

Александр Бычков: производство для вибротоплива у нас есть

На [вопросы](#) электронного периодического издания AtomInfo.Ru отвечает генеральный директор ГНЦ РФ НИИАР Александр БЫЧКОВ.



ВК-50 пойдёт на рекорд

Александр Викторович, хотелось бы услышать от Вас подробности о планах по строительству в НИИАР нового исследовательского реактора на замену БОР-60.

Да, действительно, есть такое направление. Новый реактор имеет условное название МБИР "Многоцелевой быстрый исследовательский реактор". Он не будет являться точной копией БОР-60. Если характеризовать его в упрощённом сравнении с российскими исследовательскими реакторами, то он мне представляется своего рода "смесью" БОР-60 с реактором МИР.

Это – натриевый реактор, но он будет иметь ряд петлевых установок. На них можно будет проводить широкий спектр исследований – например, с тяжёлыми теплоносителями (свинец, свинец-висмут), с гелием и другими. Более того, в петлях нового реактора станет возможным создавать те же условия, что и в водо-водяных установках с тепловым спектром нейтронов.

Важно отметить, что новый реактор должен сразу работать в замкнутом топливном цикле. НИИАР имеет большой запас облучённого топлива реактора БОР-60 на основе высокообогащённого урана и МОКС-топлива, и опытные установки по неводной переработке такого топлива. Так как потребности в топливе будут небольшие (200-250 кг в год), к моменту пуска нового реактора они должны быть подготовлены для регулярной работы.

Какая судьба ожидает БОР-60?

БОР-60 работает качественно и стабильно. Пока мы можем его эксплуатировать до 2010 года. Мы активно работаем по продлению эксплуатации до 2015 года, а к тому времени должен быть построен новый реактор. Но, к сожалению, это слишком оптимистическое предположение. Не исключаю, что БОР-60 потребует эксплуатации ещё год-два после 2015 года.

Конечно, это требует больших вложений. Могу сказать, например, что затраты на полную реконструкцию БОР-60 оказались бы сравнимы с затратами на строительство нового реактора. Это обстоятельство стало одним из аргументов в пользу решения о сооружении новой установки.

Будут ли у многоцелевого быстрого исследовательского реактора какие-то дополнительные возможности, кроме петель?

Обязательно будут. Это и те же возможности, что у БОР-60. Расширенные возможности наработки изотопной продукции, возможно, что нейтронный пучок для медицины. Я надеюсь, что там будет применяться новый тип автоматики для перегрузки и извлечения облучательных устройств. Такие примеры сейчас в мире есть – вспомните, хотя бы, о реакторе FRM-II в Мюнхене.

Накопленный у зарубежных коллег опыт имеет смысл использовать и в нашем проекте. Я мечтаю, чтобы проект по строительству в Димитровграде нового исследовательского реактора стал бы международным. Интерес к реактору такого типа очень большой.

В настоящее время в России создана рабочая группа. От нашего института лидером в ней выступает главный инженер Михаил Николаевич Святкин. Продвижение есть, работы на этот год распределены, ждем выделения средств.

Отрывок из [интервью](#) заместителя Главного конструктора исследовательских и изотопных реакторов и начальника отдела исследовательских реакторов ФГУП НИКИЭТ имени Н.А. Доллежала Игоря Третьякова:

Я бы не стал называть новый реактор "вторым БОР-60". Это будет принципиально новый реактор. Конечно, при его проектировании будет учтён опыт, накопленный в ходе эксплуатации и БОР-60, и других быстрых реакторов.

Мощность нового реактора будет выше, чем мощность БОР-60, и это позволит достигать в нём более высоких нейтронных потоков, а экспериментальные возможности существенно шире.

В новом реакторе будут заранее предусмотрены возможности по его оптимальному использованию. Конечно, сделать исследовательский реактор самокупаемым очень трудно или практически невозможно, но движение в этом направлении будет. Так, предполагается утилизация тепловой энергии, введение изотопных и медицинских программ и ряд других мероприятий. Поэтому для новой установки используется условное название "Многоцелевой исследовательский реактор".

