приведенных в матрице верификации режимах, состояниях ОИАЭ (и/или его элемента) и/или видах воздействия на объект,
- экспериментальные, аналитические и расчетные тесты, служащие для проверки ПС, в которых воспроизведены приведенные в матрице верификации режимы, технологические процессы и/или состояния ОИАЭ (и/или его элемента) и/или виды воздействия на объект, а также экспериментальные установки и/или ОИАЭ (и/или элементы ОИАЭ), на которых экспериментальная проверка осуществлена (далее ЭУ)

Физические явления и/или процессы и/или виды воздействия, включенные в матрицу верификации, должны быть подробно описаны

Должно быть приведено обоснование достаточности информации, включенной в матрицу верификации ПС, для подтверждения адекватности полученных по ПС расчетных значений параметров и их погрешностей в заявленном диапазоне применения ПС

Примерная структура матрицы верификации ПС, моделирующего теплофизические процессы в контурах реакторной установки, представлена в приложении 2

Примерная структура матрицы верификации ПС для расчета напряженно-деформированного состояния и анализа прочности элементов активных зон, оборудования и трубопроводов ОИАЭ представлена в приложении 3

Примерная структура матрицы верификации ПС, предназначенного для расчета напряженно-деформированного состояния строительных конструкций, представлена в приложении 4

Ж) в разделе "Описание расчетных и аналитических тестов" должен быть приведен перечень расчетных и аналитических тестов, использованных для обоснования ПС, и краткое (но достаточное для понимания) описание каждого из них со ссылкой на источник информации, где это описание приведено подробно. Должны быть указаны диапазоны и погрешности сопоставляемых расчетных параметров

В качестве расчетных тестов могут использоваться расчеты, выполненные с помощью аттестованных ПС

3) в разделе "Описание экспериментальных установок и представление экспериментальных данных" должно быть приведено описание ЭУ и представлены экспериментальные данные, используемых для верификации ПС

Должно быть приведено краткое (но достаточное для понимания) описание экспериментальных тестов, данных испытаний ОИАЭ (или его элемента), архивов эксплуатационных измерений, используемых для верификации ПС, а также описание каждой ЭУ, на которой проводились эксперименты, используемые для верификации ПС со ссылкой на источники информации, где эти описания приведены подробно

При описании ЭУ приводится

- принципиальная схема, обеспечивающая понимание сути эксперимента, явления и т.п., с указанием, какие явления, процессы и/или элементы оборудования ОИАЭ моделируются на ЭУ и как,
- схема измерений, содержащая сведения о числе, расположении, погрешности динамических характеристиках и частоте опроса измерительных датчиков, а также сведения о погрешности вторичной измерительной аппаратуры,
- перечень и диапазоны измеряемых параметров, полные погрешности их измерения и сведения о метрологической аттестации системы измерений на ЭУ,
- сведения о представительности экспериментальных данных со ссылкой на литературные источники, где приведено обоснование достаточности числа проведенных опытов для получения достоверных экспериментальных зависимостей

Если для верификации ПС не использованы экспериментальные данные, этому факту должно быть дано соответствующее обоснование, то есть, показано, что экспериментального обоснования не требуется (например, ПС реализует аналитическое решение, экспериментов не существует по объективным причинам, которые должны быть приведены и т.п.)

И) в разделе "Результаты верификации и обоснования ПС" должны быть приведены результаты верификации и обоснования ПС и их анализ

Должны быть приведены результаты сопоставлений расчетов, выполненных с помощью "замороженной" версии ПС, и данных экспериментов и/или расчетных и аналитических тестов. Они должны быть ясно изложены с обоснованием и оценкой достоверности сопоставления. Следует указывать, в какой области не получено удовлетворительного совпадения результатов расчетов по ПС и экспериментов и/или расчетных и аналитических тестов

Результаты сопоставления данных, рассчитываемых выполненных с помощью ПС и данных экспериментов и/или расчетных и аналитических тестов, должны быть приведены на одном рисунке в одинаковом масштабе. Представление результатов в виде цветовой палитры допускается только для демонстрации графических возможностей ПС

Должно быть дано обоснование полноты и достаточности проведенных сопоставлений. Должны быть приведены результаты статистического анализа сопоставления расчетных и экспериментальных зависимостей, дана количественная оценка расхождения экспериментальных и расчетных данных, приведено обоснование погрешности расчетных параметров в заявленной области режимов и/или состояний ОИАЭ, приведены доказательства применимости ПС для моделирования ОИАЭ (и/или его элемента)

¹ Допускается описание ЭУ, выполненных на ней экспериментов и результаты верификации по этим экспериментам приводить в одном разделе

Для ПС, используемых для расчетов в обоснование безопасности ОИАЭ, должна быть указана и обоснована степень консерватизма ПС. Для ПС, предназначенных для проектных и/или эксплуатационных расчетов, должны быть указаны погрешности определения расчетных параметров.

