

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Алексева Андрея Тарасовича «Моделирование термомеханического поведения графитового блока ректора РБМК-1000 с применением усовершенствованных алгоритмов расчетов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.03. – «Ядерные энергетические установки, включая проектирование, эксплуатацию и вывод из эксплуатации»

Актуальность работ, вошедших в диссертацию «Моделирование термомеханического поведения графитового блока ректора РБМК-1000 с применением усовершенствованных алгоритмов расчетов», обусловлена рядом предпосылок, вытекающих из общих тенденций развития атомной энергетики: значительным повышением требований к обеспечению безопасности атомных энергетических установок, с одной стороны, и необходимостью продлевать их ресурс, с другой. Многие расчеты, моделирующие процессы, происходящие на атомных станциях, выполнение которых в недавнем прошлом не представлялось возможным из-за трудоемкости вычислений, теперь могут быть выполнены в разумные сроки.

Достижение этих целей в значительной степени обеспечивается за счёт постоянного совершенствования методов математического моделирования сложных и взаимосвязанных нейтронно-физических, теплофизических и термомеханических процессов

В настоящее время широкое распространение получили разнообразные коммерческие программные комплексы для прочностных расчетов с применением метода конечных элементов или суперэлементов. Большое количество исследователей используют в своих работах комплексы ABAQUS, ANSYS и т.п. Однако специфика напряженно-деформированного состояния объекта исследований в этой работе не позволяет без существенных упрощающих преобразований использовать указанные выше комплексы. Автор представленной работы модифицировал разработанный в НИЦ «Курчатовский институт» программный комплекс GRA3D, ориентируя его на решение поставленных в диссертации задач. Это позволило ему использовать в расчетах большое количество физических моделей термомеханического поведения графита, известных, но ранее не использовавшихся в комплексных расчетах напряженно-деформированного состояния графитовых кладок.

Большинство реакторов типа РБМК-1000 было запущено в 70-ых годах XX века и, на данный момент, находятся в стадии продления эксплуатации. Тем не менее, остается открытым вопрос о предельном сроке эксплуатации графитовой кладки. Из литературы известно, что в промышленных реакторах после двадцати лет эксплуатации возникали такие же проблемы с графитовой кладкой, как и сейчас на РБМК. Однако с этими проблемами справлялись инженерно и эксплуатировали реакторы более 40 лет, несмотря на сильное формоизменение графита и многократное растрескивание. Для гражданских реакторов, используемых на АЭС, применяются другие, более жесткие

требования по безопасности, поэтому эксплуатировать их можно только постоянно оценивая состояние графитовой кладки как одного из ресурсопределяющих элементов реактора. Данная работа позволит в будущем более адекватно прогнозировать состояние и оценивать прочность графитовой кладки на поздних сроках эксплуатации.

Представляет научный интерес приведенная в работе методика по учёту анизотропии. Сильная анизотропия графита ГР-280, используемого на РБМК-1000, оказывает влияние на все его эксплуатационные характеристики. Поэтому в работе большое внимание уделяется уравнениям деформирования анизотропного тела. Эти уравнения известны, однако, в литературе, как правило, в окончательном виде не приводятся, поэтому полезно увидеть окончательный вид уравнений, соответствующий анизотропному деформирующемуся телу. В модели ползучести автор работы также учёл возможную анизотропию ползучести.

Имеет научный интерес предложенный автором в главе 6 критерий разрушения для сложного напряженного состояния, в котором напряжения сравниваются с пределом прочности по двум направлениям: в плоскости перпендикулярной оси блока и параллельной.

Научная новизна также обусловлена комплексным подходом к производимым расчетам термомеханического поведения графитового блока. В недавнем прошлом подобные расчеты носили узкоспециализированный прикладной характер, не были широко опубликованы, а в имеющихся работах даже не упоминается о многих рассматриваемых аспектах поведения графита в ходе эксплуатации. Кроме того, в прочностных расчетах графитового блока впервые осуществляется переход к некоторым особенностям микроструктуры графита. Известно, что этот материал производится из кокса и смоляного пека, каждый из которых позже превращается в соответствующую фазу графита: наполнитель и связующее. Кроме того, графит обладает высокой пористостью – до 24% в исходном состоянии. Именно эти особенности приводят к отклонениям его деформационного поведения от расчетных прогнозов, основанных на классических моделях механики твердого деформируемого тела. Следствием этого являются большие погрешности в расчетных прогнозах количественных характеристик формоизменения и последующего растрескивания.

По автореферату диссертации имеются следующие замечания:

- 1) В автореферате приводятся данные по «анизотропному» критерию прочности, приводятся графики зависимостей, однако не объясняется, влияет ли анизотропия графита напрямую на процесс растрескивания. Стоило бы рассмотреть исследуемую задачу не с точки зрения теории прочности, а механики разрушения.
- 2) Модель, учитывающая особенности микроструктуры графита, занимает важное место в диссертационной работе. Под микроструктурой обычно понимается указанные выше «наполнитель» и «связующее». Однако в модели речь идёт только

об эволюции дислокационной сетки и неоднородностях нейтронных и температурных полей, а другие особенности микроструктуры не рассматриваются. Это требует дополнительного объяснения.

Сделанные замечания не снижают ценность результатов работы и ее можно считать законченной и выполненной на хорошем научном уровне.

По своему теоретическому и методическому уровню, объему проведенных исследований, актуальности и научной новизне, а также практической значимости полученных результатов соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям «Положением о порядке присуждения ученых степеней» (в ред. Постановления Правительства РФ от 24.09.2013 № 842), 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»

Заместитель по научной работе заведующего  
кафедрой «Прикладная механика»  
Московского государственного технического  
университета им. Н.Э. Баумана,  
105005, Москва, 2-я Бауманская, 5, стр. 1,  
доктор технических наук по специальности  
01.02.06 – Динамика, прочность машин,  
приборов и аппаратуры, профессор  
Тел. (499) 263-69-88,  
E-mail: pokrovsky@bmstu.ru

Покровский  
Алексей  
Михайлович

**И Е Р Н О:**

начальника Управления кадров

**МТУ им Н.Э. Баумана**

**А. Г. МАТВЕЕВ**

