

**АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР –
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
АТОМНЫХ РЕАКТОРОВ»
(АО «ГНЦ НИИАР»)**

О Т З Ы В

г. Димитровград

на автореферат диссертации Рыжова Н.И. «Разработка методики оценки погрешностей и неопределенностей результатов моделирования аварий на АЭС для программ СОКРАТ», представленной на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.4.9 - «Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность».

Москва - 2024

Отмечена актуальность создания методики оценки погрешностей и неопределенностей результатов расчетов по программам для ЭВМ (ПрЭВМ), применяемым для обоснования безопасности атомных станций. Это связано с тем, что в федеральные нормы и правила в области использования атомной энергии НП-001-15 от 2015 г. было добавлено новое требование, в соответствии с которым детерминистические анализы безопасности должны сопровождаться оценками погрешностей и неопределенностей результатов. Причем анализ запроектных аварий (ЗПА), которые включают в себя тяжелые аварии (ТА), должен выполняться на основе реалистического подхода, а анализ проектных аварий на основе консервативного подхода. Способ получения неопределенностей в нормативных документах отсутствует.

В этих нормах и правилах есть требование об обязательной аттестации программ для ЭВМ, используемых для обоснования безопасности АЭС.

В России основную часть анализов безопасности АЭС с РУ ВВЭР в режимах ЗПА выполняют по программам для ЭВМ СОКРАТ-В1/В2 и СОКРАТ/В3. Для РУ БН используют версии СОКРАТ-БН/В1 и СОКРАТ-БН/В2.

Для удовлетворения требований федеральных норм и правил и руководящего документа возникла необходимость создания методики оценки погрешностей и неопределенностей, которая будет применяться для валидации и аттестации, а также при обосновании безопасности АЭС.

Автором диссертационной работы разработаны методики оценки погрешностей и неопределенностей ПрЭВМ, выполнены их оценки для нескольких примеров.

В диссертации решены 3 задачи. Первая - разработаны методики оценки погрешностей и неопределенностей ПрЭВМ для валидации, при которой учитываются неопределенности измерений, исходных данных и численной модели ПрЭВМ, это применимо как для ПА, так и ЗПА. Вторая и третья задачи - это разработка методики оценки погрешностей и неопределенностей ПрЭВМ для стадии обоснования безопасности АЭС при ПА и ЗПА, при этом учитывают результаты валидации.

Научная новизна впервые позволяет объединить способы оценки погрешностей и неопределенностей ПрЭВМ СОКРАТ как при валидации, так и расчетов для обоснования безопасности АЭС в режимах ПА и ЗПА.

Личный вклад автора диссертации - методика обобщения оценки погрешностей ПрЭВМ при валидации, разработка методик оценки погрешностей и неопределенностей при обосновании безопасности АЭС в режимах ПА и ЗПА, расчетная модель эксперимента QUENCH-06, оценки погрешностей и неопределенностей на примерах расчетов РУ БН и РУ ВВЭР.

Выполнен анализ методов получения погрешностей и неопределенностей, с учетом того, что погрешность - это отклонение результата расчета от «истинного» значения, которое для экспериментальных результатов всегда неизвестно. Поэтому оценка неопределенностей даёт интервал значений, в котором с большой вероятностью находится «истинное» значение. Разработаны методы учета неопределенностей исходных данных и численной модели. Для вариаций исходных данных используют большое количество расчетов со случайными отклонениями. Для ЗПА с реалистичным подходом используют средние значения, тогда как для ПА с консервативным подходом - результаты, приводящие к наиболее неблагоприятным результатам, при этом учитывают приемочный критерий и предел безопасности (разрушение барьера). Погрешность находится в интервале от $(E-u)$ до $(E+u)$, где E - среднее отклонение результатов расчетов от измерений, u - неопределенность, учитывающая все её источники.

Оценка погрешностей и неопределенностей выполнена для валидации эксперимента QUENCH-06, предназначенного для изучения окисления циркаловых оболочек твэлов в аварии с потерей теплоносителя. Приведены примеры расчетов для обоснования безопасности РУ БН в режиме ПА и РУ ВВЭР в режиме ЗПА.

Практическое применение включало: часть методики об анализе ЗПА вошла в РБ-166-20 в качестве Приложения №4, методика используется в ОКБ «Гидропресс», ИБРАЭ РАН и ОКБМ им. Африкантова, методика была использована для валидации получивших аттестацию версий ПрЭВМ СОКРАТ - БН/В1, БН/В2, В1/В2, В3.

Положения, выносимые на защиту: методика обобщения оценки погрешностей ПрЭВМ при валидации режимов ЗПА и ПА, и результаты применения этой методики при валидации ПрЭВМ СОКРАТ-В1/В2; методика оценки погрешностей и неопределенностей расчетов параметров, важных для безопасности режимов ПА и ЗПА, учитывающая результаты валидации, и примеры результатов применения этой методики для ПА на РУ БН по расчетам по ПрЭВМ СОКРАТ-БН/В2, а также ЗПА на РУ ВВЭР по расчетам по ПрЭВМ СОКРАТ-В1/В2.

Замечания и рекомендации

1. В «Основных результатах» рекомендуется привести для валидации каких ПрЭВМ применялась разработанная методика (кроме СОКРАТ).
2. Не приведено отличие неопределенностей, получаемых по разработанной для ЗПА реалистичной методике от консервативной (хотя бы одного примера).
3. Рекомендуется привести сколько использовано экспериментальных тестов в режиме ЗПА для валидации при аттестации указанных версий ПрЭВМ СОКРАТ и для скольких из них использована разработанная методика.
4. Для расчета средних и среднеквадратичных отклонений для непрерывных параметров можно использовать интегралы (например, по времени; в дополнение к формулам (15) и (16)).
5. Для параметра №3 таблицы 1 нет названия в тексте, в отличие от №1 и №2.
6. Перед рисунком 7 написано «на рисунке 7 изображен ... температуры чехла ТВС 2-ого ряда», тогда как в подписи рисунка «температура оболочек твэл ТВС 2-ого ряда».

Представленная диссертационная работа «Разработка методики оценки погрешностей и неопределенностей результатов моделирования аварий на АЭС для программ СОКРАТ» по своей актуальности, научной новизне, объему выполненных исследований и практической значимости полученных результатов, соответствует требованиям пунктов 9 – 14 «Положения о порядке присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября

