

## ОТЗЫВ

официального оппонента, кандидата технических наук, главного эксперта АО «Всероссийского научно-исследовательского института по эксплуатации атомных электростанций» Карнаухова Валерия Евгеньевича на диссертационную работу Рыжова Николая Игоревича «Разработка методики оценки погрешностей и неопределенностей результатов моделирования аварий на АЭС для программ СОКРАТ», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 - «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность»

**Актуальность работы.** Диссертационное исследование, проведенное Н.И. Рыжовым, посвящено разработке методики получения оценок погрешностей и неопределенностей результатов расчетов проектных (ПА) и запроектных аварий (ЗПА) на АЭС, полученных с использованием линейки программ для ЭВМ СОКРАТ. В линейку программ для ЭВМ СОКРАТ входят такие версии программ, как СОКРАТ-В1/В2 и СОКРАТ/В3, которые применяются для детерминистического анализа поведения РУ типа ВВЭР в области ЗПА, и СОКРАТ-БН/В1, СОКРАТ-БН/В2, область применения которых включает в себя режимы нарушения нормальной эксплуатации, ПА и ЗПА на АЭС с РУ на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БН). В федеральных нормах и правилах НП-001-15 установлено требование об обязательной оценке погрешностей и неопределенностей результатов детерминистических анализов безопасности. Но способ получения этих оценок не указан. Благодаря широкому применению линейки программ для ЭВМ СОКРАТ в отечественной атомной отрасли и необходимости выполнения требований НП-001-15 актуальность диссертационной работы Н.И. Рыжова не вызывает сомнений.

Основные результаты работы опубликованы в 6 научных статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в Scopus, Web of Science и Перечень ВАК РФ. По результатам работы оформлено 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ. Основные результаты работы докладывались автором и обсуждались на 7 научных конференциях и семинарах.

**Практическая значимость** выполненной диссертационной работы обусловлена применением разработанной автором методики получения оценок погрешностей и неопределенностей в головных конструкторских организациях АО «ОКБ Гидропроесс» и АО «ОКБМ им. Африкатова» при подготовке обосновывающих материалов АЭС с РУ

ВВЭР и РУ БН. Успешное получение аттестационных паспортов программ для ЭВМ линейки СОКРАТ по результатам их валидации с применением предложенной автором методики также добавляет практической значимости проведенного диссертационного исследования.

**Научная новизна** диссертационного исследования обоснована тем, что автор работы впервые объединил подход к оценке погрешности линейки программ для ЭВМ СОКРАТ на этапе их валидации с их практическим применением к моделированию широкого класса аварии и предложил способ получения оценок погрешностей и неопределенностей результатов моделирования аварий при детерминистическом анализе безопасности.

Обсуждение результатов исследования на многочисленных международных и российских конференциях и включение методики, разработанной для моделирования ЗПА, в приложение № 4 руководства по безопасности РБ-166-20 подтверждает **достоверность** полученных результатов.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, трёх глав, общего заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 101 странице, включая иллюстрации и список литературы из 65 источника. Содержание автореферата и диссертации объективно раскрывает суть выполненного исследования и соответствует названию работы.

**Введение** диссертации кратко обосновывает актуальность решаемой проблемы, формулирует цель и задачи исследования, демонстрирует научную новизну, практическую значимость, достоверность полученных результатов, личный вклад автора, предоставляет информацию об апробации работы. Во введении также перечислены основные положения, выносимые на защиту, и приведен перечень публикаций по теме исследования.

**Первая глава** посвящена литературному обзору разработанных ранее другими авторами методик анализа неопределенностей расчётов аварий на АЭС. Приведенные в обзоре шесть методик представлены двумя классами: трансформирования и экстраполяции неопределенностей. В выходах по главе 1 указано, что большинство имеющихся методик анализа неопределенностей применимы для анализа ПА и учитывают особенности консервативного подхода. Для анализов ЗПА с использованием реалистического подхода они не могут применяться, а специализированные методики анализа погрешностей и неопределенностей для данного класса аварий отсутствуют.



Особенности способа валидации линейки программ для ЭВМ СОКРАТ и их широкая область применения по моделируемым типам аварий накладывают дополнительные требования к новой, разрабатываемой в рамках диссертационного исследования методике получения оценок погрешностей и неопределенностей расчетов аварий на АЭС.

