

Главный инструмент – интеллект

Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт» уже более 70 лет является одной из главных интеллектуальных опор атомной отрасли. Об участии Курчатовского института в программе восстановления ресурсных характеристик графитовой кладки рассказывают люди, принимавшие непосредственное участие в этих работах



Ярослав ШТРОМБАХ, заместитель директора по направлению ядерные технологии – директор Курчатовского центра ядерных технологий, президент Ядерного общества России, д. т. н., профессор

– С самого начала реализации атомного проекта одной из главных задач было создание ядерно-чистого графита. Наш бывший начальник Владимир Владимирович Гончаров по поручению Курчатова в свое время руководил его созданием в НИИграфит.

Это всегда была вещь стратегическая, потому что только на

двух замедлителях – на графите и на тяжелой воде – может работать реактор на природном уране. Графит развивался в России как материал для промышленных реакторов, на которых нарабатывался плутоний. На них было получено основное понимание кинетики поведения графита под облучением.

Схема промышленных реакторов была преобразована в схему энергетического реактора, который называется РБМК.

Работу курировало отделение канальных реакторов. Сейчас знание по графиту стало понемногу уходить во всем мире, оно сохранилось и сконцентрировано только у нас, в Курчатовском институте.

В 70-х годах мы участвовали в разработке «Норм расчета на прочность узлов из графита уранграфитовых реакторов». Они явились основой для того, чтобы предсказывать поведение графита, и сегодня нормы, по которым предполагалось оценивать пределы работоспособности графитовых конструкций, модернизируются и изменяются. Они связаны как со свойствами самого графита, так и с конструкцией, с блоком.

Затем прошел период, когда промышленные реакторы выходили в стадию, аналогичную той, которая сегодня есть на РБМК, была получена большая информация по кинетике формоизменения графита, растрескивания блоков, изменения кладки. Мы использовали эти данные для того, чтобы оценивать то, что будет происходить на реакторах РБМК. Но есть технологические, конструктивные и материаловедческие различия между ними, а подходы здесь более серьезные, потому что РБМК – гражданский реактор, расположенный в районе больших городов.

Кинетика изменения увеличения прогиба на этих блоках оказалась достаточно высокой, и стало ясно, что надо предпринимать срочные меры.

Мы пошли двумя путями. С одной стороны, можно было снимать консерватизм в расчетах. Этот путь принес успех – первоначальные критерии были значительно увеличены, мы внесли более реальные подходы к предельным характеристикам самого материала и кладки.

Второй путь — это восстановление ресурсных характеристик. В Курчатовском институте была проделана большая работа, связанная с нейтронно-физическими, теплофизическими расчетами, с оценками безопасности будущей эксплуатации разрезанной зоны, с оценкой пожаро- и взрывобезопасности таких работ. А подразделение, которое занимается материаловедением и физикой прочности, сделало большую работу по созданию трехмерной модели поведения кладки в целом. Она позволяет детально описать кинетику поведения как целостных блоков, оставшихся в зоне, так и разрезанных, с учетом всего —

формоизменения графита, взаимодействия между блоком и трубой, между отдельными блоками и т.д. Это является тем основным инструментом, который в дальнейшем позволит эксплуатировать реакторы РБМК.

Отмечу еще, что очень велика роль Курчатовского института во взаимодействии с Ростехнадзором. Нужно было показать, что новое состояние блока не противоречит действующим документам.

И мы, как авторы изначальных критериев, норм, знали, как можно менять то, что создано.

Евгений БУРЛАКОВ, директор отделения канальных реакторов, к. т. н.

— Однажды руководитель отрасли С.В. Кириенко сказал нам: «Ваша главная задача — сказать, во-первых, можно ли отремонтировать блок, чтобы он мог дальше работать, далее — сколько времени блок будет стоять на ремонте, сколько этот ремонт будет стоить и сколько блок проработает после ремонта».

Главной задачей было обоснование технической, ядерной и радиационной безопасности и предсказание свойств графитовой кладки после ремонта. Нужно было создать или модернизировать те коды, которые были, оценить кладку в целом. Нам поручили и всю радиационную часть ремонта. В обосновании безопасности появились новые задачи, особенно с учетом постфукусимских событий, — как при тяжелых запроектных авариях поведет себя отремонтированный энергоблок, в котором имеются уже разрезанные графитовые блоки. И краеугольный камень, с чего все начиналось, — это свойства графита. У нас есть отдел

в Институте реакторных материалов, который занимался исследованием свойств графита. Эта работа, во-первых, позволяет снять консерватизм, во-вторых, заложить в расчеты такие свойства графита, которые есть на самом деле.

Ремонт продолжался до сентября 2013 года, после чего мы вместе с НИКИЭТ, станцией, Росэнергоатомом разработали обоснование безопасности работы блока уже после ремонта, потом было очень серьезное рассмотрение на совместном заседании трех научно-технических советов: НТС Росэнергоатома — руководитель Асмолов В.Г.; первая секция НТС Росатома — руководитель Асмолов В.Г.; и третья секция НТС Ростехнадзора — руководитель Беззубцев В. С. Эти три секции одобрили работу, Ростехнадзор выдал лицензию на эксплуатацию энергоблока № 1 ЛАЭС после восстановительного ремонта.

Это историческая дата в эксплуатации РБМК — пуск 1-го блока после ремон-



та, и надо понимать, что если бы ремонта не было, блок бы ожидала работа без генерации, затем эксплуатация в режиме окончательного останова и вывод из эксплуатации.

Александр ТУТНОВ, заместитель директора ИПМТ, д. т. н., профессор



— Вопрос, который задали руководители отрасли: сколько, собственно говоря, проработает блок в случае успешного ремонта, — был ключевым, ведь могло оказаться, что проводить ремонт просто нерентабельно. В этой ситуации требуется очень высокая степень доверия к инструменту, с помощью которого делается прогноз послеремонтного ресурса. Да и эксперты надзорных органов при таком нетипичном поведении графитовой кладки требуют, чтобы в обоснованиях безопасности использовался инструмент повышенного качества.

Сейчас существуют суперЭВМ, с помощью которых можно решать весьма сложные задачи. Задачу расчета термомеханики графитовой кладки в целом мы сумели решить, опираясь на установлен-

ный в НИЦ КИ вычислительный кластер. В мире многие исследователи имеют возможность вести расчеты на суперЭВМ. Однако это очень долго и дорого: решение этой задачи сводится к решению системы линейных уравнений размерностью 10 млрд. Можете себе представить, какой мощный вычислительный кластер нужно иметь, чтобы все это влезло в оперативную и дисковую память ЭВМ. При этом не следует забывать, что когда мы работаем с такими большими массивами, неизбежно возникают проблемы вычислительной математики, и сказать, что для решения таких сложных задач необходимо лишь иметь доступ к мощной вычислительной машине, нельзя. Набегают потери точности, поэтому нужно использовать специальные при-



емы, чтобы побороть эти объективные проблемы вычислительной математики. Существует еще другой путь, который традиционно применялся в отечественной науке, — подходы, которые мы развиваем уже более 10 лет, так называемые супер-элементы, модели, вложенные друг в друга. Важно при этом грамотно задать зоны, в которых элементы кладки могут контактировать друг с другом.

При таком подходе получается, что на каждом подуровне мы решили задачи размерностью порядка 30–50 млн, максимум 100, и это существенно снизило требования к мощности вычислительного кластера и позволило обеспечить решение

задачи за приемлемое время, с учетом необходимости проведения многовариантных расчетов по поиску наиболее приемлемой схемы и технологии ремонта.

Для этого задача должна решаться достаточно быстро, и мы должны получать результат как можно более точный и объективный в силу ответственности, которая на нас лежит.

Я считаю, что это удалось сделать, достичь высокой степени доверия к расчетным прогнозам, убедиться самим, что прогнозы верны, что кладка проработает столько, сколько обещаем, и главное — убедить экспертов надзорных органов, что прогнозы достаточно надежны.



