



ПРЕДПРИЯТИЕ ГОСКОРПОРАЦИИ «РОСАТОМ»

Акционерное общество «Ордена Ленина
Научно-исследовательский и конструкторский институт
энерготехники имени Н. А. Доллежала»
(АО «НИКИЭТ»)
а/я 788, Москва, 101000
Телетайп: 611569 МОМЕНТ,
Тел. (499) 263-73-88, факс (499) 788-20-52
E-mail: nikiet@nikiet.ru, www.nikiet.ru

УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор



А.В. Каплиенко

2018 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу Алексева Андрея Тарасовича «Моделирование термомеханического поведения графитового блока реактора РБМК-1000 с применением усовершенствованных алгоритмов расчета», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 - Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации

Актуальность для науки и практики

В настоящее время на территории РФ эксплуатируются одиннадцать энергоблоков с реактором РБМК-1000 на Ленинградской, Курской и Смоленской АЭС. В последние несколько лет доля АЭС в энергобалансе страны составляла порядка 18%, при этом на долю АЭС с РБМК пришлось около 45% вырабатываемой АЭС России электроэнергии.

Срок эксплуатации энергоблоков с РБМК согласно проекту определяется 30 годами, к текущему моменту десять из одиннадцати энергоблоков эксплуатируются за пределами проектного срока службы. При этом графитовые кладки пяти энергоблоков (№1, №2, №3 Ленинградской и №1, №2 Курской АЭС) эксплуатируются в условиях развивающегося формоизменения. Значительное формоизменение графита привело к ускоренному росту стрел прогибов топливных каналов и каналов СУЗ. Зафиксированные численные характеристики деформирования кладок свидетельствовали о том, что эксплуатация энергоблоков без уменьшения прогиба колонн невозможна. Для сохранения производства энергии на АЭС с РБМК, начиная с 2013 года, было осуществлено внедрение и полномасштабная реализация технологии восстановления ресурсных характеристик (ВРХ) графитовой кладки, в результате чего стрелы прогиба ячеек были снижены до значений менее 50 мм.



Сертифицировано
Русским Регистром

AA.1.14

Параллельно с внедрением технологии ВРХ для обоснования безопасности дальнейшей эксплуатации реакторов был развернут комплекс научно-исследовательских работ, одной из задач которых является расчетный прогноз развития деформационных процессов в графитовой кладке.

Таким образом, создание термомеханической модели графитовой кладки активной зоны РБМК в условиях формоизменения стало актуальной задачей для подтверждения срока безопасной эксплуатации энергоблоков АЭС.

Целью выполненной работы является создание компьютерной модели термомеханического поведения графитового блока с учетом усовершенствованных физико-механических моделей.

Основные научные результаты и их новизна

1. Разработана модель материала, учитывающая анизотропное поведение графита при терморadiационном воздействии.

2. Разработана методика учета деформаций ползучести графита для трехмерных задач при компьютерном моделировании.

3. Исследовано влияние различных критериев разрушения на поведение графитового блока, находящегося под воздействием неравномерного нейтронного облучения.

4. Разработана феноменологическая модель, позволяющая учесть особенности микроструктуры графита в зависимости от накопленного флюенса нейтронов, в том числе и при переходе от свойств опытных образцов к свойствам реальных графитовых блоков.

5. Предложены подходы к моделированию растрескивания графитового блока методом конечных элементов, позволяющие оптимизировать время, затрачиваемое на проведение расчета.

Перечисленные выше результаты обладают научной новизной, т.к. получены впервые и позволили моделировать поведение графита с трещинами как до, так и после ВРХ.

Практическая значимость и достоверность полученных результатов

Результаты диссертационной работы используются, при проведении расчетов выработанного и остаточного ресурса элементов активной зоны РБМК-1000, искривления графитовых колон, топливных каналов, каналов СУЗ и позволяют обосновывать безопасность эксплуатации энергоблоков АЭС с РБМК, в том числе и после проведения ВРХ.

Подтверждение безопасности является обязательным условием действия лицензий на эксплуатацию и имеет практическую значимость для работы АЭС с выработкой электроэнергии.

Достоверность результатов также подтверждена методической обоснованностью предлагаемых математических моделей поведения графита сопоставлением полученных результатов с результатами ранее проводившихся исследований и зафиксированными фактами трещинообразования графитовых блоках на РБМК, представлением выполненных исследований международных и российских конференциях.

Материалы диссертации рекомендуется использовать для проведения анализа поведения отдельно взятых графитовых блоков. При этом представленные в диссертационном исследовании физические модели графита могут быть использованы и для более сложных расчетов, в которых графитовая кладка рассматривается в целом.

Личный вклад автора состоит в том, что он участвовал в разработке модификации программы GRA3D, на основе которой было исследовано трехмерное поведение графитового блока, автором было проанализировано влияние различных факторов (анизотропное поведение, проявление свойств ползучести, критерии разрушения и особенности микроструктуры) результаты моделирования напряженно-деформированного состояния графитового блока, проведена верификация результатов расчета экспериментальными данными, а также подготовлены публикации по теме диссертации, сформулированы основные выводы и рекомендации.

Результаты работы прошли достаточную **апробацию** в докладах автора российских и международных конференциях (год, город, страна), межотраслевых семинарах, а также в публикациях по материалам диссертации: научных статей в 4 рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК.

Содержание автореферата соответствует содержанию и выводу диссертации. Тема и содержание автореферата и диссертации соответствуют паспорту специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Замечания к работе

1. В тексте автор неоднократно указывает, что поведение блока рассматривается «под влиянием неравномерного облучения и при больших градиентах температурных полей», при этом нигде не сказано, как именно учитывается вклад температурной деформации в общую картину НДС. При рассмотрении полной деформации в подразделе 4.2 автор раскладывает ее на три компоненты: упругую составляющую, составляющую изменения объема и деформацию ползучести. Температурная составляющая во всех приведенных соотношениях отсутствует.

2. В работе не учтена неравномерность распределения поля флюенса в окружном направлении графитового блока, обусловленная тем, что окружение графитовых колонн состоит из ячеек, внутри которых размещены каналы с разными энерговыработками. При рассмотрении только симметричного поля нейтронного облучения оценка поведения блоков, входящих в состав графитовых колонн, рядом с которыми расположены ячейки с каналами СУЗ, требует дополнительного анализа.

3. Из текста неясно, как автор учитывает в своих расчетах ползучесть графита. В подразделе 4.2 для расчета приращения деформации ползучести на n -ом шаге интегрирования ошибочно приведено соотношение для упругой составляющей деформации в текущий момент времени. При этом соотношения для приращений деформаций ползучести отсутствуют.

4. При оценке влияния различных критериев разрушения на прочность графитового блока в качестве результатов приведены графики перемещений точки, лежащей на внутренней поверхности блока. Руководствуясь данными графиками, нельзя оценить момент времени, соответствующий его первичному макрорастрескиванию, и сделать вывод о целесообразности применения того или иного критерия. При этом автор не приводит ни одного графика с изменением во времени эквивалентного напряжения в графитовом блоке. В тексте не хватает результатов, содержащих информацию о действующих в блоке напряжениях, на основании которых можно было бы провести сравнительный анализ их значений с пределами прочности.

5. При описании феноменологической модели (подраздел 6.2) автор не в полном объеме приводит значения констант, входящих в данную модель, в связи с чем, невозможно повторить и сопоставить полученные им результаты с результатами независимых расчетов.

Отмеченные замечания в целом не снижают ценности полученных результатов и достоинств работы.

Диссертация представляет собой законченную, самостоятельно выполненную научно-квалификационную работу на актуальную тему, в которой решена важная для безопасности АЭС с РБМК задача, направленная на обоснование продления срока службы графитовой кладки реакторов РБМК-1000. Работа отвечает требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Алексеев А.Т. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03 – Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации.

Отзыв рассмотрен и одобрен на заседании отдела расчетов на прочность АО «НИКИЭТ» (протокол от 06.03.2018г. №1/2018).

Научный руководитель направления
целостности конструкций АО «НИКИЭТ»,
канд. тех. наук
(499) 263-74-33, evropin@nikiet.ru

Европин Сергей
Владимирович

Начальник отдела расчетов на прочность
АО «НИКИЭТ»
(499) 763-02-85, rakhmanov@nikiet.ru

Рахманов
Алексей
Платонович

Старший научный сотрудник отдела
расчетов на прочность АО «НИКИЭТ»,
канд. техн. наук
(499) 763-74-88, koreckiy@nikiet.ru

Корецкий
Сергей
Александрович

АО «Ордена Ленина Научно-исследовательский и
конструкторский институт энерготехники имени
Н.А. Доллежала», а/я 788, Москва, 101000,
тел.: (499) 263-73-37, e-mail: nikiet@nikiet.ru

Подписи Европина С.В., Рахманова А.П., Корецкого С.А. заверяю

Ученый секретарь АО «НИКИЭТ»



А.В. Джалавян