



МАРТ 2014

№3  
(24)

# АТОМНЫЙ ЭКСПЕРТ

- Лекция В. Поплавского
- Термоядерные реакторы
- Подход к R & D в Rolls-Royce
- Частный бизнес в атоме
- Розничный рынок
- Li-ion-батареи

Тема номера:

**ЭНЕРГЕТИКА  
БУДУЩЕГО**



## В НОМЕРЕ:

**Атомный эксперт,**

№ 3 (24), март 2014 г.

Журнал выходит с октября 2011 г.

Информационно-аналитическое издание

«Атомный эксперт», приложение к журналу

«Атомная энергия»

**Учредители:** Некоммерческая организация –

Фонд «Центр корпоративной информации»

(НО-Фонд «ЦКИ»), Некоммерческое парт-

нерство содействия экспертному сообществу

в развитии атомной отрасли «Эксперт»

(НП «Эксперт»), Издатель:

ООО «Юг Медиа»

**И. о. главного редактора:** Ю. А. Гилева**Шеф-редактор:** Екатерина Трипотень**Редактор:** Дарья Озерова**Выпускающий редактор:** Никита Барей**Авторы:** Ингард Шульга, Татьяна Данилова,

Александр Южанин, Виталий Акимов

**Дизайн-макет:** Даниил Рассадин

Журнал зарегистрирован в Федеральной

службе по надзору в сфере связи, информа-

ционных технологий и массовых коммуника-

ций. Свидетельство о регистрации средства

массовой информации ПИ № ФС77-53618

от 10.04.2013. Распространяется по подписке

среди предприятий атомной отрасли России.

Цена свободная

**Адрес редакции и издателя:** 119017,

г. Москва, Большой Толмачевский переулок,

д. 5, стр. 7а, 2 этаж, тел.: +7 (499) 391-64-00.

Номер подписан в печать 3 марта 2014 г.

**Отпечатано в типографии:**

ОАО «ТПК», 170024, г. Тверь,

пр-т Ленина, д. 5

**Тираж** 3000 экз.**По вопросам распространения****и размещения рекламы:**

+7 (499) 394-13-12,

expert.atom@gmail.com

**Электронный портал журнала:**

atomexpert.org

- 4–7 **Новости.** Uranium One берется за РЗМ; TerraPower получила мощную поддержку; Балтзавод может лишиться подряда Росатома на ледоколы; портфолио «Атомстройэкспорта» пополнилось проектом в тепловой генерации.
- 8–9 **Точка зрения.** Директор по стратегическим проектам WorleyParsons Александр Вольски о современной экономике ВИЭ.
- 10–21 **Тема номера.** Облик энергетики будущего.
- 22–25 **Нормы и правила.** Интервью с членом комитета международных ядерных стандартов ASME, представителем ASME в РФ, президентом «ЦКТИ-Вибросейсм» Виктором Костаревым.
- 26–35 **Технологии.** Лекция ученого Владимира Поплавского о быстрых реакторах с натриевым теплоносителем.
- 36–47 **Технологии.** Обзор проектов термоядерных реакторов, альтернативных ИТЭР. Интервью с заместителем гендиректора международной организации ИТЭР Александром Алексеевым.
- 48–57 **Технологии.** Подход к R & D компании Rolls-Royce.
- 58–60 **Бизнес.** Небольшие частные компании находят место в российской атомной энергетике.
- 61–65 **Бизнес.** Сравнение структуры собственности атомной энергетики США и Франции.
- 66–71 **Рынки.** Росатом идет на розничный рынок электроэнергетики.
- 72–77 **Футурология.** Развитие литий-ионных аккумуляторных технологий.
- 78 **Курьезы.** Атомщики помогают искусствоведам выявлять подделки живописи.

## УВАЖАЕМЫЙ ЧИТАТЕЛЬ!

Наверняка каждый когда-либо задавался вопросом, какой будет энергетика в будущем, скажем, в середине XXI века. Кончатся ли углеводороды, наступит ли новый «ядерный ренессанс», есть ли предел увеличению доли ВИЭ... Чтобы ответить на все вопросы сразу, мы решили собрать воедино и проанализировать долгосрочные прогнозы авторитетных организаций энергетической отрасли. К какому выводу мы пришли – читайте в рубрике «Тема номера».

Имя президента «ЦКТИ-Вибросейсм» и активного участника ASME Виктора Костарева вы уже могли встречать на страницах нашего журнала. Эксперт с богатым международным опытом, разработчик технологий, предприниматель – его мнение об отраслевых стандартах разных стран более чем заслуживает внимания. В этот раз мы взяли у него большое интервью, которое вы найдете в рубрике «Нормы и правила».

Рубрику «Технологии» открывает лекция советника гендиректора ФЭИ Владимира Поплавского, прочитанная в рамках молодежной школы «Быстрые реакторы». Еще один материал в рубрике посвящен разработкам термоядерных реакторов, альтернативных ИТЭР. Заодно мы поинтересовались, как проходит реализация и этого международного мегапроекта. В той же рубрике – статья группы ученых, которые детально разобрали методы по организации R & D компании Rolls-Royce и сравнили их с современными подходами к НИОКР в атомной отрасли РФ.

В следующем разделе, «Бизнес», мы начинаем изучать, есть ли в подконтрольной государственному Росатому российской атомной энергетике место частным предприятиям. Пока мы представляем небольшой обзор по отрасли в целом, а в следующих номерах будем публиковать истории отдельных компаний, которые преуспели не только в России, но и за рубежом. Для сравнения мы также смотрим, как устроена структура собственности в атомной энергетике других стран.

В начале года Росатом получил долгожданный доступ к конечному потребителю электроэнергии. В каких условиях предстоит работать его энергосбытовой структуре на розничном рынке – читайте в нашем материале.

Не секрет, что дальнейшее увеличение доли ВИЭ зависит в том числе от того, будет ли найдена экономически приемлемая технология хранения электроэнергии. Литий-ионные батареи уже закрепились в бытовой электронике, автомобиле- и авиастроении, добрались до поездов. Новые прорывы, похоже, не за горами.



## RARE EARTH ONE

Uranium One идет на рынок редкоземельных металлов. Компания собирается организовать попутную добычу скандия на урановых предприятиях в Казахстане и его дальнейшую переработку. Проект стоимостью \$ 60 млн U1 планирует реализовать совместно с «Казатомпромом» и «Интермикс Мет». Получается, что Uranium One видит перспективы в направлении, к которому прежде осталось равнодушным профильное, как следует из названия, «Атомредметзолото».

Uranium One Holding, ООО «Интермикс Мет» и НАК «Казатомпром» договорились совместно организовать попутную добычу концентрата скандия на базе уранодобывающих предприятий в Казахстане для дальнейшей переработки и получения оксида этого металла, а также продуктов на его основе. Проект, под реализацию которого три участника создадут СП, будет осуществляться в несколько этапов. В рамках первого этапа на одном из предприятий Казахстана, добывающих уран методом скважинного подземного выщелачивания, планируется запустить попутную добычу концентрата скандия. Этот концентрат, как предполагается, будет перерабатываться в оксид скандия на гидрометаллургическом заводе в РФ, принадлежащем «Интермикс Мет».

Параллельно Uranium One и «Казатомпром» планируют вести технологические исследования и тиражирование технологии на других совместных уранодобывающих предприятиях. Второй этап предусматривает строительство нового перерабатывающего предприятия, что

позволит им создать самостоятельную производственную цепочку – от добычи и извлечения до переработки и продажи. Совокупные инвестиции в реализацию первого и второго этапов могут составить, по предварительным оценкам, до \$60 млн. Первая конечная продукция, как ожидается, будет получена в 2016 году. Целевой объем производства – 6 тонн оксида скандия в год.

«Реализация этого международно-го проекта в условиях ценовой нестабильности на мировом урановом рынке – прекрасная возможность для Uranium One Holding выйти в новый сегмент с высоким потенциалом роста и в перспективе занять в нем лидирующие позиции, получить доступ к целому ряду новых для нас инновационных компетенций, диверсифицировать бизнес и за счет получения дополнительных доходов повысить его маржинальность», – прокомментировал президент Uranium One Holding Вадим Живов, слова которого приведены в пресс-релизе компании.

Выгоды уранодобывающей компании очевидны: при тех же расходах она получает вместо одного продукта два. «Казатомпром», помимо этого, заинтересован в скандии как потребитель: компания собирается активно развивать альтернативную энергетику. Также у казахской стороны уже есть предварительные договоренности о поставках скандия в Японию. «Интермикс Мет», в свою очередь, участвует в СП технологией переработки.

Примечательно, что аналогичная технология уже давно существует во ВНИИХТ, однако до реализации дело не дошло (мы постараемся разобраться в причинах к следующему выпуску журнала). Да и идеи «Интермикс Мет» по совместной добыче

скандия поначалу горячего отклика в российских атомных структурах не находили. В 2013 году на руднике «Далур» компании АРМЗ была введена установка, позволяющая в процессе выделения урана из руды получать концентрат скандия (до этого отходы, содержащие такие элементы, как скандий, уходили в отвал и никак не использовались). Однако проект полностью профинансировала «Интермикс Мет», значит, и основную прибыль получает эта компания. Само же АРМЗ в инвестициях не участвовало, почему – не известно. Впрочем, теперь U1 дипломатично объясняет, что запуск установки на площадке «Далур» «позволил отработать технологии, необходимые для экономически эффективной реализации проекта на других уранодобывающих предприятиях госкорпорации «Росатом».

По данным U1, скандий применяется в ядерной и альтернативной энергетике, оборонной и авиакосмической отраслях, микроэлектронике, медицине, а также в нефтеперерабатывающей промышленности. Скандий является элементом горных пород – в каждом современном случае добычи он выступает побочным продуктом, – основными рудами-носителями помимо урановых являются бокситы, ильмениты, вольфрамиты, касситериты, цирконы.

Производство скандия в мире значительно ограничено. Мировое потребление этого вида РЗМ исчисляется несколькими тоннами в год. Основными поставщиками этого элемента являются Китай, Россия, Казахстан и Украина. По данным интернет-ресурса mineralprices.com, который, в свою очередь, ссылается на NEFA Rare Earth, стоимость металла скандия на конец 2013 года оценивалась в \$15,5 тыс./кг, оксида скандия – в \$7 тыс./кг.

## TERRAPOWER: НОВЫЕ ПЕРСПЕКТИВЫ?

Непосредственно перед катастрофой на АЭС «Фукусима» атомная отрасль кипела новыми идеями. Сегодня разработка проектов реакторов четвертого поколения вновь набирает обороты. Один из китов атомной отрасли США, корпорация Babcock & Wilcox, внимательно следит за новыми идеями и разработками – и делает выводы. Компания подписала меморандум о взаимопонимании по поддержке разработки реактора на бегущей волне, которую ведет TerraPower.

По этому соглашению B & W обеспечит проекту TerraPower сервисную и софтверную поддержку, а именно разработку и изготовление компонентов, разработку процесса производства топлива, изготовление прототипа реактора и создание запаса топлива, инженерное проектирование реактора, техническое обеспечение эксплуатации реактора, испытание контура, испытания материалов.

Реактор на бегущей волне (travelling wave reactor, TWR) получил свое название из-за того, что ядерная реакция происходит в очень ограниченном регионе активной зоны, который постепенно перемещается, то есть ведет себя как волна. TWR задумывался как реактор с натриевым охлаждением с топливом из обедненного или природного урана. Для запуска цепной реакции такой реактор требует небольшого количества обогащенного урана, который помещается в одной из сторон цилиндрической активной зоны. Быстрые нейтроны, производимые обогащенным топливом, поглощаются слоем (эк-

раном) обедненного урана, который превращается в плутоний. По мере накопления плутония активная зона перемещается в сторону экрана, образуя подвижную область, «волну», где в процессе деления урана нарабатывается плутоний, который и является расщепляющимся топливом.

Сегодня концепция реактора на бегущей волне не считается реалистичной. Возможно, со временем, когда будут преодолены выявленные внутренние противоречия модели, после многолетних испытаний и экспериментов, к ней вернуться вновь. Но в середине 2011 года в TerraPower пришли к выводу о технической невозможности реализации реактора на бегущей волне при нынешнем технологическом уровне. Прозвучало объявление об изменениях в проекте. Теперь это реактор на стоячей волне, в котором реакция деления начинается в центре активной зоны, где идет расщепление (это, кстати, решает проблему охлаждения подвижной области). Свежие порции топлива путем перестановки кассет будут постепенно подаваться в центр с краев, а отработанное топливо будет перемещаться из центра к периферии.

Реактор четвертого поколения с натриевым охлаждением TWR-P сначала планируется построить в демонстрационном варианте, мощностью в 600 МВт, к 2018–2022 годам, а в конце 2020-х годов – более мощную (на 1150 МВт) коммерческую АЭС с TWR-P.

Любопытно, что концепция TWR-P позволяет в десять и более раз нарастить использование энергетического потенциала природного урана по сравнению с текущим уровнем. Но здесь коренится одна из проблем, удовлетворительного решения которых до сих пор не предлагалось.

Дело в том, что отработанное топливо TWR-P, а по сути, плутоний, предполагается направлять на окончательное геологическое захоронение. В зависимости от того, каким будет проект этого захоронения, плутоний либо будет утрачен навсегда, либо представит собой соблазнительную мишень для разного рода авантюристов.