Олег ЧУГУНОВ, начальник отдела ИРМТ, д. т. н.

— Главная задача — сделать прогноз на основании критериев. Сложности с критериями были, в частности, для 2-го блока Курской АЭС — самого проблемного блока с точки зрения прочности. Нам задали вопрос: имеет ли смысл делать ремонт, если он через несколько лет все равно выйдет из строя по прочностным критериям? Мы расчетно-экспериментальным путем сумели обосновать новое значение этого критерия.

С Ростехнадзором это новое значение критерия было согласовано, что существенно повысит остаточный ресурс кладки. В свое время была выпущена методика Росэнергоатома, касающаяся оценки оставшегося ресурса графитовой кладки. Там все расписано, но имен-

но обоснованное снятие консерватизма позволило нам продвинуться и в этой части. Есть два основных критерия: прочностной и критерий искривления.

Руководство Росэнергоатома обеспокоилось вопросом, связанным с оценкой остаточного ресурса кладки, и нам поставили задачу: оценить ресурс всех энергоблоков и сделать сравнительный анализ. В 2013 году мы этот отчет выпустили по всем энергоблокам, кроме 3-го Смоленской АЭС.

Провести сравнительный анализ нужно не только для того, чтобы продлить ресурс кладки, но и чтобы наметить порядок выхода энергоблоков в ремонт, а также порядок строительства замещающих мощностей.

Владимир ТКАЧЕВ, начальник лаборатории, к. т. н.

— Изменение плотности графита под действием облучения (вторичное распухание графита) начинается на внутренней поверхности графитового блока, где доза облучения наибольшая. Под его действием в наружной области блока возникают растягивающие напряжения, увеличение которых приводит к появлению трещины в области растяжения. Блок начинает разворачиваться, расталкивать соседние колонны, кладка искривляется. Отсюда напрашивалась технология ремонта. Чтобы понять, в каких местах резать кладку, учесть экономический фактор — время, расход материалов, рабочей силы и т.д., был необходим прогноз. В этом направлении, а также в направлении, связанном с дальнейшей эксплуатацией колонн с отремонтированными блоками, и проводилась наша работа. В нашем распоряжении имелись аттестованные программы, но нужно было их дорабатывать и до-

полнительно верифицировать. Кроме того, следовало создавать новые компьютерные коды для альтернативного подтверждения результатов расчетов. Была выполнена большая экспериментальная работа. Осуществлялись работы не только по прогнозу работы реактора в процессе нормальной, устойчивой эксплуатации, но и при переходных режимах — разогрева кладки и охлаждения при останове реактора. Рассматривались также динамические воздействия — сейсмика, аварии с разрывом труб каналов, при которых также происходит динамическое нагружение кладки. Были уточнены критерии работоспособности графита, выполнено тестирование результатов по альтернативным расчетным кодам. В результате были созданы обоснования для ремонта кладки и продления эксплуатации 1-го энергоблока ЛАЭС. Работы по прогнозу других блоков, по разработке



критериев, по совершенствованию программ и по их верификации в настоящее время продолжают.



Александр КРАЮШКИН, начальник отдела отделения каналных реакторов, д. т. н.

— Важной задачей стало обоснование радиационной безопасности работ, когда представление о том, какова будет технология ремонта, было только приблизительное. Тем не менее с помощью ЛАЭС мы это сделали и безопасность обосновали. Полезным было общение со специалистами радиационной безопасности ЛАЭС.

Далее у нас были такие задачи: оценка флюенса быстрых нейтронов, оценка температуры графита в растрескавшейся кладке, были сделаны специальные рас-

четы, и наши данные стали исходными для специалистов по расчету уже прогноза искривления, а работа по оценке максимальных температур графита сама по себе имеет важное значение, поскольку графит должен иметь температуру не выше 750 °С.

И наша самая главная задача. Мы должны были совместно с коллегами из НИКИЭТ и ВНИИАЭС показать, что проблем не возникнет. И это нам удалось.

Ольга ШЕВЕЛЁВА