

ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, ведущего научного сотрудника

АО «Государственный научный центр Российской Федерации –

Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Морозова Андрея Владимировича

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»

Диссертационная работа Рыжова Николая Игоревича посвящена созданию методики получения оценок погрешностей и неопределенностей результатов расчетов проектных (ПА) и запроектных аварий (ЗПА) на АЭС, полученных с использованием программ СОКРАТ. Данная линейка программ для ЭВМ включает в себя четыре версии, а именно СОКРАТ-В1/В2, СОКРАТ/В3, которые предназначены для детерминистического анализа ЗПА на АЭС с реакторными установками (РУ) типа ВВЭР, и СОКРАТ-БН/В1, СОКРАТ-БН/В2, предназначенные для моделирования режимов нарушения нормальной эксплуатации, ПА и ЗПА на АЭС с РУ на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем (БН).

Актуальность темы исследования обусловлена требованиями, установленными в п. 1.2.9 федеральных норм и правил (ФНП) в области использования атомной энергии НП-001-15. Требование частично заключается в том, что результаты детерминистических и вероятностных анализов безопасности должны сопровождаться обязательной оценкой погрешностей и неопределенностей. Однако, до выпуска руководства по безопасности РБ-166-20, рекомендуемый способ получения этих оценок долгое время отсутствовал. Актуальность работы применительно к линейке программ для ЭВМ СОКРАТ обусловлена тем, что в Российской Федерации основной объем анализов безопасности АЭС с РУ ВВЭР и РУ БН, в части детерминистических анализов ЗПА, выполняется с использованием данных программ для ЭВМ. Разработанная автором методика позволила удовлетворить указанное требование ФНП и обеспечила пользователей линейки программ для ЭВМ СОКРАТ рекомендованной методикой, которая учитывает результаты валидации данных программ.

Достоверность полученных результатов диссертационного исследования подтверждается успешно выполненной процедурой валидации линейки программ для ЭВМ СОКРАТ, обсуждением результатов работы на многочисленных международных и российских конференциях и включением методики, разработанной для моделирования ЗПА, в приложение № 4 руководства по безопасности РБ-166-20.

Практическая значимость диссертационной работы состоит в том, что разработанная соискателем методика обобщения результатов валидации программ для ЭВМ была использована при валидации всей линейки программ СОКРАТ, что позволило успешно пройти экспертизу в ФБУ «НТЦ ЯРБ» и получить аттестационные паспорта на данные программные комплексы. Разработанная методика получения оценок погрешностей и неопределенностей результатов моделирования ЗПА была включена в качестве приложения №4 в руководство по безопасности РБ-166-20 и успешно применяется в атомной отрасли. Разработанная методика получения оценок погрешностей и неопределенностей результатов моделирования ПА успешно применяется в АО «ОКБМ Африкантов» при расчетном обосновании безопасности РУ БН.

Новизна диссертационного исследования состоит в том, что разработанная автором методика впервые позволила удовлетворять требованиям ФНП НП-001-15 в части получения оценок погрешностей и неопределенностей результатов детерминистических расчетов в обоснование безопасности. Также автор впервые объединил подход к оценке погрешности линейки программ для ЭВМ СОКРАТ на этапе их валидации с практическим применением данных программных комплексов для моделирования широкого класса аварий, которые включают в себя ПА и ЗПА на РУ БН и ВВЭР.

Личный вклад соискателя в получение результатов, изложенных в диссертации, заключается в том, что методики обобщения оценки погрешностей и неопределенностей были разработаны непосредственно им.

Диссертационная работа состоит из введения, трёх глав, общего заключения и перечня использованных литературных источников из 65 позиций. Общий объем диссертации составляет 101 страницу текста. Содержание диссертации в полной мере отражает суть выполненного исследования и соответствует названию работы.

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, представлена информация о научной новизне и практической значимости работы, обоснована достоверность результатов, представлены личный вклад автора и информация об апробации работы, перечислены основные положения, выносимые на защиту, приведены публикации по теме исследования.

В первой главе приводится обзор существующих методик анализа неопределенностей детерминистических расчетов аварий на АЭС. Выполнена их классификация на два класса: методики трансформирования неопределенностей и методики экстраполяции неопределенностей. Всего рассмотрено шесть методик анализа неопределенностей, даны краткие характеристики каждой методики. Сделан вывод о том, что большинство существующих методик разработаны с уклоном на анализ ПА с использованием консервативного подхода и не могут быть применены для анализа ЗПА с применением реалистического подхода. Дополнительно приведена информация о способе валидации линейки программ для ЭВМ СОКРАТ, который накладывает требования к разрабатываемой методике получения оценок погрешностей и неопределенностей расчетов аварий на АЭС.