Впервые концепция реактора, работающего в режиме подпитки обедненным ураном («реактор-самоед»), была предложена в конце 1950-х годов советскими учеными. Концепцию развила группа Хироси Секимото из Токийского технологического института, предложив реактор, в котором активная зона перемещается по мере выгорания от подкритической зоны с выгоревшим топливом в сторону экрана из урана-238. Японский вариант был чисто теоретическим и не был реализован в экспериментах. Идея реактора на бегущей волне вновь всплыла в начале 1990-х годов в американском проекте Integral Fast Reactor (IFR), который, впрочем, был закрыт Конгрессом США в 1994 году, за три года до завершения. Чуть позднее эту идею запатентовала компания Intellectual Ventures, которая затем в 2006 году создала TerraPower – ей и предстояло создать экспериментальный образец TWR.

Основные инвесторы TerraPower – две венчурные компании и американский предприниматель, крупнейший акционер Microsoft Билл Гейтс. В 2011 году миноритарным акционером TerraPower стал один из крупнейших индийских холдингов Reliance Industries, владелец которого Мукеш Амбани вошел в совет директоров TerraPower. Свои исследования TerraPower ведет, в частности, совместно с Лос-Аламосской национальной лабораторией.

Кроме TWR корпорация B & W активно продвигает на рынке собственный проект малого модульного реактора (SMR) mPower мощностью 180 МВт, работающего на уране-235, обогащенном до 5%. Компания отмечает, что проект mPower основан на технологии реакторов под давлением с использованием в качестве топлива стандартного обогащенного урана, тогда как TWR – «более крупный реактор, основанный на технологии четвертого поколения, и его проект предусматривает использование обедненного урана в качестве топлива».

## НЕТ ДЫМА БЕЗ ОГНЯ

[Балтзавод рискует потерять крупнейший заказ на строительство двух атомных ледоколов стоимостью 86 млрд рублей. Росатом, как пишут СМИ, рассматривает возможность передачи контракта одному из своих КБ, которое затем распределит заказ между несколькими верфями, в том числе зарубежными. Впрочем, эти планы могут быть не более чем инструментом торговли.](#)

Госкорпорация «Росатом» рассматривает возможность передачи своим дочерним предприятиям заказ на два серийных атомных ледокола мощностью 60 МВт (ЛК-60). Тендеры на строительство ледоколов были объявлены в декабре 2013 года. Ранее единственным претендентом на этот контракт считалось ОАО «Балтийский завод», которое входит в Объединенную судостроительную корпорацию и уже строит головной ЛК-60 почти за 37 млрд рублей. Но теперь вторым участником тендера может выступить одна из дочерних структур Росатома. Например, «ОКБМ Африкантов», которое разра-

батывало реакторы для такого типа ледоколов.

Основной контраргумент ОСК заключается в том, что ни в одной структуре Росатома судостроительных компетенций нет, да и в целом в России лишь две верфи – Балтзавод и Севмаш (также входит в ОСК) – способны строить суда с ядерными реакторами. Эксперты парируют, что этот вопрос несложно решить, отдав контракт на субподряд, например, финским верфям, ведь именно в Финляндии строили российские ледоколы «Вайгач» и «Таймыр». Судя по всему, Росатом стремится оптимизировать расходы на ледоколы и рассчитывает либо получить у субподрядчиков цену ниже, либо оказать давление на сам Балтзавод.

На этом фоне выглядит примечательно и небольшая информационная баталия, развернувшаяся вокруг Балтзавода. Газета «Деловой Петербург» сообщила со ссылкой на источник в ОСК, что завод не в состоянии выполнить заказ по двум ледоколам – ЛК-25 и ЛК-60 – в связи со слабыми техническими возможностями верфи и малочисленностью персонала. Однако ОСК тут же опровергла эти слухи, заявив, что имеющегося персонала на заводе (3,5 тыс. человек) достаточно для выполнения производственной программы, а на пиковые периоды можно привлечь и субподрядчиков.

К слову, с самими тендерами тоже все не слава богу. «Атомфлот» весь 2013 год то объявлял, то отменял тендеры. Последний комментарий главы «Атомфлота» Вячеслава Рукши на эту тему был таков: мол, отмена тендеров связана с решением заменить конкурс на госзаказ. Но уже после этого тендеры были вновь объявлены. Мы с интересом следим за развитием событий.

## НОВАЯ НИША

Портфолио «Атомстройэкспорта» пополнилось еще одним выполненным проектом. ОАО «Интер РАО» 17 февраля ввело в эксплуатацию первый энергоблок Южноуральской ГРЭС-2. Генподрядчиком этого проекта и выступал «Атомстройэкспорт». Что могут принести атомщики в тепловую генерацию и зачем самому Росатому опыт сооружения объектов в этом сегменте, комментируют эксперты.

Несмотря на выход Росатома из капитала «Интер РАО», связи, контакты атомщиков в традиционной энергетике сохраняются, обращает внимание начальник аналитического отдела ИК «Цэрих Кэпитал Менеджмент» Николай Подлевских. «Связь атомщиков с энергетиками представляется достаточно органичной. Используемое и устанавливаемое на АЭС энергетическое оборудование имеет много общего с силовым оборудованием тепловых электростанций. С учетом специфики работы атомной отрасли, требований к уровню безопасности на атомных объектах можно полагать, что атомная отрасль может быть образцом и ориентиром для энергетиков», – отмечает он.

«Уже отчасти происходит перенос лучших практик атомщиков в тепло-

вую энергетiku, очень многие компании, занятые на строительстве АЭС, также участвуют в проектах в тепловой генерации, осуществляя таким образом трансфер знаний», – соглашается заведующий сектором экономического департамента фонда «Институт энергетики и финансов» Сергей Кондратьев.

В то же время интересы Росатома в традиционной энергетике не столь очевидны. «Атомная отрасль остается на подъеме, имеет большой портфель заказов и достаточное количество сооружаемых объектов. В принципе, такого фронта работ достаточно для поддержания и развития отрасли», – поясняет Н.Подлевских. Впрочем, оговаривает он, Росатом исторически находится в тесной связи с другими отраслями и в первую очередь с предприятиями энергетического машиностроения. Кроме того, «Атомстройэкспорт» четко выполнил условия контракта, что положительно скажется на имидже компании. «Успехи Росатома и в этом направлении будут дополнительно повышать авторитет компании и могут способствовать появлению новых заказов как в стране, так и за ее пределами», – заключает аналитик.

«Для нас было важно пройти хорошую квалификацию. Одно дело – сооружение АЭС, которая строится 10 лет, другое дело – нынешний объект. В мае прошлого года мы подписали кон-

тракт, а к концу 2014 года это должен быть полностью готовый энергообъект», – объясняет замглавы Росатома по развитию и международному бизнесу Кирилл Комаров. Квалификация, полученная на Южноуральской ГРЭС-2, не только пригодится при строительстве АЭС, но и позволит в будущем претендовать на любые другие проекты в энергетической отрасли. А С.Кондратьев напоминает, что у атомщиков уже есть опыт на рынке модернизации теплогенерирующего оборудования. «Очень большие перспективы по-прежнему есть у рынка модернизации оборудования тепловой генерации. Причем спрос на решения по модернизации энергоблоков будет расти не только в России, но и на Украине и в ряде развивающихся стран», – отмечает представитель «Института энергетики и финансов».

Будто бы в подтверждение этого экспертного мнения ОАО «ВНИИАМ», которое входит в «Атомэнергомаш», объявило о получении контракта «Мосэнерго» на реконструкцию элементов очистных сооружений ТЭЦ-9. Согласно договору, ВНИИАМ должно провести реконструкцию двух баков, в ходе которой будут выполнены проектные работы и произведена замена оборудования технологической водоподготовки под ключ. В свое время оказании услуг по проектированию в смежных отраслях, а именно в гидроэнергетике и нефтянке, подумывал и московский «Атомэнергопроект».

### СПРАВКА

Первый энергоблок Южноуральской ГРЭС-2 – это парогазовая установка мощностью 400 МВт. Газотурбинную и паротурбинную установки произвел Siemens, котел-утилизатор – «ЗиО-Подольск». Предполагаемый КПД – 54,8%. Проект в целом предусматри-

вает сооружение двух блоков, ввод в эксплуатацию второго запланирован на 2014 год. Строительство Южноуральской ГРЭС-2 направлено на повышение надежности энергоснабжения потребителей Челябинской области и будет способствовать выводу из эксплуатации устаревшего обо-

рудования действующей Южноуральской ГРЭС. Станция расположена на противоположном от первой ГРЭС берегу Южноуральского водохранилища. Установленная мощность Южноуральской ГРЭС, которая была введена в эксплуатацию в 1952 году, составляет 882 МВт. ГРЭС является

одной из первых электростанций Урала и Сибири, где было установлено оборудование отечественного производства, рассчитанное на высокие параметры пара. Станция снабжает электроэнергией города Южного Урала, теплом – промышленных и бытовых потребителей Южноуральска.

## ВИЭ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СЕГОДНЯШНЕЙ ЭКОНОМИКИ

**АЛЕКСАНДР ВОЛЬСКИ,**  
директор по стратегическим про-  
ектам WorleyParsons



Раз установленные, ВИЭ производят энергию с нулевой номинальной стоимостью, что уже меняет классические энергетические рынки в развитых странах. Механизмы определения рыночных цен в большинстве этих стран контролируются прежде всего стоимостью топлива, а подпитка сети из источника электроэнергии с нулевой стоимостью топлива приводит к снижению цен. Последствия легко определить. Например, шведская компания Vattenfall, которая в первый раз представила отчет о финансовых убытках, несмотря на рекордное производство в прошлом году, является ярким примером данной ситуации. Другой пример – рыночная капитализация 20 крупнейших энергетических компаний в Европе, вместе взятых, упала более чем на 50% с 2008 года. Подобные рыночные механизмы форсировали и, вероятно, будут продолжать форсировать вывод из эксплуатации атомных электростанций в США.

ВИЭ не вписываются в современную европейскую энергетическую систему, они в значительной степени децентрализованы, производят энергию только периодически, и права собственности на них широко распространены в обществе, в отличие от современного энергетического производства, собственниками которого

является небольшое число крупных производителей.

В конечном итоге успех или неудача ВИЭ будет зависеть от способности применить совершенствующиеся вспомогательные технологии в широких масштабах, стоит только упомянуть здесь системы хранения электроэнергии или интеллектуальные сети.

Изменилось ли мнение экспертов и аналитиков в области энергетики в отношении возобновляемых источников энергии за последние 10 лет?

Мнение экспертов, вероятно, не изменилось существенно. С одной стороны есть упорно сопротивляющиеся экологи, а с другой стороны – признанные эксперты – противники изменений. В дополнение, в настоящее время третья группа стала подавать голос – это лоббисты отрасли ВИЭ, требующие общих социальных выгод от продолжения субсидий в данную область. Лобби утвердившихся производителей электроэнергии никогда не имело столь громкого и столь влиятельного с точки зрения формирования общественного мнения голоса, как эти новые голоса.

В чем причина? Все-таки что-то изменилось. ВИЭ, ранее занимавшие незначительные ниши в структуре энер-

гобаланса, были вытеснены из них и во многих странах стали вносить значительный вклад в рынки электроэнергии; в то же самое время они начали менять рынок, частью которого они оказались. Теоретическая интеллектуальная игра стала достигать совершенства, и в настоящее время мы изучаем эффекты созревания.

Сегодня фокус в большинстве стран ЕС сместился с основной дискуссии о ВИЭ к обсуждению того, как формировать рынки электричества, чтобы продолжить обеспечение безопасности поставок, несмотря на то что снабжение от возобновляемых источников энергии осуществляется с перерывами. Германия превратила себя в основной полигон для этих новых энергетических систем, и будет очень интересно проследить за текущим раундом изменений их энергетической политики, ориентированной на достижение устойчивости.

Если посмотрим на Германию, то они достигли своей первой цели – увеличения возобновляемых мощностей для покрытия пикового спроса на электроэнергию без непосредственного видимого негативного влияния на экономику. Возможно, кто-нибудь станет утверждать, что экономика была еще лучше и без Energiewende, но этого никто никогда не узнает. Теперь Германия должна продемонстрировать, что это работает в долгосрочной перспективе.

Мы часто слышим от критиков ветряных парков и солнечных электростанций, что работа ветровых турбин и солнечных панелей потребляет много электроэнергии, образует много опасных отходов. И если все это соизмеримо с оценкой затрат на ресурсы, не факт, что они когда-нибудь окупятся. Тем не менее вся Германия сделала ставку на ветровые турбины и, видимо, чувствует себя прекрасно.

Оценка экономики ВИЭ – нелегкая задача и с финансовой, и с экологической точки зрения. После установки солнечных панели, например, производят электроэнергию без загрязняющих веществ, но производство кремниевых пластин и листов стекла из песка является одним из наиболее энергоемких производств, не говоря уже о производстве алюминиевых лент, удерживающих все вместе. В настоящее время также нет четкого представления о стоимости вывода из эксплуатации солнечных ферм или морских ветроэлектростанций.

Было выполнено множество расчетов жизненного цикла таких станций, полученные результаты которых в целом отвечали ожиданиям тех, кто был инициаторами этих анализов.

С финансовой точки зрения картина аналогична: увеличение доли ВИЭ существенно снизило цены на электроэнергию в Европе за последние пять лет, но с другой стороны, выплачены сотни миллиардов субсидий; есть также множество анализов общей стоимости, но консенсус насчет общего воздействия до сих пор не выработан.

В Европе существует и другая тенденция – экологически безвредные дома с минимальным потреблением, которые могут почти полностью самостоятельно удовлетворять свои потребности. Понятно, что бытовые солнечные панели удобны. А как насчет крупного производства, которое нуждается в сильном стабильном источнике?

Несмотря на прогнозы по росту доли станций на возобновляемых источниках энергии, на данный момент крупные производства не стали покидать Европу, и снова будет интересно проследить тенденции на протяжении следующих десятилетий. Еще одна тенденция стала заметной на «фронте индустрии», в так называемой ре-

сурсной энергетике, где крупные потребители электроэнергии начинают отключаться от электрической сети общего пользования и генерировать собственную электроэнергию; в Германии в прошлом году на них уже приходилось 5% общего объема производства электроэнергии.

Вот некоторые вопросы несколько философского характера, которые я хочу поднять. И еще один момент. Вышесказанное касается главным образом, хорошо развитых стран, которые сегодня уже имеют стабильные генерирующие и распределительные системы, но в то же время меры по повышению энергоэффективности в сочетании с уменьшением доли промышленности, требующей мощного питания, приводят к общей стагнации или даже к спаду потребления электроэнергии в целом. Но есть другие двигатели расширения сектора производства электроэнергии.

Картина резко отличается в развивающихся странах, где рост ВВП по-прежнему тесно связан с энергией – и особенно с потреблением электроэнергии, поскольку рост экономики достигается за счет строительства новых производственных мощностей: Китай, Турция или Вьетнам могут выступить в качестве хорошего примера таких стран.

Есть страны, которые почти не имеют местных энергетических ресурсов и которые платят значительные суммы за импорт энергии, и в конечном счете их развитие сильно зависит от милости экспортеров; Турция и Иордания могут быть упомянуты в этом контексте.

В развивающихся странах, особенно с ограниченными собственными ресурсами, необходимо построить крупномасштабные мощности производства электроэнергии для поддер-

жания роста их экономики, так как в настоящее время это единственный вариант – при наличии ограниченной инфраструктуры распределения – для удовлетворения растущего спроса в рамках требуемого короткого периода времени. С точки зрения безопасности поставок производство электроэнергии на АЭС стало благоприятным решением для многих из этих стран.

Есть и другие факторы, которые стоит упомянуть в контексте стабильного электроснабжения. Загрязнение воздуха из-за роста промышленного производства стало одной из основных проблем во многих районах Китая, и страна активно работает для внедрения всех экологически чистых источников электроэнергии, будь то ядерная энергия или энергия возобновляемых источников, для решения этой проблемы.

Страны Ближнего Востока разработали долгосрочные стратегии, чтобы лучше заработать на своих ресурсах путем сокращения собственного потребления и создания промышленных условий для углубления цепочки добавления ценности их ресурсов; ОАЭ, Саудовская Аравия и Иран тому примеры.

И не в последнюю очередь революция сланцевого газа уже сделала США крупнейшим производителем углеводородов во всем мире и, как ожидается, сделает крупнейшую экономику мира энергетически независимой в течение этого года. Если сланцевый газ покажет себя устойчивым по крайней мере в течение нескольких десятилетий и если тенденция распространится во всем мире, не будет никакого увеличения цены или дефицита природного газа в обозримом будущем, и как только это станет фактом, это изменит правила игры для энергетической отрасли.



## РЕТРО- ЭНЕРГЕТИКА

Освоение ядерных технологий в конце XX века обещало революцию в энергетике.

Однако революция закончилась реваншем технологий, казалось бы, давно освоенных и уже подзабытых человечеством. Солнечные лучи, журчащая вода, дующий ветер и бережно собранная биомасса стали синонимами технологий XXI века. К чему ведет эта ностальгия?

Во второй половине XX века в энергетике наметился очередной поворот. В 1950–1960-е годы возникла технологическая база атомной энергетики, что привело к появлению мирных ядерных программ во многих странах. Однако поначалу эти планы выполнялись медленнее, чем было задумано: отчасти из-за болезней роста при освоении новых технологий, а отчасти в силу отсутствия серьезных экологических ограничений для тепловой генерации на фоне вопиющей дешевизны углеводородов – нефть тогда стоила дешевле газированной воды.

Атомная энергетика по-настоящему вошла в энергетический обиход в 1970-е годы. Тогда распространилось мнение, что через несколько десятилетий она заменит существенную часть ископаемого топлива, особенно в электроэнергетике. Такие предположения подкреплялись экономикой: АЭС смотрелись особенно выгодно на фоне резко подорожавшей нефти (в результате конфликтов

на Ближнем Востоке и введения арабскими странами нефтяного эмбарго) и распространенного запрета на использование газа для генерации. В то время возник настоящий бум строительства АЭС, например, в США, Японии, Франции, СССР и других странах были заложены десятки атомных энергоблоков. Тогдашние долгосрочные прогнозы прочили ядерной генерации призовые места в энергобалансе начала XXI столетия.

Однако в 1980-е годы мировая энергетическая мода стала меняться. Атомная энергетика разочаровала многих инвесторов по двум основным причинам: снижение ее конкурентоспособности на фоне очередного удешевления углеводородов, а также серьезнейшие аварии на атомных станциях («Три-Майл-Айленд» в 1979 году, Чернобыльская АЭС в 1986 году), подорвавшие доверие общества к мирному атому. Последнее привело к пересмотру стандартов безопасности АЭС и отмене или

## ИСТОРИЧЕСКИЕ ПОВОРОТЫ

На протяжении Новой истории энергетика пережила несколько крутых поворотов. Настоящей революцией стал бум внедрения паровых машин, который возник из изобретений конца XVIII века, но по-настоящему развернулся начиная с первой половины XIX столетия. Второй по-

ворот начался в последней четверти XIX века – с развитием промышленной выработки электричества и распространением с начала XX столетия двигателей внутреннего сгорания. Последнее дало новый импульс промышленной добыче и переработке нефти, несколько позже стало расширяться применение газа. Каждое из этих явлений при-

водило к радикальному перекраиванию прежнего энергобаланса: вначале к буму использования угля в ущерб традиционному, в основном древесному топливу (до этого уголь использовался главным образом в металлургии), затем – нефтепродуктов, заметно потеснивших уголь в структуре первичных энергоресурсов, и электричества.

Во второй половине XX века в энергетике наметился очередной поворот, обусловленный внедрением атомных технологий. Впервые у человечества появился источник энергии, не связанный с аккумулированной энергией Солнца (незначительное использование приливных и геотермальных источников не в счет).

сокращению, в той или иной степени, ядерных программ в целом ряде государств (Италии, Швеции, Германии, США, Австрии и других). В результате мировые ядерно-энергетические мощности стабилизировались на уровне, достигнутом к концу 1980-х годов, где остаются до сих пор.

Между тем в 1990-е годы в энергетике появился новый фетиш: возобновляемые источники энергии (ВИЭ), призванные снизить парниковые выбросы, которые стали темой номер один при обсуждении глобального энергетического будущего. В отличие от ядерной генерации, внедрение ВИЭ по большому счету не подкреплялось никакими экономическими соображениями, а напротив – требовало льгот и субсидий, в конечном итоге из кармана потребителей. В большинстве случаев такое положение сохраняется до сих пор, хотя и меняется кое-где благодаря удешевлению технологий ВИЭ.

Другой тенденцией стало расширение производства электроэнергии на газе, который сам по себе экологически безобиднее других видов органического топлива. К тому же газовая генерация оказалась универсальной – она способна обеспечивать покрытие как базовой, так и пиковой нагрузки в электроэнергетической системе. Благодаря этому газ стал сильно тес-

нить другие виды генерации, в частности, в Японии, СССР/России, США и европейских странах.

### НЕСБЫВШИЕСЯ НАДЕЖДЫ

Технологические революции в энергетике прошлого вдохновили предсказания столь же радикальных поворотов в недалеком будущем. Однако уроки последних десятилетий свидетельствуют, что в прежних долгосрочных прогнозах не раз переоценивалось влияние новых технологий на структуру энергобаланса и, соответственно, снижение конкурентоспособности ставших традиционными энергоресурсов.

Так, согласно исследованиям Всемирного банка, различные прогнозы, представленные в 1970-е годы, предполагали снижение к 2010 году доли традиционного ископаемого топлива (прежде всего нефти, угля, газа) в структуре первичного энергобаланса до 55–65%. Прогнозы, сделанные в 1990-е годы, повысили эту планку до 75–90%, что оказалось ближе к факту (в последние годы, по разным оценкам, – 79–86%). Большинство более современных предсказаний менее оптимистичны в вопросе о темпах вытеснения ископаемых углеводородов: прогнозы на 30-летнюю перспективу, сделанные авторитетными организациями в первое десятилетие нынешнего века, предполагали, что

в 2030-е годы доля нефти, газа и угля останется на уровне 70–85%. Самые последние оценки столь же сдержанны в вопросе о вытеснении традиционных углеводородов из энергетики в долгосрочном будущем. Так, согласно последнему прогнозу Международного энергетического агентства (МЭА), к 2035 году доля ископаемого топлива в энергобалансе составит порядка 76%. По современным представлениям, к середине века роль углеводородов также не изменится радикально – они останутся доминирующей статьей баланса первичных энергоресурсов. Например, по прогнозу Мирового энергетического совета (МИРЭС), к 2050 году доля углеводородов составит от 59% до 75% в зависимости от сценария.

В общем, если сравнивать глобальные прогнозы 1970-х годов с современными, то снижение в них удельного веса углеводородов хотя бы до 60% откладывается минимум на 50 лет. Более консервативному взгляду на перспективы углеводородов способствовала среди прочего переоценка их ресурсов. Несколько десятилетий назад особой популярностью пользовался тезис об исторически скором истощении запасов нефти и газа. Однако доказанные запасы, например, нефти увеличились с начала 1980-х годов более чем вдвое. Вовлечение в оборот нетрадиционных ресурсов

## ПРОГНОЗЫ ДОЛГОСРОЧНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ В ГЛОБАЛЬНОМ ЭНЕРГОБАЛАНСЕ\*

Показатель	Современное значение**	МЭА***	МИРЭС	Агентство энергетической информации при DOE	ExxonMobil	BP
Прирост энергопотребления	–	–33 % к 2035 г.	27–61 % к 2050 году	56 % к 2040 г.	36 % к 2040 г.	41 % к 2035 г.
Прирост эмиссии CO <sub>2</sub>	–	20 % к 2035 г.	↗ к 2050 г.	46 % к 2040 г.	↗ к 2050 г.	29 % к 2035 г.
Изменение потребления газа	–	~ +50 % к 2035 г., +10 % к 2050 г.	↗ к 2050 г.	+64 % к 2040 г.	+64 % к 2040 г.	+55 % к 2035 г.
Изменение потребления нефти	–	+16 % к 2035 г.; –50 % к 2050 г.	↘ к 2050 г.	+32 % к 2040 г.	+24 % к 2040 г.	+17 % к 2035 г.
Изменение потребления угля	–	+17 % к 2035 г.; –45 % к 2050 г.	↘ к 2050 г.	+49 % к 2040 г.	0 % к 2040 г.	+27 % к 2035 г.
Доля ископаемых углеводородов в структуре первичного энергобаланса (в ПЭ)	79–86 %	76 % к 2035 г.	59–75 % в 2050 г.	–	77 % к 2040 г.	81 % к 2035 г.
Доля газа в ПЭ	15–22 %	↘ к 2050 г.	19–21 % в 2050 г.	23 % к 2040 г.	27 % к 2040 г.	26 % к 2035 г.
Доля нефти и конденсата / нефтепродуктов в ПЭ	34 %	↘ к 2050 г.	↘ к 2050 г.	↘ к 2040 г.	31 % к 2040 г.	28 % к 2035 г.
Доля угля и другого твердого топлива в ПЭ	24–26 %	↘ к 2050 г.	8–12 % в 2050 г.	27 % к 2040 г.	19 % к 2040 г.	27 % к 2035 г.
Доля атомной энергии в ПЭ	5–6 %	–	4–11 % к 2050 г.	7 % к 2040 г.	8 % к 2040 г.	↘ к 2040 г.
Доля ВИЭ в ПЭ	11–12 %	–	–	15 % к 2040 г.	15 % к 2040 г.	↗ к 2040 г.
Доля электроэнергии в конечном энергопотреблении	17 %	–	27–32 % в 2050 г.	–	–	–
Прирост выработки электроэнергии (ЭЭ)	–	42–66 % к 2030 г.	–	93 % к 2040 г.	90 % к 2040 г.	–
Прирост выработки ЭЭ на ВИЭ	–	~500 % к 2050 г.	–	130 % к 2040 г.	–	–
Прирост выработки АЭС	–	–	–	110 % к 2040 г.	109 % к 2040 г.	53 % к 2035 г.
Доля ископаемых углеводородов в структуре выработки электроэнергии (в ЭЭ)	68–73 %	–	↘ к 2050 г.	↘ к 2040 г.	↘ к 2040 г.	63 % к 2035 г.
Доля ВИЭ в ЭЭ	11–21 %	≥30 % к 2035 г.; 57 % к 2050 г.	–	25 % к 2040 г.	17 % к 2040 г.	14 % к 2035 г.****
Доля генерации на газе в ЭЭ	22–24 %	–	–	24 % к 2040 г.	28 % к 2040 г.	–
Доля генерации на угле в ЭЭ	40–45 %	33 % к 2035 г.	–	≤36 % к 2040 г.	32 % к 2040 г.	–
Доля генерации на АЭС в ЭЭ	11,3–15 %	–	–	14 % к 2040 г.	20 % к 2040 г.	↘ к 2040 г.

Приведены значения для базовых сценариев либо, в случае их отсутствия, для крайних сценариев.

\* Базовый уровень для большинства прогнозов – 2010–2012 годы. Прирост потребления энергоносителей приводится в одних случаях в энергетических, в других – в объемно-массовых единицах. Иногда прирост потребления углеводородов включает их использование в качестве промышленного сырья.

\*\* Значения показателей в данном столбце различаются в зависимости от оценивающей организации.

\*\*\* Содержат целевые показатели, в частности, изменения, необходимые для реализации сценария МЭА ZDS (снижение парниковых выбросов, обеспечивающее повышение глобальной температуры на 2 °C).

\*\*\*\* Исключая средние и крупные ГЭС.

углеводородов (сланцевый газ, битуминозные пески и другие), признанное значимой перспективой буквально в последние лет десять, также способствовало повышению оптимизма относительно будущего углеводородной энергетики. И хотя исчерпаемость нефти и газа по-прежнему никем не оспаривается, нефтегазовый апокалипсис в ближайшие десятилетия не ожидается: запасов достаточно для удовлетворения растущих потребностей. В отношении твердых углеводородов дело обстоит еще стабильнее: долгосрочные перспективы их использования ограничены главным образом экологическими и экономическими, но никак не ресурсными соображениями – ресурсы углякратно превосходят нефтяные и газовые залежи.

### ПРОГНОЗНЫЕ ДЕКЛАРАЦИИ

Итак, по современным представлениям, в перспективе до середины века удельный вес ископаемых углеводородов (совокупность газа, угля, нефти и сопутствующих фракций) незначительно уменьшится, но они сохраняют ведущее место в балансе первичных энергоресурсов. При этом произойдет перераспределение в структуре углеводородного топлива в пользу газа, доля которого, по большинству оценок, увеличится. Использование нефти и угля в ближайшие два десятилетия расширится, но относительно дальнейших перспектив мнения расходятся.

Целевые показатели МЭА и прогнозы МИРЭС предполагают снижение потребления нефти и особенно угля к середине века. В отношении угля с ними в принципе солидарны предсказания ExxonMobil. Однако другие оценки предполагают, что по крайней мере до середины века абсолютный объем потребления нефти и угля сохранится на уровне не ниже сегодняшнего.

Выработка электроэнергии к середине века может увеличиться примерно вдвое. При этом структура генерации изменится в большей мере, чем баланс первичных энергоресурсов. Нефть (нефтепродукты) почти уйдет из электроэнергетики (ее вес снизится до 1–2%), сократится и доля угольной генерации, хотя в ближайшие десятилетия она останется внушительной (1/3 и более). Роль ВИЭ, газа и атомной энергии в генерации повысится.

Признанной тенденцией, которая сохранится в перспективе, является увеличение доли электроэнергии в конечном энергопотреблении, что связано с расширением отрасли в развивающихся странах, дальнейшей электрификацией транспорта, промышленности и так далее. Так, по максимальному сценарию МИРЭС, к 2050 году доля электричества в конечном энергопотреблении в среднем по миру приблизится к 1/3 (сегодня – около 17%). Эту тенденцию подтверждают, в частности, расчеты ExxonMobil и British Petroleum, согласно которым доля первичных энергоисточников, используемых для производства электроэнергии, увеличивается: например, по оценкам BP, в 1965 году она составляла 30%, сегодня – 42%, а к 2035 году вырастет еще на четыре процентных пункта.

Согласно большинству прогнозов, к растущим компонентам первичного энергобаланса, доля которых в ближайшие десятилетия возрастет, относятся помимо газа также ВИЭ и с заметным отрывом атомная энергетика.

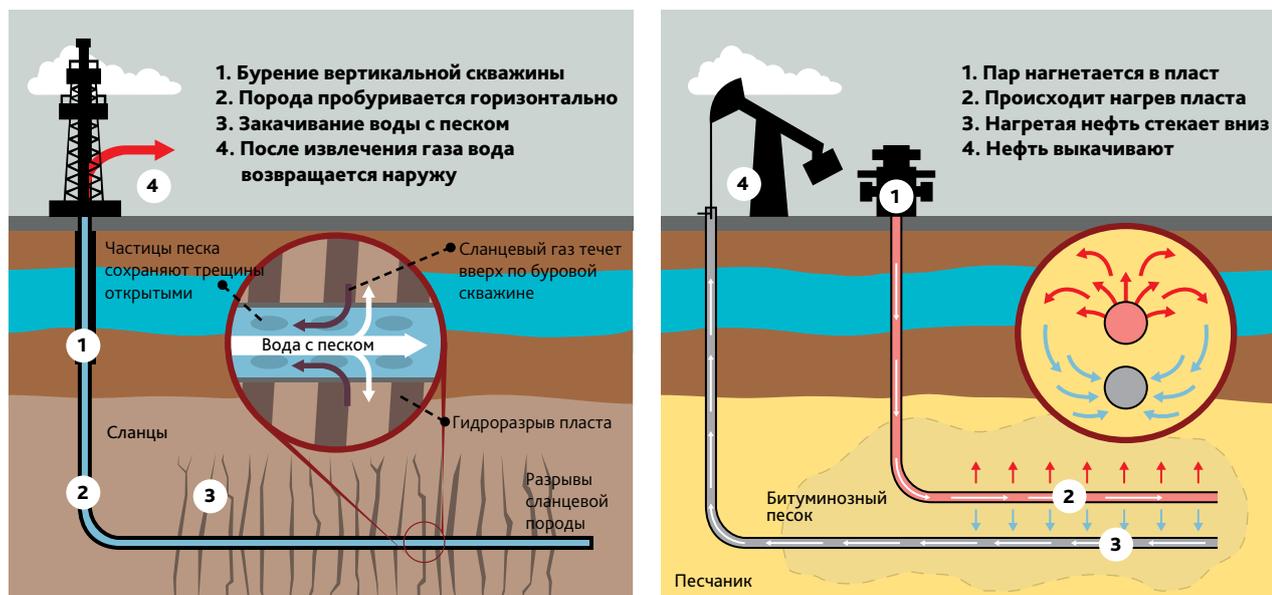
Относительно темпов прироста ВИЭ прогнозы расходятся. АЭИ и ExxonMobil полагают, что к 2040 году доля ВИЭ в глобальном балансе первичных энергоресурсов составит около 15% (нефтяные компании прогнозируют

более интенсивное развитие газового сектора). МИРЭС, в целом признавая перспективы дальнейшего развития возобновляемых источников, все же полагает, что в отношении этого сегмента сложились завышенные ожидания и называет «мифом» мнение о том, что ВИЭ смогут покрыть значительную часть прироста спроса на энергию.

Наибольшие темпы увеличения ВИЭ предполагает центральный (по сути, базовый) сценарий МЭА. В частности, целевые показатели МЭА предусматривают рост выработки электроэнергии на ВИЭ к 2050 году в шесть раз. Согласно этим оценкам, удельный вес ВИЭ в генерации к 2035 году должен превысить 30%, а к 2050 году они могут стать преобладающим сектором электроэнергетики с долей в 57%. Другие прогнозирующие структуры дают в целом более умеренные оценки расширения ВИЭ в генерации, хотя и признают, что при сохранении существующих тенденций и приоритетов этот сегмент продолжит интенсивно увеличиваться, причем темпы развития будут выше, чем у других источников энергии. По оценке АЭИ, к 2040 году доля ВИЭ в генерации составит около четверти, по прогнозам ExxonMobil и BP, к этому сроку она лишь превысит 15%, обогнав, впрочем, ГЭС и АЭС.

Что касается наиболее перспективных видов ВИЭ, то большинство прогнозистов сходятся в том, что в сфере генерации быстрее других будет развиваться гидро- и ветровая энергетика. Кроме того, МЭА, МИРЭС и другие структуры не исключают бума в солнечной энергетике, которая может преподнести сюрприз, обогнав к середине века гидрогенерацию (сегодня это ведущий сектор ВИЭ в глобальном масштабе). Согласно различным прогнозам, прирост гидрогенерации ожидается главным образом за пределами

## ДОБЫЧА СЛАНЦЕВОГО ГАЗА. ДОБЫЧА НЕФТИ ИЗ БИТУМИНОЗНОГО ПЕСКА



стран ОЭСР, тогда как в развитых государствах в большей мере будет расширяться ветровая энергетика (по прогнозу АЭИ, к 2040 году в них будет свыше половины ветроустановок мира). По абсолютному приросту ВИЭ в генерации к 2035 году безусловным лидером может оказаться Китай, где, по оценке МЭА, будет введено больше таких мощностей, чем в США, ЕС и Японии, вместе взятых.

Заметно расходятся прогнозы в отношении перспектив биоэнергетики. Целевые установки МЭА заключаются в том, что к 2050 году биоэнергетика должна стать крупнейшим первичным источником энергии. Ряд других экспертных структур относится к этому с большим или меньшим скепсисом. Например, МИРЭС «не ожидает, что биомасса будет играть существенную роль в энергетическом балансе» до 2050 года. «Биомасса долгое время рассматривалась как панацея. Однако, учитывая соображения устойчивого развития и противоре-

чия с задачами ее альтернативного использования в качестве продовольствия, кормов и так далее, ожидания в отношении биомассы радикально изменились», – отмечает организация. Другие прогнозы также подтверждают, что перевод органических ресурсов в топливо не приобретет тех масштабов, на которые рассчитывает МЭА. Например, по прогнозу АЭИ, доля биотоплива (важнейшего компонента ВИЭ за пределами электроэнергетики) в структуре жидких углеводородов к 2040 году останется незначительной – порядка 4% (сегодня – менее 2%). Основными производителями биотоплива будут США, сегодняшний лидер в этой области, и Бразилия.

Ожидаемый опережающий рост газового сектора объясняется прежде всего развитием нетрадиционных источников газа, получающих все большее распространение, особенно в Северной Америке (в частности, сланцевый газ, технологии получения газа из

твердых ископаемых углеводородов и другие), развитием рынка сжиженного природного газа (СПГ), снижением цен на газ в отдельных регионах и ужесточением стандартов эмиссии, что в совокупности повышает конкурентоспособность газовой генерации. По ряду оценок, эти тренды носят достаточно устойчивый характер. В частности, в долгосрочной перспективе можно ожидать снижения среднего ценового уровня и относительного выравнивания цен на газ между основными импортирующими странами и регионами. Согласно последним оценкам МЭА, цены на газ для основных импортеров (Япония, страны ЕС, Китай) в перспективе до 2035 года снизятся, а ценовые различия между регионами уменьшатся с нынешних примерно 90% до 20–30%. На этом фоне нефть будет весьма дорогой: ко второй половине 2030-х годов ее стоимость составит в современных ценах от \$128 за баррель (прогноз МЭА) до \$163 за баррель (оценка АЭИ). В ближайшие десятилетия уве-

личению масштабов добычи и производства углеводородов, прежде всего газа, будет способствовать опережающий рост потребления вне энергетики – в качестве сырья, прежде всего в химической промышленности.

К вопросам, по которым прогнозы по большому счету единодушны, относится ядерная генерация: большинство не ожидает существенного изменения ее места в энергетике. Признавая роль атомной энергетики как одного из важных энергоисточников и средств сокращения эмиссии, экспертные структуры отводят ей одно из последних мест в глобальном энергобалансе к середине столетия. Так, по оценке МЭА, абсолютный вклад ядерной генерации в рост всей энергетики в период до 2035 года будет наименьшим среди других ведущих источников энергии. Как предполагается, по темпам роста ядерная энергетика существенно уступит ВИЭ.

В результате ВИЭ намного превзойдут АЭС в структуре генерации и еще больше – в балансе первичных энергоресурсов. По прогнозу British Petroleum, в те же сроки темпы роста атомной генерации окажутся в среднем ниже прироста электроэнергетики в целом. EIA и ExxonMobil полагают, что к 2040 году прирост выработки на АЭС несколько опередит темпы роста генерации, однако атомная энергетика будет по-прежнему занимать относительно скромное место – 7–8% в балансе первичных энергоресурсов и 14–20% в структуре выработки электроэнергии. Говоря о перспективе 2050 года, даже МАГАТЭ не ожидает прорыва в атомном секторе энергетики: по оценкам агентства, при самом благоприятном развитии событий доля АЭС в генерации сохранится приблизительно на сегодняшнем уровне (около 12%), а в иных случаях вообще снизится.

### ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ

Не вполне удачные прогнозы относительно долгосрочных изменений в энергобалансе, сделанные в прошлые десятилетия, заставляют задуматься о будущем энергетических технологий. В связи с этим стоит отметить несколько важных моментов. Во-первых, более-менее достоверный горизонт предсказаний простирается до середины текущего столетия – таков максимальный срок, ограничивающий большинство количественных прогнозов и планов, а значительная часть мер государственного и межгосударственного планирования относится к 2020–2030-м годам. Во-вторых, важным фактором глобального развития энергетических технологий стали экологические соображения и прежде всего необходимость снижения антропогенного воздействия на климат через эмиссию парниковых газов. Наконец, в-третьих, в исследованиях большинства авторитетных организаций выделяется вполне определенный набор технологий, в зависимости от развития которых (тех или иных из этого ряда) ставится энергобаланс будущего. Внедрение части этих технологий сегодня диктуется прежде всего «экологической идеологией», тогда как соображения экономики и энергетической безопасности нередко приспособляются к заданной цели.

За последние десятилетия произошли качественные изменения в прогнозируемой роли энергетических технологий: если в 1970-е годы наибольших перспектив расширения ожидали от атомной энергетики, то сегодня – прежде всего от возобновляемых источников энергии. Кроме того, более весомое значение придается энергоэффективности и связанным с ней технологиям.

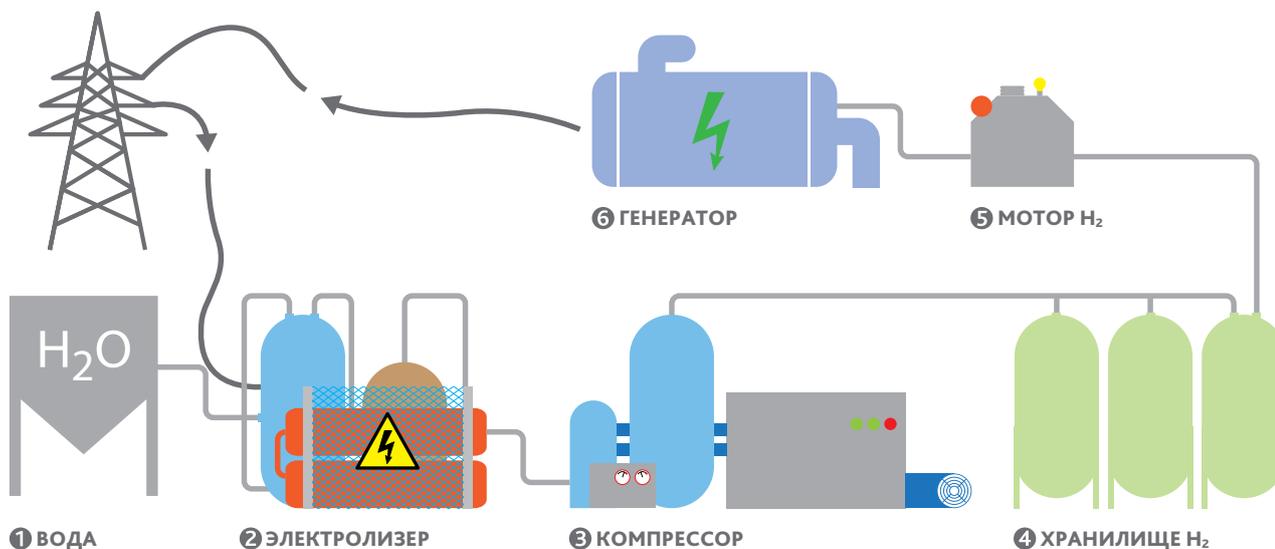
Большинство структур, готовящих прогнозы глобальной энергетики,

называют в числе технологий, которые должны появиться или занять более весомое место в энергобалансе 2050 года, биоэнергетику, солнечную генерацию (прежде всего солнечные батареи), ветровую генерацию, системы улавливания и хранения углекислого газа (УХУ), устанавливаемые на тепловых станциях, «умные сети» и связанные с ними схемы участия потребителей в регулировании энергосистем, энергосбережение, различные технологии аккумулирования энергии, в ряду которых нередко рассматривают водородную энергетику и топливные элементы.

Однако ведущие прогнозисты расходятся относительно темпов и технологических приоритетов в развитии энергетики. Так, МЭА выделяет по значимости развитие энергоэффективности, ВИЭ (в особенности биоэнергетики, солнечной и ветровой) и УХУ. По оценке МЭА, они смогут обеспечить свыше 80% сокращения эмиссии в энергетике к 2050 году. МИРЭС добавляет к этому списку атомную генерацию (не предполагая ее опережающего роста в энергобалансе), «чистые» угольные технологии (газификация угля и другие), технологии аккумулирования энергии (с особым вниманием к водородной энергетике и топливным элементам), биотопливо второго поколения (полученное от биомассы со специально выделенных угодий).

По оценкам МЭА, МИРЭС, АЭИ и других, сегодня наибольшими темпами внедряются технологии возобновляемой энергии, в особенности солнечные панели, ветрогенераторы и гидроэнергетические мощности. Однако и в ряду ВИЭ имеются свои аутсайдеры. В их числе МЭА называет прочие солнечные энергоустановки (кроме солнечных панелей), морские ветровые парки, приливные, геотермальные и другие.

## ВОДОРОДНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ



Большинство сходится в оценках, что УХУ являются ключевой технологией, которая способна обеспечить весомую часть сокращения эмиссии (по оценке МЭА – до 20% к 2050 году, считая использование этих систем в том числе в промышленности). В то же время различные экспертные структуры согласны в том, что сегодня эта технология практически не развивается, несмотря на декларации и планы ее внедрения: почти все прецеденты относятся к использованию УХУ вне энергетики. Целевые показатели МЭА предусматривают, что к 2050 году порядка 60% электростанций на угле (основные источники эмиссии) будут оснащены УХУ. Однако для этого, по мнению МЭА, необходимо принять меры государственного стимулирования. С этим согласен и МИРЭС, по оценке которого для развития УХУ необходимо переложить расходы с энергетических компаний на потребителей – то есть ввести схему стимулирования, аналогичную применяемой для возобновляемых источников энергии.

Ряд экспертных структур использует в своих прогнозах фактор неопределенности, в частности, применительно к перспективам развития технологий. Так, МИРЭС называет технологии, которые могут оказаться, по выражению организации, «джокером» или «черным лебедем» в мировой энергетике, то есть могут при определенных обстоятельствах получить неожиданно большое развитие, что опрокинет ряд сегодняшних долгосрочных прогнозов энергобаланса. К таким технологиям МИРЭС относит УХУ и системы аккумулирования энергии, включая водородную энергетику, а также расширение участия потребителей в регулировании энергосистемы. Наряду с позитивными для экологии или энергоэффективности сюрпризами МИРЭС не исключает возможности и отрицательных событий, примером которых может стать очередная тяжелая авария на АЭС, которая затормозит развитие ядерной энергетики.

Что касается возможности позитивных сюрпризов в атомной энерге-

тике, то ведущие экспертные организации не придают какого-либо существенного значения возможным технологическим изменениям в этом секторе и не предполагают, что они окажут заметное влияние на энергетику в глобальном масштабе. МАГАТЭ не составляет исключения, что видно из прогнозов агентства относительно роли АЭС в генерации к 2050 году (4,8–12,1%).

### ЯДЕРНЫЕ ДЕТАЛИ

Итак, ядерная генерация – едва ли не единственный сектор энергетики, от которого не ожидают к 2050 году радикальных перемен – ни взлетов, ни падений, если говорить о месте в глобальном энергобалансе. Иной вопрос – технологический облик этой отрасли.

Технология, обладающая наибольшим «революционным потенциалом» для отрасли, – управляемый термоядерный синтез, – согласно большинству прогнозов, не проявит себя на рассматриваемом временном горизонте.

Программа-максимум для нее в данный период – опытно-промышленное освоение, важнейшим шагом к которому сегодня является международный проект ИТЭР. То же относится к срокам внедрения производных технологий: например, НИЦ «Курчатовский институт» прогнозирует возможность строительства гибридных реакторов с термоядерным источником нейтронов лишь примерно с середины века.

Таким образом, атомная энергетика в предстоящие десятилетия будет по-прежнему основана на управляемой реакции деления тяжелых ядер. Исходя из этого, а также планов целого ряда государств, инвестиционных программ, реализуемых и намечаемых проектов строительства энергоблоков АЭС и прогнозов экспертных организаций можно утверждать, что развитие атомной энергетики в ближайшие десятилетия будет носить в целом эволюционный характер. Одним из направлений этой эволюции является дополнение сложившихся в 1960–1980-е годы технологий надстройками, обеспечивающими более высокий уровень безопасности: многократно дублируемыми, эшелонированными системами, содержащими в той или иной степени пассивные и активные средства аварийного расхолаживания реактора и пространства гермооболочки. Эти системы, по сути, создают с помощью замысловатых технических ухищрений (и лишь до некоторой степени) некий аналог так называемой внутренне присущей безопасности – концептуальных реакторных технологий, в которых разгон реактора, разрушение активной зоны, рост параметров температуры и давления предотвращаются на уровне самих физических принципов, заложенных в основу конструкции. Упомянутые доработки стали неотъемлемой составной частью реакторов поколений III–III+, которые

уже внедряются (первые прецеденты – в 1990-е годы) и на строительство которых атомная энергетика перейдет практически полностью уже в ближайшие годы. Некоторые из этих технических решений внедряются и в реакторы прежних поколений в ходе их модернизации. Таким образом, этот этап эволюции уже проходит вовсю.

В то же время наряду с «переизданием» традиционных конструкций уже сегодня наметилась дилемма, под знаком которой пройдет техническое развитие атомной энергетики начиная приблизительно с 2030-х годов. Она заключается в том, в какой степени и насколько долго ядерная энергетика сохранит сложившийся технологический облик. К основным чертам этого облика относится абсолютное преобладание реакторов на тепловых нейтронах и открытого ядерно-топливного цикла на основе преимущественно уранового топлива, господство паросилового цикла с докритическими параметрами пара, системообразующее место АЭС в локальных энергосистемах при специализации преимущественно на базовой генерации электроэнергии и так далее. В ядерных программах отдельных государств, инвестиционных планах компаний и программах международных организаций все более явно намечаются альтернативные направления развития реакторных технологий и связанных с ними ядерно-топливных циклов.

К наиболее отчетливым тенденциям, уже получающим практическое воплощение в отдельных проектах, следует отнести развитие реакторов на быстрых нейтронах, высокотемпературных газоохлаждаемых реакторов (ВТГР), малых модульных и блочно-модульных реакторов, расширение использования МОХ-топлива. Эти явления можно считать прообразами

## СПРАВКА

При всем развитии технологий энергетики главный их принцип остается неизменным: к середине XXI века свыше 90 % энергетических потребностей человечества по-прежнему будет удовлетворяться за счет использования аккумулированной энергии Солнца – углеводородов, возникших в результате фотосинтеза в древние времена, и гидроэнергии, использующей круговорот воды в природе, движимый солнечным теплом. Если не считать малозначимых исключений (геотермальная энергия – энергия земных недр, или приливная, главным образом гравитационная энергия Луны), то лишь с освоением атомной энергии человечество получило частичную независимость от «солнечных» источников энергии.

тех самых более радикальных изменений, которые грянут в ближайшие десятилетия. Развитие этих тенденций зависит от комплекса факторов: успеха в разработке технологий, которые пока находятся главным образом на бумаге или воплощены в экспериментальных моделях, от выбранной концепции развития атомной энергетики на уровне ключевых государств и регионов и, наконец, от экономических параметров концептуальных реакторов – их конкурентоспособности на фоне не столько традиционных АЭС, сколько других видов генерации с учетом описанных выше изменений в энергетике в целом. И пожалуй, принципиальная техническая осуществимость подобных проектов на сегодня более очевидна, чем их экономика.

Некое обобщение множества частных и национальных разработок ядерно-энергетических технологий завтрашнего дня осуществляется на международном уровне – в рамках международных программ разработки концептуальных реакторных технологий и ЯТЦ. К наиболее масштабным программам этого рода относятся Generation IV International Forum (GIF) и International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO).

GIF объединяет усилия 12 стран (Китай, Канады, Франции, Японии, Южной Кореи, ЮАР, Швейцарии, России, США, Аргентины, Бразилии и Великобритании) и одного региона (ЕС) в разработке шести концепций реакторов и сопряженных с ними технологий, прежде всего ЯТЦ. К этим технологическим концепциям, выбранным в 2002 году как наиболее перспективным, относятся системы с реактором на быстрых нейтронах с натриевым охлаждением, газоохлаждаемым реактором на быстрых нейтронах, быстрым реактором со свинцовым



*Одна из крупнейших станций на биомассе в Центральной Европе принадлежит компании Dalkia*

или свинцово-висмутовым теплоносителем, жидкосолевым реактором, реакторной установкой со сверхкритическими параметрами пара, сверхвысокотемпературным реактором. Согласно обновленным планам организации, эти технологии должны быть готовы к широкому внедрению к 2030-м годам.

В программе INPRO, которая осуществляется под эгидой МАГАТЭ, участвует 40 стран. Программа ориентирована не столько на создание конкретных реакторных конструкций, сколько на проработку альтернативных вариантов концепции ядерной энергетики, включающих всевозможные реакторные технологии в системе с разными ядерно-топливными циклами и рекомендуемыми направлениями госполитики в атомной сфере.

Поскольку обе программы пересекаются в некоторых вопросах, между INPRO и GIF осуществляется координация и сотрудничество по ряду направлений.