А в каком состоянии сейчас другие исследовательские реакторы в НИИАР?

Реактор СМ мы модернизировали в 1991 году, проектный ресурс у него до 2017 года, а если проведём модернизацию в 2012 году, то он проработает ещё 25 лет.

До 2017 года можно эксплуатировать и реактор МИР, есть средства на продление его эксплуатации до этого срока. Будет необходимость, можно провести исследования и по дальнейшей эксплуатации. Реактор МИР своего рода индикатор – если есть в отрасли активность и перспектива – он загружен работой, если нет – петли и каналы пусты.

Реакторы РБТ – это небольшие реакторы, работающие на ОЯТ СМ, и при соответствующих обоснованиях они могут прожить долго. Всего у нас их три, но один мы начали выводить из эксплуатации, потому что он оказался не особенно нужным.

Отдельно хочу сказать про ВК-50. Мы имеем намерения выйти на "рекорд" и показать, что этот опытный реактор из числа первых отечественных моделей в состоянии дожить до 60 лет. Будут, конечно, определённые затраты и работа. Корпус у ВК-50 по размерам близок к ВВЭР-440, но активная зона меньше. Основные задачи по продлению его эксплуатации мы видим в обосновании ВКУ. Что до корпуса, то его состояние не вызывает беспокойства.

Вообще, этот опытный реактор (ВК-50) работает исправно. В тяжёлые времена (90-е годы) выручал он нас очень сильно как производитель тепла и электроэнергии. А в наши дни вновь появился интерес к проведению на ней научных исследований, увеличивается количество контрактов и заказов.

Проводимые на ВК-50 эксперименты связаны, в основном, с вопросами безопасности. Например, у нас есть перспективные разработки по системе КГО для корпусных аппаратов, которая позволяет определять негерметичные твэлы непосредственно в активной зоне.

АРБУС или АСТ-1 с эксплуатации снимается планомерно по программе вывода из эксплуатации. Зданию АСТ мы хотим дать вторую жизнь: планируем включить в программу МОКС-топлива как склад готовых ТВС – там для этого есть все: отдельная вентиляция и спец-канализация. На АСТ-1 у нас трудится небольшая бригада. Большую часть тяжёлой работы мы сделали, приличная доля ОЯТ вывезена. Органический теплоноситель на котором работал АРБУС, как известно, не активируется, поэтому мы его частично подмешивали к мазуту и сжигали на ТЭЦ или на установке переработке отходов, как горючее.

На крыльях "Орла"

Александр Викторович, теперь хотелось бы перейти к вибротопливу. Вы знаете, что решение о пуске БН-800 на вибротопливе было воспринято в отрасли по-разному. Как Вы считаете, почему этот реактор целесообразно пускать именно на вибротопливе?

На мой взгляд, неправильно фокусировать внимание на приставке "вибро-". На самом деле, дело в технологии топлива, которая адаптирована к новым замкнутым топливным циклам. Топливо, технология которого органично сливается с технологией переработки.

В традиционном подходе, ОЯТ сначала необходимо очистить и извлечь из него топливную составляющую, одновременно получая большое количество жидких отходов разного уровня. Потом из извлечённых элементов нужно почти в комнатных условиях сфабриковать таблетку, изготовить твэл, а на последнем этапе собрать ТВС.

В технологиях наших логика другая. Топливо перерабатывается для восстановления физических свойств, а не радиохимической чистоты. На следующем шаге оно упаковывается в твэл, потом ТВС ставятся в реактор. Это не молодая идеология. Её в своё время развивали американцы, и о ней говорил Александр Ильич Лейпунский. Совокупность установки "Орёл" и реактора БОР-60, которые расположены в НИИАР, предусматривала именно такой подход.

Извините, можно немного поподробнее рассказать про "Орёл"?