Должны быть приведены результаты анализа пороговых эффектов в рекомендуемой к аттестации области применения ПС.

К) в разделе "Заключение" должен быть приведен проект аттестационного паспорта ПС (форма проекта аттестационного паспорта ПС приведена в приложении 5). Особое внимание при его заполнении должно быть обращено на раздел 2 приложения к аттестационному паспорту, в котором должны быть приведены только обоснованные в отчете о верификации пределы применимости ПС и погрешности расчетных параметров, принятых для ПС.

Информация, не обоснованная представленными в отчете о верификации материалами, в проект аттестационного паспорта ПС не включается.

Л) в разделе "Перечень источников" должен быть представлен перечень имеющихся официальных выходные данные документов (опубликованные материалы, отчеты организаций, официально зарегистрированные протоколы, проектная, конструкторская и эксплуатационная документация и т.п.), использованных для обоснования ПС, в том числе требуемых для формирования блока исходных данных и выполнения расчетов.

12. В приложении к отчету о верификации должны содержаться дополнительные материалы, необходимые для обеспечения полноты информации, приведенной в отчете о верификации.

13. Для ПС, реализующих расчетные методики, установленные нормативными документами (ГОСТ, СНиП, Нормы прочности и т.п.), допускается отступление от требований подпунктов В) - И) пункта 11 настоящего документа. В этом случае объем описательных и обосновывающих разделов отчета о верификации устанавливается главой IV настоящего документа.

III. Дополнительные требования к содержанию отчета о верификации ПС

14. В пунктах 15 - 18 определены дополнительные требования, уточняющие изложенные в пункте 11 настоящего документа требования к содержанию отчета о верификации для ПС по следующим направлениям:

- нейтронно-физические расчеты,
- расчеты теплопередачи и гидродинамики. Стационарные и динамические связанные расчеты нейтронно-физических, гидродинамических, термодинамических и термомеханических характеристик, моделирование аварийных и нестационарных процессов,
- расчеты напряженно-деформированного состояния и анализ прочности элементов активных зон, оборудования и трубопроводов ОИАЭ,
- расчеты строительных конструкций.

Состав и содержание отчета о верификации ПС по другим направлениям, перечисленным в пункте 2 настоящего документа, должны соответствовать общим требованиям, изложенным в пункте 11 настоящего документа.

15. Для ПС нейтронно-физического расчета устанавливаются следующие дополнительные требования к содержанию отдельных разделов отчета о верификации:

В данном разделе должно быть указано - к какому из приведенного ниже примерного перечня типов ПС относится ПС по тематике расчетов

1) *ПС для расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов*

Расчеты малогрупповых констант (сеточных коэффициентов) для ПС имитаторов работы реактора и нейтронно-физических модулей динамических ПС. ПС, предназначенные для решения уравнения переноса для фрагмента ядерного реактора, в том числе для последующего расчета малогрупповых констант (сеточных коэффициентов), для ПС квазистационарного расчета реактора и нейтронно-физических модулей динамических ПС. В реперных ПС используются файлы оцененных нейтронных данных, а в ПС инженерного расчета, применяются библиотеки многогрупповых констант или другие способы описания различных частей спектра

2) *ПС для расчета изотопного состава*

Расчеты накопления и превращения в топливе ядерного реактора различных изотопов. ПС может иметь собственную библиотеку ядерных данных или работать совместно с ПС спектрального расчета

3) *ПС - имитаторы работы активной зоны реактора*

ПС, моделирующее работу (активной зоны) реактора, зависимость от времени в котором вводится, как правило, через выгорание топлива. При этом задаются обратные связи по различным параметрам, рассчитанным с разной степенью детализации. ПС может иметь собственную библиотеку малогрупповых констант или, в качестве блока, содержать ПС для спектрального расчета и ПС для расчета изотопного состава

4) *ПС для нейтронно-физического расчета, являющиеся самостоятельными модулями динамических ПС*