Разработка перспективных концепций реакторов и ЯТЦ также ведет-

ся на уровне отдельных государств, межгосударственных объединений (Евросоюз), а также альянсов частных компаний, иногда при участии государственных структур и отраслевых ассоциаций. Концепции, разрабатываемые на этих уровнях, в большинстве случаев укладываются в технологические русла, намечаемые INPRO и GIF.

К концепциям, получившим наибольшее распространение, внедрение которых уже происходит или начинается на уровне отдельных демонстрационных проектов, относятся высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы, реакторы на быстрых нейтронах с натриевым, свинцовым или свинцово-висмутовым теплоносителем, частичное замыкание ядерно-топливного цикла с использованием быстрых реакторов и широким вовлечением в него (в разных вариантах) плутония и тория, утилизацией других актинидов. Так, действующие быстрые реакторы с натриевым

теплоносителем имеются в России (промышленного уровня мощности), Индии, Японии и Китае (исследовательские), строятся в России и Индии (промышленного масштаба), предусматриваются планами на среднесрочную перспективу в России, Индии, Китае, Франции, Южной Корее, разрабатываются в США и Японии.

Концептуальные реакторы на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем разрабатываются и планируются к внедрению в России и ЕС, быстрые реакторы со свинцово-висмутовым охлаждением разрабатываются в России, США и Европе, планируются к созданию в России (которая имеет опыт строительства и эксплуатации таких конструкций на подводном флоте). Кроме того, в США, Японии, ЕС (во Франции) наиболее проработаны разные концепции газоохлаждаемых реакторов на быстрых нейтронах.

Высокотемпературные газоохлаждаемые реакторы на нейтронах теплового спектра в настоящее время имеются в Китае и Японии (исследовательские), строятся в Китае (демонстрационные), разрабатываются прежде всего в США и Франции. К особенностям высокотемпературных и сверхвысокотемпературных газоохлаждаемых реакторов относится повышенная (до 850–1000 °С) температура теплоносителя (гелия), позволяющая использовать их для поставки технологического тепла. Большинство концепций таких реакторов включает сопряженные с ними комплексы по производству водорода, что открывает дополнительные возможности для развития технологий водородной энергетики.

Большинству проектов с реакторами на быстрых нейтронах, за исключением ряда конструкций малой мощности, отводится ключевое место

в перспективных ядерно-топливных циклах, рассматриваемых или принятых в рамках национальных стратегий развития ядерной генерации. Эти планы предусматривают замыкание ЯТЦ до той или иной степени, что позволит вовлечь в топливную базу атомной энергетики уран-238, плутоний и торий, тем самым расширив ее на несколько порядков. Необходимость этого диктуется тем, что природные запасы урана-235, выступающего основой современного глобального ЯТЦ, вполне сопоставимы с ресурсами ископаемых углеводородов, то есть исчерпаемы в обозримой перспективе. И хотя помимо них существуют значительные запасы оружейного урана и плутония, они концентрируются в ограниченном круге стран. Поэтому в долгосрочной перспективе возникает проблема не только объема, но и цены сырья для атомной индустрии. Все это стимулирует ряд государств к рассмотрению вопроса о диверсификации ядерно-топливного баланса. Результатом внедрения ЯТЦ, использующих наиболее распространенный изотоп урана, плутоний и торий, может стать фактическое уравнивание ядерной энергетики с возобновляемыми источниками энергии в отношении обеспеченности энергоносителями. Подобные планы предполагают в том или ином варианте строительство комплексов по переработке ОЯТ, изменения в технологиях фабрикации топлива, связанные как с необходимостью его производства на базе переработанного ОЯТ, так и с применением новых топливных композиций (металлическое, МОХ, торий).

К важнейшим дилеммам в технологическом развитии ядерной энергетики, которые потребуются разрешить в предстоящие десятилетия, относится соотношение разных реакторных технологий и выбор между открытым ЯТЦ и его замыканием, ре-

шение вопроса о вовлечении тория в этот цикл. В связи с этим возникает проблема – какими темпами и в какой степени новые реакторы будут заменять прежние конструкции.

В ряде государств пока не предпринимаются реальные шаги по отказу от открытого ЯТЦ и широкомасштабной замене парка легководных реакторов в предстоящие десятилетия. Яркий пример – США: лицензируемые и проходящие процедуры государственного утверждения конструкции реакторов и проекты их внедрения, планы продления сроков службы действующих энергоблоков, инвестиционные планы строительства АЭС и мощностей по обогащению урана, наконец, обновленная недавно государственная стратегия в сфере ЯТЦ – все свидетельствует о том, что в перспективе по меньшей мере ближайших десятилетий Вашингтон не собирается отказываться от открытого ЯТЦ и апробированных легководных технологий. Развитие принципиально новых конструкций рассматривается, но не как замена, а как дополнение к экономически эффективному легководному парку, призванное заполнить определенные рыночные ниши. К таким конструкциям относятся ВТТР и быстрые реакторы, в основном в малой нише, где планируется и целый ряд модульных легководных конструкций. Именно развитие малых модульных реакторов является отличительной тенденцией в США, которая может сказаться на облике ядерной энергетики страны к середине века. Однако быстрые реакторы в рассматриваемом малом формате не способны определять облик ЯТЦ.

Иная стратегия рассматривается в таких государствах, как Россия Франция, Индия, нацеленных в долгосрочной перспективе на ЗЯТЦ с реакторами на быстрых нейтронах в качестве ключевого звена.

В индийской модели предусматривается интенсивное внедрение самых разнообразных реакторных технологий, включая легководные, тяжеловодные, средние и большие быстрые реакторы. Эти технологии должны сосуществовать и даже «сотрудничать». Особенностью планируемого (и уже частично выстроенного) индийского ЯТЦ является разделение функций между тремя типами реакторов, каждый из которых представляет одну из стадий ядерно-топливного цикла. Это тяжеловодные реакторы первых поколений PHWR (действующие и строящиеся), быстрые реакторы с натриевым охлаждением PFBR/CFBR (первый строится), усовершенствованные тяжеловодные реакторы ANWR (первый разработан и планируется).

Отличительная черта индийской модели ЯТЦ – минимизация потребностей в обогащении урана для гражданской ядерной энергетики (первая стадия ЯТЦ, в принципе, может обходиться без изотопного разделения, хотя последние модели PHWR используют слабообогащенный уран для повышения эффективности) и широкое использование тория и, соответственно, урана-233 в энергетических целях. Индийский опыт утилизации тория, отработанный Нью-Дели на ряде исследовательских установок, изучается другими странами при рассмотрении уран-ториевого цикла в качестве долгосрочной перспективы.

В других странах рассматриваются варианты как сужения технологического ряда, при котором основой парка могут стать быстрые и ряд других типов реакторов при постепенном отказе от действующих вариантов легководных, так и его диверсификации, с внедрением наряду с другими конструкциями параллельно быстрых и модернизированных легководных технологий.

К примеру, нынешняя российская программа развития быстрых реакторов и технологий ЯТЦ в принципе допускает в дальнейшем акцент на первой или второй стратегии. Следует отметить, что в России интенсивное обновление к середине века ядерного парка predeterminedено в большей мере, чем в некоторых других странах. Это связано с установкой на вывод из эксплуатации на рассматриваемом временном горизонте реакторов РБМК, составляющих почти половину парка. Действующие государственные программы и планы Росатома предусматривают, в частности, развитие трех концепций быстрых реакторов (не считая исследовательских), строительство новых мощностей по переработке ОЯТ и хранению РАО, освоение новых видов топлива (МОХ, плотное нитридное), наконец, развитие существующих легководных технологий в большой (ВВЭР-1200) и малой (плавучие энергоблоки) нише. В то же время на уровне рассмотрения находится внедрение в перспективе ближайших десятилетий и других технологий: ВВЭР с сверхкритическими параметрами пара и повышенным воспроизводством, ВТТР, жидкосольевых реакторов (Россия среди прочего участвует в проработке этих концепций в рамках GIF), иных вариантов малых и средних легководных реакторов (ВВЭР-600, линейки ВБЭР), ускорительно-управляемых систем, а в перспективе, ближе ко второй половине века, – гибридных реакторов с ТИН и других концепций.

К основным открытым вопросам долгосрочной российской программы относится необходимость и экономическая оправданность дальнейшего технологического усложнения ВВЭР и значительного расширения парка таких реакторов, выбор перспективной концепции промышленных быстрых реакторов и ЯТЦ (целесообразность вовлечения тория, складские

запасы которого уже были накоплены, и так далее). На данном этапе приняты решения о параллельном освоении технологий быстрых реакторов с натриевым, свинцовым и свинцово-висмутовым охлаждением. В стадии ввода в эксплуатацию находится второй натриевый реактор на Белоярской АЭС (БН-800), рассматривается проект с блоком БН-1200. На Сибирском химкомбинате планируется сооружение демонстрационного реактора БРЕСТ со свинцовым охлаждением и опытно-демонстрационным комплексом, предназначенным для отработки технологии воспроизводства ядерного горючего с участием данного типа реактора. Тут предполагается сооружение модуля фабрикации и рефабрикации топлива, мощностей по переработке ОЯТ и обращению с РАО. Третьим типом быстрой конструкции станет реактор СВБР-100, создаваемый компанией «АКМЭ-инжиниринг» – партнерством Росатома с частными структурами. В отличие от двух остальных концепций, последняя не ориентирована на воспроизводство топлива, а предназначена для продвижения на российский и зарубежные рынки исключительно в качестве источника энергии.

Эти примеры показывают, что технологический облик атомной энергетики к середине века может измениться гораздо больше, чем ее место в глобальном энергобалансе. Вопрос в том, может ли развитие технологий открыть новые перспективы для атомной энергетики, стимулировать ее расширение за пределы прогнозируемых для нее рамок.

#### **НЕОБХОДИМЫЕ УТОЧНЕНИЯ**

Существует целый ряд факторов, степень влияния которых на долгосрочные перспективы развития энергетики требует переоценки, что признается авторитетными экспертными структурами.

Например, сегодня мало кто отрицает, что результаты климатической политики на глобальном уровне провальные. Об этом прямо говорится в последних прогнозах МЭА, МИРЭС, ExxonMobil и других структур. «Амбициозные намерения государств ограничить глобальное потепление уровнем в 2 °С оказались абсолютно нереалистичными. И пока переговоры продолжают обсуждать этот вариант, все больше научных и экспертных структур прогнозируют намного более пессимистичные сценарии глобального потепления. Сегодня очевидно одно: бизнес, правительства и общество должны готовиться к потеплению не на 2 °С, а на 4 °С или даже 6 °С», – отмечается в недавнем исследовании PricewaterhouseCoopers (PwC) на эту тему.

Вполне однозначная количественная оценка эффективности климатических мер содержится, например, в докладе МЭА от 2013 года. Согласно документу, с начала 1970-х годов по наши дни показатель удельной эмиссии в энергетике снизился лишь на 7%, причем 6% из них обеспечил взлет цен на углеводороды в 1970-е годы, вызвавший повышение эффективности генерации и экономию органического топлива, и всего 1% – все меры климатической политики и субсидирования ВИЭ, принятые за последние 25 лет.

Неудивительно, что усиливается разочарование концепцией развития энергетики, получившей распространение на международном уровне и в ряде стран и предусматривающей искусственную накачку ВИЭ через огромные субсидии (\$101 млрд в 2012 году), главным образом за счет потребителей и в конечном итоге в ущерб другим видам генерации. На фоне глобальной экономической стагнации, обострившей проблему экономической эффективности энер-

гетики, многие государства выступили за частичный пересмотр этой концепции. В частности, весной прошлого года 12 стран ЕС высказались за уравнивание всех низкоэмиссионных энергетических технологий, что означает предоставление статуса наибольшего благоприятствования атомным проектам (пионером этого подхода в Европе стало Соединенное Королевство).

И хотя ряд международных и национальных организаций по-прежнему предполагает значительные субсидии ВИЭ – по оценке МЭА, к 2035 году они должны увеличиться до \$220 млрд, – все более признанным тезисом становится необходимость смещения акцента в сторону других технологий, ограничивающих эмиссию. Это находит выражение в целевых установках МЭА (которое является структурой Организации экономического сотрудничества и развития), предусматривающих, например, активизацию развития систем улавливания и хранения выбросов как одного из высших приоритетов в корректировке энергетической политики ЕС, нашедшей выражение в недавно принятой стратегии до 2030 года, и других признаках. Подобные перемены могут в конце концов привести к улучшению инвестиционного климата для ядерной энергетики, выдвигению ее в число приоритетов в национальной энергетической политике ряда государств.

К другим малоучитываемым факторам относится возможность открытия новых рыночных ниш для атомной энергетики, обусловленных изменениями в ядерных технологиях на временном горизонте до 2050 года. Сегодня рост атомной энергетики сдерживается наряду с прочим ее специализацией исключительно на электричестве, тогда как другие энергоносители (возобновляемые источники энергии, нефть, газ) участвуют в фор-

мировании прочих компонентов энергодбаланса: биоэнергетики, топлива для отопления и транспорта и так далее. Развитие новых технологий ядерной генерации может обеспечить атомной энергии пропуск в другие сектора энергетики и отрасли, что будет стимулировать расширение роли АЭС. Речь идет, например, о высокотемпературных и сверхвысокотемпературных реакторах, прежде всего наиболее технически отработанных ВТТР. Развитие таких конструкций может осуществляться параллельно с водородной энергетикой или придать ей дополнительный импульс, а через нее – топливным элементам. Может возникнуть синергия этих сегментов энергетики, и без того признанных приоритетными, что ускорит их развитие.

