



НИТИ
РОСАТОМ

Федеральное государственное
унитарное предприятие
«Научно-исследовательский
технологический институт
имени А.П. Александрова»
(ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова»)

Копорское ш., д.72., г. Сосновый Бор,
Ленинградская обл., 188540
Телефон (813-69) 2-26-67, факс (813-69) 2-36-72
E-mail: foton@niti.ru

ОКПО 08624697, ОГРН 1024701759565
ИНН 4714000067, КПП 472601001

28.05.2024 № 24/М-06/6644

На № 044-001.4-03/13397 от 20.07.2022

О направлении отзыва на
диссертацию Долганова К.С.

ФГБУН «Институт проблем
безопасного развития атомной
энергетики РАН»

Ученому секретарю
диссертационного совета Д 002.070.01
Калантарову В.Е.

ул. Б. Тульская, д. 52, Москва, 115191

Уважаемый Валентин Евграфович!

Направляю Вам отзыв официального оппонента Мигрова Ю.А. на диссертацию Долганова К.С. «Методический подход к созданию моделей энергоблоков АЭС с ВВЭР для реалистического расчетного обоснования безопасности при тяжелых авариях», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Приложение: Отзыв на диссертацию на 6 л. в 2 экз.

Зам

Генеральный директор

Д.А. Кирпиков

Мигров Юрий Андреевич
(813-69) 60703



ОТЗЫВ

**официального оппонента на диссертацию
Долганова Кирилла Сергеевича на тему
«Методический подход к созданию моделей энергоблоков АЭС с ВВЭР
для реалистического расчетного обоснования безопасности
при тяжелых авариях»,**

представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность

Обоснование безопасности энергоблоков АЭС в проектных и запроектных авариях безальтернативно осуществляется путем численного моделирования динамических процессов с помощью так называемых системных расчетных кодов, обеспечивающих сопряженный расчет явлений разной физической природы. Современные системные расчетные коды, как правило, функционирующие в режиме гибкой топологической схемы, позволяющие объединять, управлять и организовывать обмен данными между разнородными программными модулями, имеют внятный, дружелюбный интерфейс пользователя и вполне успешно могут использоваться в проектно-конструкторских организациях без тесного взаимодействия с разработчиками этих кодов.

Однако, в связи с чрезвычайной сложностью моделируемых процессов, существует риск получения ошибочного результата, что может быть связано с недостатком знаний и опыта специалиста, выполняющего расчеты. Перед исследователями и проектантами всегда возникает проблема получения расчетного результата, адекватного истинному поведению оборудования при выполнении расчетных анализов в обоснование безопасности энергоблоков АЭС.

В данной диссертационной работе обобщен многолетний опыт автора по поэтапной отработке методологии подготовки расчетных моделей на основе системного расчетного кода (автор предлагает название – интегральный код) и проведения предсказательного сопряженного моделирования теплогидравлических, нейтронно-физических, термомеханических и физико-химических процессов на основе анализа тяжелых аварий энергоблоков АЭС с ВВЭР.

Разработка методологии создания расчетных моделей особенно актуальна при анализе тяжелых, запроектных аварий, что связано не только с неопределенностью математического описания некоторых явлений, но и

необходимостью выполнения предсказательных расчетов в реалистическом приближении, как того требуют нормативные документы надзорных органов.

Содержание диссертации изложено в семи разделах, в которых автором детально проанализированы этапы создания физико-математической модели (ФММ) поведения энергоблока АЭС с ВВЭР при тяжелых авариях (ТА) на основе известного в России интегрального расчетного кода СОКРАТ.

В первом разделе представлен анализ текущего состояния проблем по численному моделированию тяжелых аварий на энергоблоках АЭС. С опорой на отечественный и зарубежный опыт сформулированы этапы формирования ФММ:

- оценка области применения интегрального расчетного кода (сценарии тяжелоаварийных режимов, физические явления и соответствующие им математические модели);
- технология валидации интегрального кода;
- разработка и квалификация расчетной модели;
- выбор метода оценки погрешностей и неопределенностей;
- обоснование реалистического приближения.

Таким образом, в результате реализации указанных этапов создается ФММ энергоблока, учитывающая особенности его конструкции и технологических параметров, нормативные требования и современный уровень знаний.

Во втором разделе изложен подход автора к выбору сценариев ТА для энергоблоков АЭС с ВВЭР, опираясь на результаты вероятностного анализа безопасности и имеющийся отечественный и зарубежный опыт.

В этом же разделе формируется перечень физических явлений, реализующихся на различных стадиях ТА, и осуществляется их приоритизация, используя известную экспертную методику PIRT.

Логическим результатом этих работ являются:

- требования, предъявляемые к функциональному наполнению интегрального кода;
- матрицы верификации/валидации.

Решению первой из двух указанных задач посвящен **третий раздел** диссертации. Основным требованием, предъявляемым к физико-математическим моделям интегрального кода, является, по утверждению

автора диссертации, обеспечение реалистического приближения при анализах ТА. Показано, что интегральный код СОКРАТ, соавтором которого является соискатель ученой степени, удовлетворяет современным требованиям в области численного моделирования тяжелых аварий.

В четвертом разделе рассмотрены методические аспекты валидации интегральных тяжелоаварийных кодов. При этом последовательно излагается методология планирования валидационных расчетов путем построения матриц валидации, формирование специфической для ТА базы экспериментальных данных, требования к представительности экспериментов и методика оценки погрешностей при сравнении расчетов с экспериментальными данными.

