

## ОТЗЫВ

официального оппонента **Чернова Владимира Алексеевича**  
на диссертацию **Зинатуллина Рустэма Эдуардовича**  
«Применение импульсного метода для оценки подкритичности в хранилищах  
отработавшего ядерного топлива реакторов РБМК»,  
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по  
специальности 05.14.04 «Ядерные энергетические установки, включая проекти-  
рование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

При хранении и транспортировании отработавшего ядерного топлива необходимо соблюдать требования ядерной безопасности в соответствии с НП-061-05. В частности, шаг размещения отработавших тепловыделяющих сборок (ОТВС) в стеллажах хранилищ, а также взаимное расположение стеллажей должны быть выбраны такими, чтобы эффективный коэффициент размножения нейтронов не превышал 0,95 при нормальной эксплуатации, нарушениях нормальной эксплуатации, включая проектные аварии. При обосновании ядерной безопасности ядерное топливо рассматривается свежим (консервативный подход). Использование глубины выгорания ядерного топлива в качестве параметра ядерной безопасности должно быть обосновано в проекте. При этом проектом должны быть предусмотрены установки для контроля глубины выгорания.

В настоящее время для контроля глубины выгорания ОТВС РБМК в РФ разработаны установки серии МКС РБМК, которые поставлены на Ленинградскую и Курскую АЭС, в 2017 году планируется поставка на Смоленскую АЭС. В связи с необходимостью измерения выгорания каждой ОТВС, такие измерения целесообразно выполнять при штатных перемещениях ОТВС (например, при переводе ОТВС РБМК на сухое хранение). Измерение выгорания одной ОТВС с ее возвратом на прежнее место хранения занимает примерно 15 минут, что приводит к большим временным затратам не только в масштабе всего ХОЯТ, но и в масштабе отдельных участков ХОЯТ с относительно высокими значениями эффективного коэффициента размножения нейтронов.

Рассматриваемый в диссертации расчетно-экспериментальный импульсный метод оценки подкритичности в хранилищах ОТВС РБМК позволяет контролировать эффективный коэффициент размножения нейтронов, который регламентирован в НП-061-05. Импульсный метод является оперативным и достаточно точным при его использовании в ХОЯТ, что указывает на актуальность работы. Учитывая, что бассейны ХОЯТ как размножающие системы существенно отличаются от реакторных установок, для которых в первую очередь используются существующие расчетные программы, возникает необходимость в большой исследовательской работе.

В диссертации автор последовательно развивает выбранную тему – от литературного обзора до практического применения импульсного метода в ХОЯТ Ленинградской АЭС. Во введении отражены актуальность и новизна работы, ее



цель и задачи, практическая значимость, а также личный вклад автора и выносимые на защиту положения.

Первая глава содержит обзор экспериментальных методов определения подкритичности с использованием импульсного источника нейтронов с акцентом на модифицированный метод Симмонса-Кинга, в том числе начальный опыт проведения импульсных экспериментов в ХОЯТ Ленинградской АЭС. На основе ранее полученных данных выполнена постановка задач, выполнение которых позволяет создать новую методику контроля подкритичности ХОЯТ РБМК, сочетающую расчетный анализ и импульсные эксперименты.

Во второй главе представлены описание комплекса САПФИР\_95&RC\_ХОЯТ, опыт его использования на Ленинградской АЭС, расчетная модель ХОЯТ, процедура верификации расчетного комплекса. Сделан вывод о том, что комплекс САПФИР\_95&RC\_ХОЯТ может быть использован в рамках рассматриваемого импульсного метода для оценки размножающих свойств и обоснования безопасности ХОЯТ.

Третья глава посвящена исследованиям поведения нейтронного импульса в ХОЯТ. Поскольку за время проведения импульсного эксперимента в ХОЯТ асимптотический декремент затухания нейтронного потока не успевает установиться, большое внимание уделено обоснованию взаимного расположения импульсного нейтронного генератора и детектора, при котором декремент затухания, измеряемый при достаточно малых временах после импульса, будет близок к асимптотическому значению.

В четвертой главе обосновывается возможность оценки размножающих свойств ХОЯТ на основе измерения декремента затухания нейтронного потока. Изложены положения расчетно-экспериментальной методики контроля подкритичности ХОЯТ. Методика предусматривает выявление наиболее опасных участков ХОЯТ, выполнение расчетов декремента затухания нейтронного потока для наиболее опасных участков ХОЯТ при нормальной эксплуатации и проектных авариях и сопоставление расчетных значений с экспериментальными.