Это был совместный проект с ГДР (Восточной Германией) по созданию автоматизированных комплексов для изготовления топлива быстрых реакторов. Он начинался ещё у нас при Олеге Дмитриевиче Казачковском в 1969 году.

В работах над "Орлом" принимали участие несколько десятков организаций из СССР и ГДР. Пуск его первой очереди произошёл в 1977 году. Принципиальная возможность изготовления уран-плутониевого топлива в дистанционных условиях на "Орле" была показана, и Ефим Павлович Славский в 1978 году дал зелёный свет работам по использованию плутония в быстрой атомной энергетике.

Исходно в СССР поддерживалось два направления. Одно как "хвост" переработки легководного ОЯТ: большие завод по переработке и цех 300 на "Маяке", который мог бы обеспечить топливом от 6 до 8 реакторов БН-800 "тогдашней" конструкции. Второе направление – это вариант пристанционного комплекса, который предполагал создание модуля по переработке и рефабрикации МОКС-топлива на основе неводных методов и виброуплотнения. Для площадки НИИАР разрабатывался проект ГРОТ, обеспечивающий работу в замкнутом цикле двух реакторов БН-800. К сожалению, после 1986 года по понятным причинам все работы по этим направлениям были заторможены.

Если сравнивать два подхода, то я считаю, что научных исследований для МОКС-вибротоплива в России было больше, чем для таблеточного топлива. Виброуплотнённое топливо было новым и достаточно сложным. Не только НИИАРу, но многим другим участникам работы пришлось решать проблемы коррозии, создания твэла с высокой плотностью, добиться стабильности при производстве и многое другое. В конце концов с этими проблемами удалось справиться.

Одно из наших ноу-хау – это геттер, тонкодисперсный, но не пирофорный урановый порошок. Такой геттер никто в мире, кроме России, сделать не может. Ещё одно ноу-хау относится к системе обработки гранулята, которая позволяет создавать достаточно высокую плотность в твэле.

Для сравнения, у нас стандартная средняя плотность составляет 9 г/см³, в то время как у таблеточного топлива она равняется 8,8 г/см³. Если быть более точным, то наш стандарт по плотности МОКС-вибротоплива составляет 8,8-9,2 г/см³. А неравномерность плотности по высоте составляет $\pm 5\%$, то есть, находится в тех пределах, которые нам в своё время обосновали разработчики быстрых реакторов (в том числе, ФЭИ).

Цитата с официального сайта НИИАР:

Топливный сердечник представляет собой механическую смесь гранулята (U,Pu)O₂ и порошка U, который выполняет функции геттера и вводится в состав навески топлива на стадии перемешивания перед засыпкой.

Введение геттера для регулировки кислородного потенциала топлива и устранения влияния технологических примесей позволило полностью решить проблему химического взаимодействия виброуплотненного оксидного топлива с оболочкой.

В технологическом процессе реализован 100% контроль качества топливного сердечника, который включает анализ распределений по длине топливного сердечника плутония и плотности. Равномерное распределение геттера обеспечивается технологией.

Почему же на Западе отказались от виброуплотнённого топлива?

Во всех зарубежных разработках вибротоплива не использовались сверхплотные частицы. У нас, за счёт электролиза расплавов, получают кристаллы диоксидов урана и плутония с почти теоретической плотностью. Это вкупе с нашим геттером позволяет создавать плотный сердечник твэла. Я уже называл, какие плотности мы получаем.

А как Вы собираетесь перерабатывать ОЯТ МОКС-вибротоплива?

Дело в том, что используемый нами пирохимический метод производства топлива одновременно является и методом переработки ОЯТ. Сейчас мы на аналогах промышленного оборудования используем чистый материал (хотя плутоний, загрязненный америцием, можно назвать лишь условно чистым), но в небольших количествах – порциями по 6 или 12 кг – мы провели все необходимые исследования по переработке облучённого топлива. Причём брали на переработку даже топливо с рекордным выгоранием – имеются в виду сборки БОР-60 из ферритно-мартенситной стали с МОКС-вибротопливом, которые были облучены до 21-24% выгорания.