Расчетная модель для анализа ТА энергоблоков АЭС с ВВЭР, включающая в себя exe-файл интегрального кода и файл входных данных представляет собой сложнейший компьютерный продукт. В связи с этим (**пятый раздел** диссертации) возникает важнейшая задача, которая в мировой практике называется квалификацией расчетной модели – обеспечение соответствия нодализационных схем и параметров моделируемого оборудования проектным данным энергоблока. Как отмечается в этом разделе диссертации в объем квалификационной работы должны быть также включены:

- проверки балансов массы и энергии;
- соответствие расходных характеристик клапанов и паросбросных устройств проектным данным;
- моделирование стационарного состояния энергоблока и, при наличии, режимов пусконаладочных испытаний (сравнение расчетных параметров с проектными).

Особенности технологии квалификации расчетных моделей демонстрируются в диссертации на примере обеспечения реалистического моделирования ТА энергоблоков АЭС с ВВЭР с помощью кода СОКРАТ.

В шестом разделе приведены рекомендации по использованию технологии анализа неопределенностей для обоснования реалистического результата расчета важных для безопасности энергоблока параметров при анализах ТА. Показана важность использования анализа неопределенностей для идентификации пороговых эффектов и «ветвления» сценариев ТА.

Седьмой раздел диссертации представляет собой демонстрацию предлагаемого автором методического подхода на примере расчетного анализа тяжелой аварии на АЭС Фукусима-1. Полученные результаты следует

воспринимать как вклад Российской Федерации в теоретический анализ этой катастрофы.

Рассматривая диссертацию Долганова К.С. в целом, следует отметить, что автор впервые применительно к ТА разработал методологию создания и практического использования комплексных расчетных моделей, обеспечивающих анализ ТА энергоблоков АЭС в реалистическом приближении в соответствии с требованиями нормативных документов надзорных органов. Поэтому данная диссертационная работа представляет собой решение важной для ядерной энергетики задачи.

Достоверность научных результатов Долганова К.С., представленных в диссертации, базируется на глубоком понимании сложных процессов, тщательном анализе отечественного и зарубежного опыта моделирования ТА, на экспертизе материалов валидации трех базовых версий интегрального кода СОКРАТ в Экспертном совете при Ростехнадзоре.

Результаты диссертационной работы Долганова К.С. имеют большое практическое значение. Разработанный методический подход обобщает многолетний опыт автора по сопровождению расчетных анализов безопасности энергоблоков АЭС с ВВЭР в проектно-конструкторских организациях ГК «Росатом».

Основные идеи и научные результаты диссертации в достаточно полной мере опубликованы в реферируемых изданиях, апробированы на семинарах и конференциях различного ранга, включая международные.

Заявленные цели диссертационной работы достигнуты, поставленные задачи решены.

Автореферат отражает все основные научные результаты работы и соответствует содержанию диссертации.

Некоторые соображения и замечания по диссертационной работе:

1. Методика создания ФММ рассматривается как последовательность реализации определенных этапов и направлена на обеспечение наилучшей оценки (реалистического результата). Неясен критерий, по которому можно судить о достижении заявленной цели.

2. При решении задачи квалификации расчетных моделей не рассмотрена проблема нодализации (эквивалентирования) многоканальных структур. Это актуально как для а.з., так и для ловушки расплава. В ловушке физико-химическое взаимодействие расплава с жертвенным материалом происходит до формирования ванны и характеризуется принципиально

разными процессами взаимодействия для оксидной и металлической фаз расплава, пространственное распределение которых может быть неравномерным.

Кроме того, следовало бы отметить в диссертации наличие в современных кодах интерфейсных программных средств семантического контроля входных данных, обеспечивающих автоматическое выполнение некоторых функций квалификации моделей.

3. В шестом разделе при обсуждении анализа неопределенностей отмечена возможность протекания аварии с альтернативными ветвями развития сценария вследствие «порогового эффекта» и рекомендовано рассматривать эти ветви отдельно. Неясно, как для таких условий понимать принцип реалистичной оценки.

4. К сожалению, автором не обсуждается проблема переноса (влияния) количественных результатов валидации интегрального кода на оценку адекватности воспроизведения процессов натурального объекта при анализах безопасности.

Прямой перенос значения δ_{model} (методика ASME) на натуральный объект нельзя считать обоснованным.

Высказанные замечания не снижают ценности диссертации в целом. Работа написана грамотным научно-техническим языком и ее оформление не вызывает замечаний.

Представленная диссертация полностью отвечает требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, а ее автор, Долганов Кирилл Сергеевич, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 2.4.9 – Ядерные энергетические установки, топливный цикл, радиационная безопасность.

Отзыв составил Мигров Юрий Андреевич, главный научный сотрудник отдела теплофизических исследований ФГУП «НИТИ им. А.П. Александрова», старший научный сотрудник, доктор технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Адрес:

188540, г. Сосновый Бор Ленинградской области, пр. Героев, д. 55, кв. 62.

Телефон:

(81369) 607-03.

E-mail:

migrov@niti.ru.

Официальный оппонент

Главный научный сотрудник,
старший научный сотрудник,
доктор технических наук

Ю.А. Мигров

Подпись Ю.А. Мигрова заверяю:

Заместитель генерального
директора по гражданской
продукции ФГУП «НИТИ
им. А.П. Александрова»



А.Л. Дмитриев