В пятой главе представлены результаты применения расчетно-экспериментальной методики контроля подкритичности ХОЯТ ЛАЭС. В соответствии с методикой, выполнен расчетный мониторинг размножающих свойств ХОЯТ с использованием комплекса САПФИР\_95&RC\_ХОЯТ с определением участков с максимальными размножающими свойствами, проведены импульсные эксперименты в одном из наиболее опасных участков ХОЯТ. На основе сопоставления результатов расчетов и измерений делается заключение об их взаимной согласованности.

В заключении приведены основные выводы и результаты работы, к которым относятся: разработка и верификация программного комплекса САПФИР\_95&RC\_ХОЯТ; решение методических вопросов, позволяющих определять подкритичность ХОЯТ при нормальной эксплуатации и проектных авариях; разработка и опыт применения расчетно-экспериментальной методики контроля подкритичности хранилищ ОЯТ Ленинградской АЭС с помощью установки УИП-006.

Представленные в диссертации результаты, выводы и рекомендации, полученные автором, являются достоверными и новыми. Достоверность подтверждается не только верификацией комплекса САПФИР\_95&RC\_ХОЯТ, но и внесением установки УИП-006 в Госреестр средств измерений. Новизна работы обусловлена решением комплекса задач, направленных на разработку и применение импульсного метода конкретно для ХОЯТ.

Значимость полученных автором результатов обусловлена тем, что на их основе разработаны мероприятия по обеспечению ядерной безопасности ХОЯТ Ленинградской АЭС. В дополнении к этому, результаты работы могут быть использованы в других хранилищах ОЯТ. Рекомендуется рассмотреть внедрение импульсного метода в других ХОЯТ, а также в хранилищах ОЯТ ВВЭР.

Диссертация является завершенной научной работой, содержит полученные результаты и их подробный анализ. В приложении содержится подробная информация, поясняющая рассуждения и выводы автора.

По содержанию диссертации есть некоторые замечания:

1. На рис. 5.1 обобщены результаты многолетнего мониторинга в ХОЯТ Ленинградской атомной станции. При этом значение коэффициента размножения нейтронов при падении ТВС на дно бассейна выдержки больше, чем коэффициент размножения для аварий, связанных с изменением плотности теплоносителя. В тоже время оценка запаса подкритичности, полученная на основе экспериментальных данных, показывает, что для всех аварийных ситуаций значения коэффициента размножения близки (рис. 5.8). Также значения коэффициента размножения близки для всех типов аварий в результатах, полученных автором при имитации аварийных ситуаций (см. рис. 4.4). Не указано, в чем причина такого расхождения.

2. Из текста диссертационной работы не ясно, для какого обогащения ядерного топлива ТВС сделано заключение о том, что импульсный метод чувствителен к средней величине выгорания топлива (раздел 4.2 и рис. 4.4), и справедлив ли данный вывод для других обогащений, включая ТВС, содержащие интегральный выгорающий поглотитель на основе эрбия.

3. В плане хранилища измерительную установку предлагается размещать в максимуме основной (асимптотической) собственной функции уравнения для декремента затухания нейтронного потока. Положение максимума определяется посредством расчёта. Нет пояснения, зачем в расчётной модели незаполненные места хранилища искусственно заполняются сильно выгоревшими ОТВС (см. примечание на стр. 87).

4. При численном анализе импульсных экспериментов в соотношении (3.1) сохранялись до 30 первых членов ряда (стр. 70). Не указано, почему в разложении (3.1) используется указанное число гармоник.

Указанные замечания не влияют на выводы и не снижают значимость работы.



Таким образом, диссертация Зинатуллина Рустема Эдуардовича на соискание ученой степени кандидата технических наук является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи применения импульсного метода для оценки подкритичности в хранилищах отработавшего ядерного топлива реакторов РБМК, имеющей существенное значение для обоснования ядерной безопасности при обращении с отработавшим ядерным топливом РБМК.

Диссертационная работа Зинатуллина Рустема Эдуардовича удовлетворяет требованиям «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание степени кандидата наук, а её автор, Зинатуллин Рустем Эдуардович, заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации».

Официальный оппонент,  
к.ф.-м.н., доцент Чернов Владимир Алексеевич  
АО «ГНЦ РФ-ФЭИ», заместитель начальника  
лаборатории нейтронно-физических исследований по науке  
249033, Калужская обл., г. Обнинск, пл. Бондаренко, д. 1  
Тел.: 8 (484)399-81-61, 8-905-640-52-30  
E-mail: vac.lnfi@ippe.ru

Подпись Чернова В.А. удостоверяю  
Заместитель генерального директора  
по науке и инновационной деятельности,  
кандидат экономических наук,  
доцент



Айрапетова Наталья Германовна