**Вторая глава** представлена описанием разработанной автором диссертации методики. Описание представлено четырьмя тематическими частями. Первая часть описания посвящена анализу ЗПА. Согласно предлагаемой методике результатом моделирования ЗПА является диапазон возможных значений истинного значения параметра, рассматриваемого при обосновании безопасности. В данном случае погрешность результата расчета представлена оценкой систематической составляющей модельной погрешности программы для ЭВМ СОКРАТ, а неопределенность результата моделирования выражена в виде одного стандартного отклонения. Неопределенность результата представляет собой сумму случайной составляющей оценки модельной погрешности, неопределенность расчета выбранного сценария и неопределенность, обусловленную выбором сетки. Все составляющие складываются по правилу сложения дисперсий. Во второй части описания рассматривается способ получения консервативной оценки результата моделирования ПА. Предложенный автором подход основан на методике GRS, а отличается от неё способом учета результатов валидации программы для ЭВМ. В третьей части приведено краткое описание методики валидации ASME V&V20, с помощью которой были валидированы программы для ЭВМ СОКРАТ. В виду того, что в методике ASME V&V20 не указан способ обобщения результатов валидации, автор предложил свой подход. В последней, четвертой части, описания методики описан анализ чувствительности с использованием рангового коэффициента корреляции Спирмена. Автор предлагает по полученным при трансформировании входных неопределенностей выборкам проверять нулевую гипотезу о независимости результатов расчетов от входных параметров.

**Третья глава** посвящена практическому применению описанных во второй главе методик. Всего приведено три демонстрационных примера, в которых рассмотрена валидация программы для ЭВМ СОКРАТ-V1/V2 на базе эксперимента QUENCH-06, расчет ПА на РУ БН и расчет ЗПА на РУ ВВЭР-1000/V320. В первом примере показан способ получения интервальной оценки модельной погрешности программы для ЭВМ СОКРАТ для параметра – масса водорода, выделившаяся при окислении а.з. реактора с водой под давлением. Во втором примере рассмотрена ПА с мгновенной блокировкой проходного сечения одной ТВС. Показано получение консервативной оценки для двух

параметров: температура оболочек твэл и температура чехлов второго ряда ТВС, который окружает аварийную ТВС. В третьем примере рассмотрена ЗПА типа «большая течь» с наложением обесточивания. Показано получение реалистической оценки массы водорода, вышедшей через течь в защитную оболочку. В полученной реалистической оценке учтена модельная погрешность программы для ЭВМ СОКРАТ.

В заключении диссертационного исследования приведено обобщение полученных результатов исследования.

По содержанию диссертационной работы можно сделать ряд замечаний:

- 1) При описании имеющихся методик в главе 1 и предложенной автором методики в главе 2 отсутствует рекомендация к составлению перечня параметров, которые рассматриваются при анализе неопределенностей. Выбор параметров может существенным образом сказываться на результатах анализа.
- 2) В главе 2 при описании способа обобщения результатов валидации указано, что результаты валидации усредняются по серии экспериментов. Возможна такая ситуация, что в части экспериментов расчет будет завышать измерения, а в другой части занижать. При этом при прямом усреднении, среднее отклонение может оказаться равным нулю. Чему в таком случае будет равна оценка модельной погрешности? Не окажется, ли что она будет равна 0 и будет сделан ошибочным вывод об идеальном совпадении результатов расчетов с измерениями.
- 3) В главе три при рассмотрении примера анализа проектной аварии на РУ БН не конкретизирован рассматриваемый реактор.
- 4) В тексте присутствуют орфографические опечатки.

Указанные замечания не носят принципиальный характер и не снижают общей ценности проведенного и изложенного в диссертации исследования.

Диссертация Н.И. Рыжова представляет собой законченное научно-техническое исследование, которое выполнено на высоком научном уровне. Автореферат диссертационной работы полностью соответствует основным положениям диссертации и в полном объеме отражает основное содержание работы и выводы.

Диссертационная работа Рыжова Николая Игоревича «Разработка методики оценки погрешностей и неопределенностей результатов моделирования аварий на АЭС для



программ СОКРАТ» соответствует паспорту специальности 2.4.9 - «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность» и отвечает требованиям п. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (в редакции Постановления от 26.05.2020 № 751), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук. Считаю, что, несмотря на отмеченные замечания, работа выполнена на высоком профессиональном уровне, автор диссертации заслуживает присуждения степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент

Главный эксперт АО «ВНИИАЭС»

Кандидат технических наук

Телефон +7 903 223-76-73

Электронная почта:

[kveki2@rambler.com](mailto:kveki2@rambler.com)

Адрес: 109507, г. Москва,

ул. Ферганская, д. 25

АО «ВНИИАЭС»

Карнаухов Валерий Евгеньевич



ВЕРНО

начальник отдела по управлению  
трудовыми отно-  
шениями  
Попова ОИ - ШЕНЯМУ  
24.12 2024