Особой оценки требует зарождающийся рынок малых модульных реакторов (хотя по меркам тепловой энергетики они скорее средние – до 300 МВт). Эти изменения в формате ядерной генерации не нашли какого-либо отражения в большинстве рассмотренных нами прогнозов, хотя исходя из активного продвижения таких конструкций многими поставщиками в последние годы, внимания к этой теме ряда государств, технической и экономической возможности развернуть эту рыночную нишу уже начиная со следующего десятилетия – данная технология заслуживает определенной оценки ее перспектив.

Интересно, что на фоне игнорирования подобных тенденций в отношении атомной энергетики ряд прогнозов содержит в общей сложности многостраничные оценки технологий, существующих в мировой энергетике в единичном экземпляре, – таких как системы улавливания и хранения углерода, газотурбинные установки на водородном топливе и другие.

## «НАДО ВСЕ ВРЕМЯ ДВИГАТЬСЯ ВПЕРЕД»

Президент «ЦКТИ-Вибро-сейсм», член комитета международных ядерных стандартов ASME и представитель ASME в РФ Виктор Костарев рассказывает о том, как устроена американская система отраслевых стандартов, и рассуждает о необходимости возрождения российского инженерного сообщества, а также дает оценку ходу реализации ряда проектов по строительству АЭС.



**– Расскажите, как устроена работа ASME. На каких принципах основана работа комитетов и основных структурных подразделений этой организации?**

– Международное общество инженеров-механиков было сформировано в 1886 году. Сейчас в ASME входит порядка 130 тыс. членов. Принцип в том, что это профессиональное инженерное сообщество, куда вступают эксперты как индивидуумы, которые достигли какого-то успеха в своей отрасли знаний. Самое большое представительство в ASME имеют, безусловно, эксперты из США. Но значительно представлена и Япония, Франция, Германия, Китай и Южная Корея, то есть основные крупные ядерные страны. И поэтому стандарты ASME стали ведущими в мире. По этим стандартам проектируется большинство атомных станций в мире.

**– Как обычно принимаются новые стандарты в атомной промышленности, как это происходит?**

– Чтобы стать членом ASME и пользоваться соответствующими привилегиями, такими как доступ к библиотекам, к базе данных, надо заплатить взнос – порядка \$ 130 в год. То есть это может себе позволить любой человек, работающий в атомной отрасли. Для того чтобы работать в комитетах по разработке стандартов, нужна рекомендация профессионального сообщества ASME. Заметив кого-то, кто внес заметный вклад в разработку той или иной технологии или просто является хорошим инженером, другие участники рекомендуют его к работе в каком-то комитете. Неожиданно таким образом и меня в свое время рекомендовали в два комитета. Я сейчас работаю в группе по разработке стандартов для трубопроводов и участвую в деятельности главного комитета по атомной тематике. Он принимает все стандарты, разрабатываемые в рабочих группах и подкомитетах. В него входит около 40 ведущих мировых экспертов.

**– Как то или иное технологическое решение становится стандартом?**

– Это прямая инициатива индустрии. Прекрасный пример – последний стандарт, связанный с полиэтиленовыми трубами высокого давления. Промышленность, которая уже разрабатывала полипропиленовые либо полиэтиленовые трубы высокого давления, уже применяла их в химической отрасли и понимала, что на АЭС замена металлических труб может дать колоссальную выгоду. Они стучались в двери ASME в течение десяти лет. У них уже были разработаны стандарты для коммунальных служб, для химической промышленности, но наш атомный комитет не удовлетворился уровнем этих документов и потребовал провести дополнительные испытания. Их проводили за счет промышленности. В итоге были представлены все данные по надежности труб, которые удовлетворили наш комитет. Теперь это стало стандартом ASME, согласованным американским ядерным надзором NRC. И полиэтиленовые трубы стали поставляться для АЭС, причем не только для третьего класса безопасности, но и для второго класса, что является про-

рывом в технологиях распределительных систем.

**– Как быстро эхо Фукусимы докатилось до стандартов ASME?**

– События на «Фукусиме» – это трагическая и очевидная ошибка проектирования, о которой, кстати, заранее уведомяло МАГАТЭ. Безусловно, там были и есть организационные проблемы и проблемы человеческого фактора, которые нужно решать. Но, к слову, мне кажется, с точки зрения опыта воздействия землетрясений на АЭС и последующей корректировки стандартов важнее было то, что произошло на АЭС «Касивадзаки-Карива» в июле 2007 года, когда непосредственно рядом со станцией случилось девятибалльное землетрясение с воздействием, в разы превышающим проектные основы. И выяснилось, что надежность сооружений, оборудования, связанного с безопасностью, и систем АЭС весьма высока.

Важная особенность подхода ASME в том, что немедленно после какого-то инцидента либо важного события, которые не вполне вписываются в существующую практику, создается рабочая группа по рассмотрению последствий и совершенствованию норм. Подобные рабочие группы были сформированы как после событий на «Касивадзаки-Кариве», так и после Фукусимы. По Фукусиме такие группы работают, уже есть определенные результаты, предложения по переработке разделов, связанных с вероятностной оценкой безопасности многоблочных АЭС.

**– Насколько эти рекомендации впоследствии становятся руководством к действию?**

– Нормы формируются инженерами, представляющими все слои атомного сообщества, принимаются регулятора-

ми, а следуют им проектанты, производители оборудования и строители или заказчики – те, кто собирается строить и эксплуатировать АЭС. В мире существует понятие «собственник станции». Соответственно, проектант, которого он наймет, должен спроектировать станцию в соответствии с какими-то нормами. ASME является для мировой атомной промышленности, по сути, главной нормой, наравне со строительными нормами ASCE (Американского общества инженеров-строителей – аналога ASME в сфере гражданского строительства). И когда начинается проект станции, у заказчика сразу возникает вопрос – по каким нормам его делать? В случае, когда мы проектируем станцию за рубежом, допустим в Китае, мы выполняем проект по нашим правилам и нормам в атомной энергетике (ПНАЭ). Но в итоге это приводит к необходимости подчас пересчитывать все по зарубежным кодам. Наши нормы зачастую более консервативны, тем не менее приходится проводить двойные расчеты, в том числе по американским кодам, по требованию национальных надзоров.

**– Росатом декларирует курс на гармонизацию атомных стандартов, норм и правил России с международной системой. На ваш взгляд, насколько допустимо прямое копирование американского подхода?**

– Гармонизация стандартов – это крайне необходимый, но и болезненный вопрос, которым нужно немедленно заниматься. Я очень рад, что этот процесс начался. К сожалению, сегодня пропасть разделяет наши нормы, которые находятся на уровне конца 1970-х годов, и то, куда ушла современная техника и стандарты.

Вместе с тем я убежден: нам нельзя идти по пути слепого принятия чужих норм. Мы великая атомная держава, в наших ПНАЭ заложены очень ра-

зумные и замечательные вещи. Кроме того, просто скопировать будет практически невозможно, потому что в России другие технологии. Японцам и корейцам было в этом смысле проще, потому что они изначально перенимали американскую технологию.

Помимо Южной Кореи и Японии Чехия также близка к тому, чтобы перейти на американский код, – она практически уже отказалась от ПНАЭ. В то же время во Франции, например, существуют собственные атомные нормы, но гармонизированные с кодом ASME по основным параметрам. В них сопоставимые запасы прочности, так что при строительстве по французским нормам, если проверить проект по ASME, отличия будут незначительными. У нас же расчет по собственным и международным нормам получится совершенно разным. К нашему счастью, российские нормы более консервативны, имеют большие запасы прочности. Но это также приводит к неэкономичному расходу средств, материалов и времени. Так что гармонизация норм и стандартов – это вопрос экономики и возможности расширения, а не сворачивания экспорта наших атомных технологий за рубеж.

**– Это позволит сделать наши проекты более экономичными, дешевыми и сократить срок строительства?**

– Безусловно. У Росатома есть успехи на международном рынке, но теперь ситуация стремительно меняется. США уже строят станции в Китае. Они наладили отношения с Индией. Французы и японцы крайне активны и только что выиграли тендер на строительство второй АЭС в Турции, где, возможно, будет применена сейсмоизоляция основных зданий АЭС из-за высокой сейсмичности площадки. Конкуренция становится жестче. И нам надо иметь современные, понятные международному сообще-

ству нормы. Иначе будем проигрывать, потому что наш киловатт-час будет стоить дороже, чем у конкурентов.

К сожалению, мы уже более 25 лет не занимались серьезно этим вопросом. Кроме того, если не следовать современным тенденциям и передовому опыту, то это может привести к снижению эффективности наших предложений по сравнению с конкурентами. К сожалению, многие новые технологии вызывают у нас непонимание, неприятие либо просто отторжение. Мы, безусловно, великая атомная держава, но нам надо все время двигаться вперед, чтобы сохранить этот статус. И надо знать, потому что за незнание на мировом рынке сильно бьют.

Допустим, в области методов вероятностного анализа безопасности при внешних воздействиях мы сейчас делаем только первые робкие шаги. А ведь ошибки на «Фукусиме» прямо связаны с недооценкой многих факторов безопасности, которые вероятностный анализ показал бы.

Вот мой личный опыт. Японцы постоянно говорили в МАГАТЭ, что им учиться у кого-то обоснованиям сейсмостойкости станций бессмысленно. Мол, ну чему вы там нас будете учить, у нас землетрясения каждый день. Но ведь если у вас что-то часто побаливает, это не значит, что вы самый главный специалист в мире по этой симптоматике. И вы все-таки идете к врачу, правильно? Хотя у врача может этой болезни и не быть. В области технологий то же самое. Японцы пересилили себя и после событий на АЭС «Касивадзаки-Карива», например, приняли все рекомендации МАГАТЭ по использованию метода граничной сейсмостойкости (МГС). И теперь на «Фукусиме» признали свои ошибки. Большой ценой, но признали. Теперь они проводят проработку всех национальных стандартов, пытаются перенять все

полезные разработки ASME, МАГАТЭ. Мы пока еще не в полной мере перешли к осознанию необходимости быстро перенимать передовой международный опыт.

**– В ноябре делегация из России ездила в ASME. Зачем?**

– Действительно, такая поездка состоялась. В нашей группе были представители Росатома, «Газпрома», саморегулируемых организаций атомной отрасли, газового холдинга и других индустрий. Все они хотели посмотреть, как ASME разрабатывает и принимает новые нормы. Я, как член комитета ядерных стандартов ASME, три-четыре раза в год участвую в неделе кодов и стандартов. На этот раз ко мне присоединились коллеги. Мы побывали в штаб-квартире ASME в Нью-Йорке, состоялась встреча с представителями американского национального института стандартов в Вашингтоне. Кроме того, представители Росатома непосредственно участвовали в неделе кодов и стандартов ASME.

Должен сказать, что сложившаяся в США система разработки стандартов существенно отличается от нашей. Во-первых, потому что там все основано на инициативе частного бизнеса. У нас пока нет такого развитого частного бизнеса и, думаю, долго еще не будет. И сложившегося традиционного инженерного сообщества пока нет. Кстати, в России до революции оно существовало. И я надеюсь, что наша прошлогодняя ноябрьская поездка придаст импульс, послужит толчком для возрождения российского инженерного сообщества, которое станет в дальнейшем инициатором разработки современных норм и стандартов отечественной промышленности.

**– Во Франции также сильная система атомных стандартов. Насколько она похожа на американскую?**

– Во Франции система основана на партнерстве государства и ведущих компаний. То есть она не полностью частная и в этом плане наиболее близка к нам. Государство там более тесно аффилировано с предприятиями, да и такого числа энергокомпаний, как в США, нет – одна EDF. Соответственно, государство не может не учитывать интересы EDF. Есть еще CEA – огромная атомная корпорация, которая занимается в том числе военными разработками, и это уже государственное предприятие. Поэтому нормы разрабатываются основными игроками – CIA, EDF, Alstom в партнерстве с государством, и для этого образована специальная структура по разработке и согласованию стандартов в атомной области.

**– Вы упомянули о неделе кодов и стандартов ASME. Расскажите подробнее, как она проходит?**

– Программа разбита на пять дней. Сначала заседают рабочие группы, потом подкомитеты, потом комитеты – все выше и выше по иерархии. В рабочих группах и подкомитетах по 15–20 человек, которые рассматривают все запросы по своим тематикам. Они касаются не только создания норм, но и их толкования. Вообще, разъяснения применения тех или иных разделов норм – это большая часть нашей работы в ASME помимо рассмотрения новых инициатив и технологий. Под конец недели комитет по ядерным стандартам рассматривает все предложения рабочих групп и подкомитетов, утверждает их или отправляет на дополнительную проработку. И так четыре раза в год. Помимо этого, мне поступает масса документов на рецензию, в основном электронно. Есть специальная система, очень удобная, где можно оставлять свои комментарии по новым стандартам. Вообще, надо сказать, ASME прошла тяжелейший путь, разрабатывая ме-

ханизмы обмена базами данных. Это действительно впечатляет.