То есть, на вибротопливе НИИАР удалось достичь глубины выгорания 24%?

Рекорд у нас составляет 26%, и он был получен в 90-ые годы. Этот эксперимент начинался ещё в советские времена, и в нём были задействованы последние сборки, изготовленные на установке "Орёл". После достижения выгорания 26%, мы извлекли несколько твэлов, поставили их в специальное устройство "разборную ТВС" и довели в БОР-60 их выгорание до, если не ошибаюсь, 32%.

Это не мировой рекорд, случайно?

Да, это мировой рекорд. До этого самые высокие выгорания в быстром реакторе (порядка 21%) достигались у американцев на FFTF на таблеточном топливе.

Как видите, реакторные испытания вибротоплива в нашей стране проводились в достаточно больших объёмах. В 90-ые годы, конечно, был сильный спад, но, тем не менее, мы сумели практически на голом энтузиазме адаптировать эту технологию к оружейному плутонию. Михайлов тогда нам выделил 50 кг реального оружейного металлического плутония, а Е.О.Адамов ещё 100 кг, и мы из него сделали ряд ТВС для БОР-60 и серию опытных ТВС для БН-600.

Важный вывод, который мы сумели при этом сделать, заключался в следующем: в нашем процессе металлический плутоний растворяется в расплаве очень хорошо, а галлий как примесь может отгоняться на первой стадии. Т.о. процесс мало отличается от разработанного для оксида плутония. Мы опубликовали на эту тему ряд статей и запатентовали этот процесс.

Галлий используется в военной ядерной программе как вещество, позволяющее стабилизировать плутоний в дельта-фазе. Стабилизация позволяет предотвратить изменение объема плутония при колебаниях температуры и облегчает его технологическую обработку.

Оружейный плутоний должен быть очищен от галлия перед использованием в энергетических реакторах, так как галлий достаточно агрессивный элемент и способен вызвать повышенную коррозию конструкционных материалов твэлов и ТВС.

Таблетки и вибротопливо

Так вот, давайте вернёмся к вопросу к нашей технологии создания и переработки топлива для быстрых реакторов. Мы используем симбиоз пирохимии и виброуплотнения в дистанционном оформлении. Это очень важный момент. Продукт, который выходит из пирохимического процесса, после дробления и очистки от захваченной соли подготавливается к виброуплотнению.

Но насколько чист этот продукт? Не будет ли в нём слишком много осколков деления?

Могу назвать коэффициенты очистки по некоторым продуктам деления. От церия очистка небольшая, коэффициент очистки составляет 30-50. По сумме редких земель и по рутению – 100. По цезию – 3000 и более, по европию – несколько сотен. Суммарный коэффициент очистки от гамма-нуклидов варьируется в пределах от 100 до 1000.

Конечно, можно увеличить очистку ещё на порядок... Можно ввести двухстадийный процесс – тем более, что мы к нему сейчас и склоняемся, ведь ОЯТ БН имеет очень много примесей, которые влияют на электрохимические процессы. Мы предлагаем экспрессным образом выделять основную массу урана и плутония, а потом её перекристаллизовать в чистом электролите. Но надо помнить, что в высокотемпературных процессах идет множество побочных реакций, и резкого увеличения коэффициентов очистки добиться всё равно не удастся.

Я бы сказал так: мы следуем идее "Грязное топливо – чистые отходы". Фактически эта же идея была в другом варианте рассмотрена в такой концепции, как БРЕСТ. Отличие концепции ЗТЦ БРЕСТ заключается в том, что для него после регенерации предполагается изготовление "грязной" таблетки из смешанного нитридного топлива, хотя мы пытаемся посмотреть также вариант засыпного твэла.

