



из первых рук

# Приручаем излучение

**Прорывные методы и технологии, в том числе нанодиагностика и наноконструирование, позволяют вдвое повысить ресурс корпуса атомного реактора. Теперь он будет служить более 100 лет.**

Ярослав Штромбах - первый заместитель директора РНЦ "Курчатовский институт", заместитель директора по научной работе по направлению "Атомная энергетика и перспективные энергетические технологии", научный руководитель Института реакторных материалов и технологий. 37 лет назад молодым специалистом пришел он в Курчатовский институт. На первых порах поддерживала теплая атмосфера "горячей" лаборатории. Учился по ходу дела, решая все более сложные задачи.

Касались они взаимодействия излучения с веществом. Этой теме Я.Штромбах верен и поныне. А начало положили исследования простого, на первый взгляд, материала - графита.

- Это очень интересный одноатомный материал, - рассказывает Ярослав Игоревич. - Сегодня углерод в нанотехнологиях - это нанотрубки и фуллерены. А в то время - ключ к развитию атомной промышленности. Главными материалами первого в Евразии реактора, запущенного Курчатовым в 1946 году, служили уран и чистый графит. И когда я пришел в институт, то стал заниматься использованием графита для высокотемпературных газоохладимых реакторов. Фундаментальные и прикладные исследования требовали длительных экспериментов по облучению образцов различных материалов при разных температурах, так что кандидатскую защитил только в 35 лет. Это особенность нашего института: прежде чем "взяться за перо", экспериментаторы ставят многочисленные длительные опыты, обобщают накопленный материал. Зато уровень диссертаций выше обычных аспирантских. Да и коллектив у нас взыскательный. Традиционное требование: исследования должны приносить реальную пользу.

Вскоре после защиты стал руководителем крупного экспериментального комплекса по исследованию облученных материалов - все того же графита, тепловыделяющих элементов и стальных для корпусов реакторов. Здесь и сосредоточились мои научные интересы. Тогда как раз был критический момент в эксплуатации первого поколения водо-водяных реакторов. Мы столкнулись с неожиданной сильными негативными эффектами. Под действием излучения структура металла, его физические свойства по мере эксплуатации реактора менялись кардинально. Несмотря на высокую радиационную стойкость сталей корпусов реакторов, металл сварных швов делался хрупким, происходило, как у нас говорят, его охрупчивание. Прочная, надежная сталь становилась похожей на стекло, и в случае экстренного охлаждения корпуса реактора, что предусматривается при аварийных ситуациях, корпус мог разрушиться практически мгновенно - как горячий стакан, в который налили ледяную воду.

Мои коллеги из Курчатовского института и других организаций разработали метод так называемого восстановительного отжига. В результате свойства металла восстанавливались. Проблема была решена, однако требовалось даль-

нейшее изучение физики процессов, происходящих в металле при облучении и отжиге. При этом выяснилось, что на макро- и микроуровне облучение не дает видимых эффектов, а основные процессы, связанные с образованием радиационных дефектов, происходят в наномасштабе.

В последние годы этими исследованиями мы занимались в тесном контакте с технологами. Прежде всего, с коллегами из Санкт-Петербургского института конструкционных материалов "Прометей". Изучали, в частности, физические процессы, которые вызывают изменение свойств металла. Это позволило разработать методы управления структурами металла на наномасштабе - повысить его радиационную и тепловую



стойкость. Так сформировалось чрезвычайно важное научное направление, которое развивает Институт реакторных материалов и технологий РНЦ "Курчатовский институт". Наш коллектив параллельно занимается и фундаментальными, и прикладными исследованиями.

С помощью нанодиагностики мы вникли в суть физики процессов, происходящих в материалах под облучением, и вместе с "Прометеем" разработали для Росатома новое поколение конструкционных материалов. Теперь срок эксплуатации корпуса реактора увеличился в полтора-два раза, впервые перешагнув 100-летний рубеж. Это дает огромную экономическую выгоду, прежде всего никеля, значительно сокращается загрязнение окружающей среды. "Хоронить" отработавшие свой срок корпуса реакторов придется в два раза реже. А это чрезвычайно ответственная, сложная и дорогостоящая операция, напрямую влияющая на экологию.