ПС, в котором реализуется решение нестационарного уравнения переноса в различных приближениях. При этом задаются необходимые обратные связи, рассчитанные с разной степенью детализации. Как правило, это сложное многоблочное ПС, которое может содержать в качестве блока ПС - имитатор работы реактора, иметь собственную библиотеку малогрупповых констант или содержать в качестве блоков ПС для спектрального расчета и ПС для расчета изотопного состава

5) *Проблемно-ориентированные библиотеки констант*

Библиотека констант, которая предполагает использование ее в различных ПС, при наличии необходимых интерфейсов

Б) "Описание ПС"

Исходя из того, к какому типу относится ПС (см. подпункт "А" пункта 15), в данном разделе должна быть представлена методология верификации ПС, а также дано краткое изложение целей и средств верификации

Должно быть дано обоснование приближений, принятых при решении уравнения переноса

1) Для реперных ПС для расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов должна быть приведена информация об используемой в ПС системе оцененных ядерных данных и ее характеристики, характеристики промежуточных библиотек констант и способы их получения. Для ПС инженерного расчета должны быть указаны характеристики библиотеки многогрупповых констант, методы ее расчета, связь с версиями файлов оцененных нейтронных данных, а также характеристики проблемно-ориентированной библиотеки констант и сведения об ее верификации. Должно быть дано обоснование выбора конкретного приближения при решении уравнения переноса, в связи с особенностями рассчитываемых малогрупповых констант (сеточных коэффициентов)

2) Для *ПС для расчета изотонного состава* должно быть дано обоснование выбранного количества рассчитываемых цепочек накопления и превращения изотопов, а также осколков деления. Должны быть указаны характеристики и метод расчета эффективного осколка деления, а также характеристики выхода энергии на одно деление для основных делящихся изотопов

3) Для *ПС - имитаторов работы активной зоны реактора* в должны быть указаны характеристики применяемой библиотеки малогрупповых констант, способ и программные средства, используемые для ее получения, сведения о проблемно-ориентированной библиотеке и способах ее получения, сведения о применяемой нодализационной схеме и ее обоснование. Если ПС содержит, в качестве блоков, *ПС расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов* и *ПС расчета изотонного состава*, то следует приводить также сведения, указанные в подпункте 1) и 2) подпункта Б) пункта 15 соответственно. Должны быть указаны применяемые методы для интерполяции малогрупповых констант и их погрешности, сведения о ПС для расчета обратных связей и их верификации. Целесообразность представления ПС для расчета обратных связей к отдельной аттестации должна быть обоснована.

4) Для *ПС нейтронно-физического расчета, являющихся самостоятельными модулями динамических ПС*, должны быть приведены сведения, обосновывающие выбор стационарного состояния до начала динамического процесса. Должны быть указаны характеристики применяемой библиотеки малогрупповых констант, способы и ПС, используемые для ее получения, сведения о проблемно-ориентированной библиотеке и способах ее получения, обоснование нодальной схемы пространственного расчета, если она применяется. В том случае если ПС содержит в качестве блоков *ПС расчета пространственно-энергетического распределения нейтронов*, *ПС расчета изотонного состава* и *ПС - имитаторы работы (активной зоны) реактора*, должны быть приведены сведения, указанные в подпунктах 1), 2) и 3) подпункта Б) пункта 15 соответственно. Должны быть приведены сведения о методах, применяемых для интерполяции малогрупповых констант и их погрешность, сведения о ПС для расчета обратных связей и их верификации. Целесообразность представления ПС для расчета обратных связей к отдельной аттестации должна быть обоснована.

5) Для *проблемно-ориентированных библиотек констант* должны быть приведены сведения о способе генерации библиотеки констант и введенных проблемно-ориентированных поправках, а также принимаемых приближениях. Должны быть указаны требования к ПС, для которых могут быть рекомендованы упомянутые библиотеки констант и краткое описание интерфейса.

В) "Описание расчетных схем и геометрических моделей"

В данном разделе должна быть приведена информация по выбору

- числа энергетических групп и обоснование их фиксации,
- моделей рассеяния, резонансного поглощения и термализации и их обоснование, а также приведено описание этих моделей в проблемно-ориентированных библиотеках,
- угловых квадратур,
- числа групп запаздывающих нейтронов
- методов решения уравнений для жестких пространственных и энергетических систем и их обоснование

Г) "Описание расчетных и аналитических тестов"

В данном разделе должна быть приведена характеристика систем математических тестов, методов и ПС, применяемых для их получения