Во второй главе представлена разработанная автором методика оценки и обоснования значений погрешностей и неопределенностей расчетных результатов. Её описание разбито на три части: анализ ЗПА, ПА и обобщение результатов валидации. Основой предлагаемой методики является представление программы для ЭВМ как «инструмента» для выполнения косвенных измерений и использование принятых в метрологии терминов «погрешность» и «неопределенность». Результатом детерминистического анализа ЗПА, по предлагаемой методике, является интервальная оценка «истинного» значения параметра, важного для безопасности, которая учитывает случайную и систематическую составляющие модельной погрешности «инструмента», а также неопределенность расчета рассматриваемого сценария аварии на АЭС. Применительно к анализу ПА, в методике автора предлагается подход на основе методики GRS, учитывающий результаты валидации программы для ЭВМ в виде погрешности результата расчета. Приведено краткое, но достаточное для понимания, описание методики валидации ASME V&V20, которая была применена для валидации линейки программ для ЭВМ СОКРАТ. Изложен способ обобщения результатов валидации, который предлагает автор работы. Приведено описание подхода к анализу чувствительности, основанного на проверке нулевой гипотезы о независимости результатов расчетов от входных параметров с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

В третьей главе приведены три практических примера применения методики получения оценок погрешностей и неопределенностей. Первый пример посвящен валидации программы для ЭВМ СОКРАТ-B1/B2 на данных эксперимента QUENCH-06. На базе этого примера показано получение интервальной оценки модельной погрешности расчета массы водорода, выделяющейся при окислении модели активной зоны легководного реактора. Во втором примере рассмотрена задача получения

консервативной оценки температуры оболочек и чехла второго ряда ТВС, окружающего аварийную ТВС, в ПА с постулируемой мгновенной блокировкой проходного сечения одной ТВС на РУ БН. Третий пример посвящен моделированию запроектной аварии на реакторе ВВЭР-1000 с реакторной установкой В-320. Рассмотрена запроектная авария с большой течью с наложением обесточивания энергоблока. В качестве параметра, важного для безопасности, выбрана масса водорода, вышедшего через течь в защитную оболочку. По результатам применения методики получено реалистическое значение массы водорода, которое учитывает модельную погрешность программы для ЭВМ и неопределенность расчета выбранного сценария.

В заключении диссертационной работы приведено обобщение полученных результатов исследования.

Основные результаты работы опубликованы в шести научных статьях в рецензируемых научных изданиях, входящих в базы данных Scopus, Web of Science и Перечень ВАК РФ. По результатам работы оформлено пять свидетельств о регистрации ПрЭВМ. Основные результаты работы докладывались автором и обсуждались на семи научных конференциях и семинарах.

По диссертационной работе можно сделать несколько замечаний:

1) В выводах к главе 1 сказано, что методика GRS широко используется для анализа неопределенностей проектных аварий. Проводилось ли сравнение консервативных результатов, получаемых по методике GRS и по методике автора?

2) При описании методик в главе 2 не даны определения используемых терминов «погрешность» и «неопределенность». Хотя в тексте присутствует ссылка на метрологические определения этих терминов применительно к измерениям, правильнее было бы привести их определения применительно к результатам расчетов.

3) При описании методики оценки погрешностей и неопределенностей при моделировании ЗПА (раздел 2.1) сказано, что для модельной погрешности на этапе валидации оцениваются систематическая и случайная составляющие. Однако способ получения этих оценок представлен только в разделе 2.3. Более логичным было бы сначала изложить методику валидации, а затем методики анализов аварий.

4) В работе присутствуют незначительные опечатки по тексту.

Автореферат отражает основные положения диссертационной работы.

Тема и содержание диссертации соответствует паспорту специальности 2.4.9 - «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Диссертационная работа «Разработка методики оценки погрешностей и неопределенностей результатов моделирования аварий на АЭС для программ СОКРАТ» отвечает требованиям пп. 9-11, 13, 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (с последующими изменениями), а автор диссертации Рыжов Николай Игоревич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук.

Официальный оппонент

Ведущий научный сотрудник,

доктор технических наук

Морозов Андрей Владимирович

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» (АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»)

Адрес: 249033, г. Обнинск, Калужской обл., пл. Бондаренко, д. 1

Тел.: +7 (484) 399-70-00 (доб. 81-19)

Электронная почта: avmorozov@ipre.ru