Лучше всего эта идеология (с пирозлектрохимической переработкой) выглядит для металлического топлива. Я считаю, что индусы правы, когда они громко говорят о возвращении к металлу. Кстати, у американцев, японцев, южнокорейцев и китайцев основным направлением на перспективу является использование металлического топлива для быстрых реакторов. Фактически, это электрорафинирование. Металлический ОЯТ опускается в расплав и работает как анод, в то время как на катоде образуется слегка очищенный уран и плутоний, который потом корректируется и используется для изготовления нового металлического сердечника.

Не войдём ли мы в противоречие стратегического плана? У нас есть большие запасы легководного ОЯТ, которые нужно перерабатывать "мокрыми" методами. С другой стороны, у нас появятся "сухие" методы для ОЯТ быстрых реакторов. Сможем ли мы поддерживать две технологии одновременно?

Они абсолютно не мешают друг другу. Более того, я считаю, что при масштабном развитии атомной энергетики можно иметь и трёхступенчатую систему обращения с ОЯТ:

- быстрые реакторы (неважно какие) в замкнутом ЯТЦ (причем с использованием плутония и минор-актинидов из ОЯТ тепловых реакторов),
- очень крупные заводы типа РТ-2 или французского на мысе Ла-Аг, которые будут обслуживать легководные реакторы и производить переработку их ОЯТ,
- "промежуточные" заводы средней мощности с технологиями наподобие газофторидной.

На последнем хочу остановиться подробнее. Если мы говорим о дообогащении регенерированного урана из ОЯТ, то почему бы не построить такой (газофторидный) завод рядом с обогащательным? От него не требуется высокая производительность, но свой вклад он может давать. Это компактная технология, у неё мало отходов, а "огарки" могут идти в замкнутый топливный цикл быстрых реакторов.

Отрывок из статьи ["Газофторидная технология в топливном цикле ядерной энергетики"](#) (автор Ю.С.Соколовский (НИИАР) при участии В.Н.Прусакова и А.В.Серова), опубликованной агентством PRoAtom:

Ещё в 70-80-е годы в НИИАР был осуществлён экспериментальный ЗТЦ для реактора БОР-60, работавшего на обогащённом уране. После переработки на установке "Фрегат" ОЯТ БОР-60 из регенерированного UF₆ способом пирогидролитического в кипящем слое была приготовлена партия гранулированного диоксида урана, из которого были изготовлены виброуплотнённые твэлы и ТВС БОР-60. ТВС отработала в реакторе без разгерметизации до рекордного в то время выгорания 15,6% т.а., ограниченного ресурсом стальной оболочки твэлов, и таким образом был продемонстрирован ЗТЦ РБН на основе газофторидной технологии.

Последний вопрос. Как Вы думаете, успеем ли мы с МОКС-вибротопливом к 2012 году? Таблеточные технологии уже есть, а направление вибротоплива ещё нужно осваивать...

Таблеточная технология есть в реакторных испытаниях и в оборудовании, которое испытано в ограниченном масштабе.

Почему наше руководство приняло решение о пуске БН-800 на МОКС-вибротопливе? Прежде всего, в виду его перспективности для замкнутого топливного цикла. Это новый "высокотехнологический" продукт, где мы смогли опередить наших зарубежных коллег. Второй важный аргумент в пользу МОКС-вибротоплива – малое количество отходов при его реализации в замкнутом топливном цикле.

Ещё одно замечание. Так получилось, что с точки зрения квалификационных испытаний таблетка ушла дальше, чем вибротопливо. Но с точки зрения полного проверенного технологического комплекса, я считаю, что таблеточное МОКС-топливо от вибротоплива отстало.

У нас есть постоянно работающее – пусть и на небольшой мощности – производство в НИИАР, и есть необходимый персонал. Я напомним, что мы за всё время сделали около 7 тонн топлива для БОР-60, БН-600, БН-350, БФС, и из этого количества порядка 4 тонн составляет МОКС-топливо.

Спасибо за интервью для электронного издания AtomInfo.Ru.

ИСТОЧНИК: AtomInfo.Ru

ДАТА: 27.05.2008