"Прометей" предложил очень перспективный и интересный метод разработки так называемых малоактивируемых сталей. Главное в нем - замена некоторых основных легирующих элементов и резкое снижение уровня примесей. Технологи, я бы сказал, на генетическом уровне перестроили некоторые структуры материала, нашли новые режимы термообработки и добились дальнейшего повышения радиационной стойкости металла. Что очень важно: он будет намного быстрее терять радиоактивность после окончания срока эксплуатации.

Зная "поведение" материала на наномасштабе, мы влияем на него, изменяя химический состав и температуру обработки - в этом нау-хау нашей технологии. Во время эксплуатации наноструктуры, образующиеся в металле под действием облучения, не приводят к резкому ухудшению свойств. Таким образом, удается избежать главной беды, грозящей корпусу реакторов, - охрупчиванию металла. Правда, совсем избавиться от этого опасного явления не получается, однако теперь процесс удастся растянуть во времени.

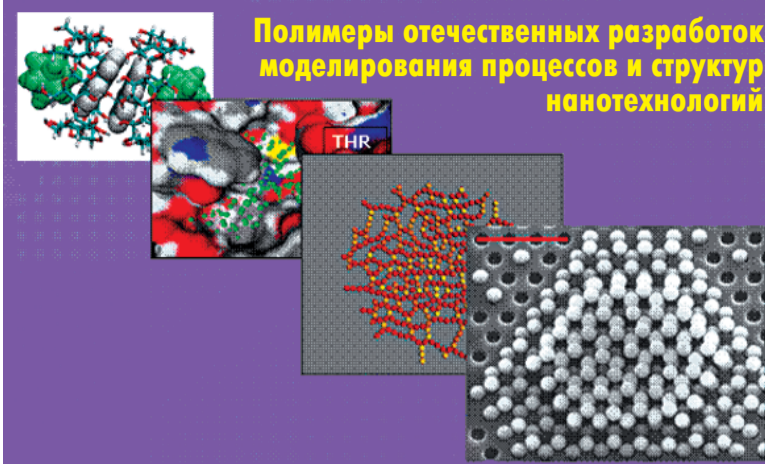
Для отработки этих уникальных технологий у Курчатовского института есть все условия, в частности, синхротронный источник, нейтронный реактор, горячие камеры, которые позволяют проводить полный цикл исследований свойств и наноструктуры материалов, в том числе после нейтронного облучения. У нас прекрасные специалисты, все этапы исследований и экспериментов они выстраивают в единую цепочку. Мы уверены, что двигаемся в правильном направлении. Сейчас первые образцы новых материалов проходят полный цикл испытаний. Только после этого можно будет передать технологию Росатому для серийного производства корпусов реакторов. Однако часть новых материалов уже сейчас применяется для опытного внедрения. Со временем конструкционные стали нового поколения будут использоваться во всех элементах атомных реакто-

ров. Безусловно, это чрезвычайно ответственная и масштабная работа. Она требует координации усилий исследователей, экспериментаторов, технологов. Это наряду с собственными исследованиями традиционная роль Курчатовского института. Замечу: серийное производство долговечных корпусов не повлечет переналадки всего и вся. Потребуется, я бы сказал, лишь тонкая настройка производства. Экономический эффект, мы уверены, будет очень значительным. Затраты окупятся достаточно быстро - за 10-15 лет. Не забудем к тому же возможности экспорта новых материалов и корпусов, значительно повышающиеся конкурентные преимущества российских блоков АЭС.

За рубежом внимательно следят за нашими работами, поскольку практически все развитые страны решают те же проблемы, и, естественно, отмечают наш уровень. Коллеги обращаются к российскому опыту создания сталей на основе найденного нами состава легирования. Оценивают перспективы наших нынешних разработок - теплостойких сталей нового поколения. Они найдут применение в разных областях: химической промышленности, энергетике, кораблестроении...

А мы идем дальше. Мой коллега профессор Борис Гурович разрабатывает уникальный метод изменения свойств материалов путем воздействия на них излучением. Ведь оно в состоянии не только разрушать материалы, но и придавать им новые свойства. Можно сказать, мы излучение "приручаем".

Смена идет



**Полимеры отечественных разработок моделирования процессов и структур нанотехнологий**

## Модели как цели

**Похоже, наступает время, когда лидирующую роль в процессе познания, а также в создании материалов и структур с заданными свойствами будет играть не эксперимент, а компьютерное моделирование.**

Директор Центра фотохимии РАН академик Михаил Алфимов полагает, что именно развитие работ в этой области определит будущее российской нанотехнологии.

- С помощью виртуальных моделей, - говорит он, - можно описывать реальную действительность, предсказывать, конструировать, производить расчет свойств материала без эксперимента. Опираясь на модель и прогноз, можно перебрать много вариантов - это дешевле и быстрее. Теория помогает сузить круг - вы рассчитываете, выбираете самое интересное и тогда только ставите прицельный эксперимент. Но на сегодня едва ли не все теоретические исследования, в том числе компьютерное моделирование, локализируются на отдельных уровнях. Очень мало работ, которые позволяют промоделировать всю структуру снизу доверху. А потребность в таком мультимасштабном моделировании существует.

Свою точку зрения Михаил Владимирович изложил в основном докладе первой Всероссийской конференции "Многомасштабное моделирование процессов и структур в нанотехнологиях", которая прошла в Московском инженерно-физическом институте (МИФИ) под эгидой Министерства образования и науки и РНЦ "Курчатовский институт".

В соответствии с программой конференции были рассмотрены следующие вопросы: методология многомасштабного моделирования и прототипирования процессов и структур в нанотехнологиях; алгоритмы и программы для моделирования в нанотехнологиях; компьютерное моделирование наноструктур, наноматериалов и устройств с заданными свойствами; компьютерное моделирование физико-химических процессов в нанотехнологиях.

Основные задачи моделирования структур и процессов нанотехнологий - это описание характеристик материала на атомарном и молекулярном уровне; прогнозирование поведения реальных систем, которые лежат за пределами современных возможностей эксперимента, а также создание полноценных систем быстрого прототипирования новых наносистем и материалов, построенных вокруг вычислительных моделей. Во многих случаях эти материалы и устройства должны иметь сложный состав и иерархическое строение (по типу русской матрешки), то есть они должны состоять из "вложенных" друг в друга субструктур, одной из которых как раз и будет наноструктура.

Когда же произойдет смена лидера - то есть когда компьютерное моделирование перестанет быть "помощником" эксперимента? Академик Алфимов считает, что это случится в тот момент, когда технологии позволят строить иерархические структуры по стратегии "снизу-вверх".

Уже сегодня есть примеры выстраивания иерархической цепочки: применяя мультимасштабное моделирование, ученые проектируют молекулы - прототипы будущих лекарств. По общему мнению участников конференции, для более успешного продвижения вперед необходимо привлекать больше молодежи.

- Да, это занятие для молодых, - подтверждает ректор МИФИ Михаил Стриханов. - Сегодняшние студенты - компьютерное поколение. Мы подписали недавно соглашение с Курчатовским институтом о создании совместного образовательного-научного центра, и одним из его функциональных направлений станет наномоделирование.

## К скачку готовы

**Не совсем обычную школу-семинар провел недавно Московский институт электроники и математики (МИЭМ).**

Вуз пригласил лекторов из числа руководителей ведущих российских научных организаций, университетов, центров нанотехнологий, которые на доступном для понимания студентов-старшекурсников уровне представили такую непростую тему, как "Наноструктуры, модели, анализ и управление".

Семинар был посвящен юбилею научно-педагогической деятельности академика Виктора Маслова, создавшего в стенах МИЭМ научную школу мирового класса. Этого выдающегося российского

математика и механика отличала удивительная интуиция, позволявшая опережать время, совершая диалектические скачки на новый уровень познания. Именно такой подход является рабочим в познании наномира, который построен на уникальном сочетании классической и квантовой механики.

Подробная информация о работе школы, список и краткое содержание лекций, другие сопутствующие материалы можно найти на сайте <http://miem.edu.ru/conf/nano/2008>.