Конечно, участие в работе ASME дорого стоит – расходы на транспорт, жилье. Но наша компания получает от этого реальную выгоду. Мы знаем все нормы, как действующие, так и те, что пока находятся в разработке. Это поддерживает нашу вовлеченность, помогает нашему бизнесу выжить, потому что выжить в российских условиях частной компании без господдержки очень непросто.

**– Вы часто бываете на действующих и строящихся АЭС, как в России, так и за рубежом. Чьи успехи в части сроков строительства можете выделить? Южная Корея, Китай?**

– Перед корейцами снимаю шляпу, то, как у них организована атомная промышленность, – это просто потрясающий успех за такой короткий срок. К слову, они обгоняют японцев уже не только в атомной индустрии, но и, например, в автомобилестроении. Тут совпало все: трудолюбие, желание учиться на лучших примерах и правильная политика государства. Даже вопрос участия специалистов в работе того же ASME тут решен очень качественно. Этим занимается Министерство образования. Выделено финансирование, в приказном порядке порядка 50 человек из атомной промышленности на конкурсной основе (то есть самые лучшие) отправляются на заседания рабочих групп ассоциации.

Отмечу, что на заседания рабочих групп, подкомитетов и комитетов ASME любой может прийти послушать, там предусмотрены специальные места для вольных слушателей вокруг стола, за которым сидят члены комитета. И что мы видим? В основном там сидят корейцы и китайцы, а сейчас присоединяются индийцы, вьетнамцы и так далее.

Что касается сроков строительства, если сравнивать с российскими проектами, то есть как успешные, так и неудачные примеры. Самый вопиющий – это, конечно, АЭС «Олкилуото» в Финляндии, где французы выиграли у нас тендер с проектом EPR-1600, и по сути, сегодня там уже двойные задержки по вводу станции. У нас такого никогда не было, кроме разве что проекта по АЭС «Бушер», но это специфический случай.

Я бывал в Саньмэне, где строится первый блок AP1000, мы с командой из ASME прямо на площадке рассматривали проблемы, связанные с реализацией проекта. AP1000 – революционный проект блочного строительства станций, где основные элементы собираются сразу на площадке, в том числе, например, прямо на месте собираются основные элементы здания реактора. Я беседовал с американцем, который отвечает за этот этап. Все операции он отслеживает в режиме реального времени на планшете, где отображаются в том числе задержки сроков. Спросил, какая максимальная задержка случалась на площадке. И получил ответ – в прошлом году была задержка на три недели. А сейчас, например, по сварке колпака реактора отставание – 17 часов. Это очень впечатляет. Посмотрим, что там будет на этапе пуска. Они должны были подключать к сети первый блок в начале 2014 года, но уже сейчас перенесли пуск на конец года. Видимо, все-таки возникли серьезные проблемы.

**– Давайте вернемся на шаг назад. В чем, на ваш взгляд, причины проблем на площадке «Олкилуото»?**

– EPR – очень сложный проект. Если сравнивать EPR1600 и AP1000, в американском проекте при мощности в полтора раза меньше вес самой станции в два раза меньше. Я уж не говорю о количестве клапанов, задвижек, тру-

бопроводов, которых в AP1000 в разы меньше. У французов получился сложный проект, насыщенный системами безопасности. Ну и вдобавок ошибки при строительстве. Причем началось все еще с первого бетона. Фирма, которая поставляла бетон, гарантировала, что его можно лить при морозе. Оказалось, что не совсем так, и так далее. Пришлось многое переделывать.

**– Как вы могли бы оценить проект ВВЭР-ТОИ?**

– Идея хорошая. Тут, как всегда, важен будет вопрос реализации. Ведь многое зависит от проработки. А мы как раз часто гибнем на деталях. Можно нарисовать очень красивую картинку, которая будет трудна в реализации. Тут, кстати, показателен пример Toshiba, которая купила Westinghouse. Американская компания тогда была на грани банкротства, было несколько потенциальных покупателей. Westinghouse показывала AP1000 как почти готовый проект, и японцы купили компанию. А потом уже поняли, что данный проект АЭС – это в основном общая хорошая концепция и очень красивые 3D-картинки. Дело было в 2005 году. С тех пор прошло семь лет колоссальной работы по доведению красивой идеи до практической реализации. Детализация по оборудованию, по компоновочным решениям. На мой взгляд, в этом плане ВВЭР-ТОИ пока гораздо менее проработан. Но посмотрим. Повторюсь, идея хорошая. Надо к ней добавить некие привлекательные передовые вещи. Например, отечественную технологию общей сейсмоизоляции, которая позволяет более чем в четыре раза снизить нагрузки на строительные конструкции и оборудование и таким образом кардинально решить проблему возведения АЭС на площадках с высокой сейсмичностью, таких как «Аккую» в Турции, а то наши прямые конкуренты и в этом вопросе нас опережают.

## НАТРИЕВЫЙ ТЕПЛОНОСИТЕЛЬ

Мы продолжаем публикацию серии лекций, прочитанных в рамках молодежной школы «Быстрые реакторы». Советник гендиректора Государственного научного центра РФ – Физико-энергетического института имени А. И. Лейпунского (ГНЦ РФ ФЭИ) Владимир Поплавский рассказывает о реакторах на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем.



Прежде чем говорить о перспективах развития натриевой технологии за пределами БН-600, крайне важно понимать общую ситуацию и новые требования, которые возникают в связи с развитием атомной энергетики. Россия обладает уникальным технологическим опытом за пределами БН-600. Сегодня БН-800 и БН-1200 нужно рассматривать как стартовые проекты с точки зрения выполнения основных требований к технологии, реакторным условиям внедрения в атомную энергетику. Потому что структура атомной энергетики в перспективе будет меняться с возможным развитием и увеличением доли быстрых реакторов в энергообеспечении.

Очевидно, что, развивая атомную энергетику с использованием быстрых реакторов, мы должны выполнять стратегические цели и придерживаться ключевых требований, в том числе и по натриевым реакторам, что относится к проблеме устойчивого развития, то есть созданию атомной энергетики, способной к расширенному и долгосрочному экспорту реакторных технологий и услуг. С другой стороны, существуют требования

к перспективным технологиям: безопасность, экономичность, обеспечение неограниченности топливных ресурсов, малоотходность (с точки зрения обращения с радиоактивными отходами) и политическая нейтральность, то есть способность ядерной технологии обеспечивать режим нераспространения ядерного оружия. Таким образом, если сравнить стратегические цели, которые ставятся перед энергетикой будущего, и системные требования, становится ясно, что необходим переход на новую технологическую платформу.

С точки зрения природного ресурса в перспективе это переход с урана-235 на уран-238 и торий-232, замена горнорудного и горнообогачительного производственного реакторного воспроизводства топлива. С точки зрения структуры атомная энергетика, генерация электричества (тепловые реакторы) должна перейти на двухкомпонентную систему (тепловые плюс быстрые) с возможной заменой паротурбинного варианта на газотурбинный. Существенные изменения коснутся процесса обращения с РАО, где планируется переход с дли-

тельного хранения на уменьшение радиотоксичности отходов с их последующим захоронением. Основная цель в развитии технологии – достижение приемлемых технико-экономических характеристик, то есть переход на уровень коммерциализации.

БН-800 можно назвать проектом с драматической историей, о которой должны знать потомки. Технический проект разрабатывался в конце 1970-х годов, а к 1983 году он уже был готов. В этом же году вышло постановление правительства о сооружении четырех блоков БН-800. Три блока на Южно-Уральской станции – в районе комбината «Маяк» – и один блок на Белоярской атомной станции в качестве четвертого блока. Однако Чернобыльская авария, а затем смена политического режима в стране привели к известным фактам: развитие атомной энергетики было практически приостановлено.

Нельзя сказать, что у руководства отрасли по отношению к БН-800 было полное безразличие. Мне довелось участвовать в комиссии 1991 года во главе с академиком Руденко, кото-

## Освоение быстрых натриевых реакторов в мире

Тип установки	США	СССР	Франция	Англия	Германия	Япония	Индия	Китай
Экспериментальные установки малой мощности (5–20 МВт (т))	EBR-I EBR-II	БР-5 БР-10	Rapsodie	DFR	KNK-I KNK-II			
Экспериментальные установки повышенной мощности (50–100 МВт (т))		БОР-60				Joyo	FBTR	CEFR
Опытно-демонстрационные установки (до 1000 МВт (т))		БН-350	Phenix	PFR	SNR-300	Monju		
Опытно-промышленные установки (600–1200 МВт (э))		БН-600	Superphenix					

рый анализировал ход сооружения первых трех блоков БН-800 на Южно-Уральской станции. К тому времени уже были построены котельные, был практически выполнен нулевой цикл – создан фундамент первого блока, много вспомогательных сооружений, и безусловно, научно-техническая общественность комбината выступала за развитие быстрой технологии, поскольку она очень хорошо сочетается с теми радиохимическими производствами, которые существуют на комбинате «Маяк». После работы экономической комиссии было принято положительное решение о продолжении строительства, однако та экономическая ситуация, которая сложилась в конце 1990-х годов, не позволила продолжить начатое ни на Южно-Уральской станции, ни на Белоярской атомной станции.

К 2003–2005 годам стало совершенно понятно, что дальнейшее затягивание сооружения БН-800, который был подготовлен научно-конструкторскими проектными организациями России, из-за отсутствия финансирования приведет к практической ликвидации школы натриевой технологии быстрых реакторов, поскольку проектные кадры постепенно стали исчезать. Поэтому научно-технической общественностью

были предприняты нетрадиционные действия, которые шли вразрез с официальной политикой Министерства атомной энергетики.

В то время сложилась очень благоприятная ситуация в комитете по энергетике, транспорту и связи Госдумы, который поддерживал развитие проекта. Были проведены три выездных заседания комитета, и в июле 2005 года в ходе специального совместного заседания трех ведущих научно-технических советов отрасли: НТС № 1 – атомные реакторы, НТС № 4 – топливные НТС, и НТС концерна «Росэнергоатом», было принято положительное решение о необходимости продолжения сооружения блока БН-800 на Белоярской атомной станции.

К тому времени появилась федеральная целевая программа по развитию атомно-энергетического комплекса (ФЦП РАЭПК), в которой был предусмотрен раздел о сооружении четвертого блока Белоярской атомной станции в уникальных условиях – полностью за счет бюджетного финансирования, в то время как все остальные блоки сооружались на паритетном финансировании: 50% предоставляла отрасль, 50% выделял федеральный бюджет.

Цели, поставленные перед БН-800, были таковы: демонстрация потенциала России в рамках реализации инновационных ядерных технологий, отработка уран-плутониевого топлива (БН-600 работал на урановом топливе, что несвойственно быстрой технологии, но это было правильно, поскольку осваивалась реакторная технология), получение экспортного образца и начало поставок реакторов КНР.

Основные технические особенности БН-800 по сравнению с БН-600 следующие. Это увеличение тепловой мощности реактора, а значит, технико-экономических характеристик (мощность БН-600 – 1470 МВт, БН-800 – 2100 МВт). В отличие от БН-600, где используются три турбины, впервые в практике реакторов на быстрых нейтронах используется моноблочная схема. Таким образом, за счет изменения параметров удалось увеличить номинальную мощность турбины от заявленных 800 МВт на клеммах электрогенераторов до 880 МВт. Еще одно отличие – переход от натриевого перегрева пара к паровому. При небольшой потере в КПД были существенно улучшены параметры и упрощена конструкция парогенератора «натрий – вода», что является очень важным моментом с точки зрения безопасности.

Отсутствие и некоторое отставание элементов топливного цикла от реакторных технологий применительно к БН-800 привело к тому, что физический запуск реактора будет произведен в конце 2013 года на нетрадиционной для быстрого реактора композиции топлива, но тем не менее с применением уже МОХ-топлива. То есть ТВС с оксидным топливом, типичным для большинства, будут составлять 76%, МОХ-топливо в таблеточных вариантах – более 10%, МОХ-топливо с виброуплотненным вариантом – порядка 14%. Предполагается довольно глубокое выгорание с использованием освоенных сталей. Если будет применена сталь определенного типа в холодном деформированном состоянии – дальнейшая разработка аустенитного класса стали, – то станет возможным достижение среднего выгорания порядка 12% т. а., что является весьма высоким результатом.

Сегодня главная задача для БН-800 – это достижение конкурентоспособности. Сравнение технико-экономических характеристик по отдельным натуральным величинам показало, что натриевая технология проигрывает традиционной водяной и обходится дороже. Таким образом, необходимо доказать, что потенциал улучшения быстрого реактора с натриевым теплоносителем с точки зрения технико-экономических характеристик существует.

В проекте реактора БН-1200, так же как и в проектах БН-600 и БН-800, используется интегральная компоновка, при которой активная зона и оборудование первого контура размещаются в корпусе реактора. Что касается теплоотводящих контуров, то это традиционная трехконтурная мольблочная схема с паровым промежуточным перегревом пара, в конструкции которой предусмотрены четыре

симметричные теплоотводящие петли. Поперечный разрез БН-1200 отличается от БН-800 и на техплане занимает меньшую площадь, чем БН-800, хотя мощность увеличена практически в полтора раза. Стоит остановиться на важном моменте: почему БН-1200, а не какие-то другие цифры?

В самом начале были рассмотрены четыре параметра: безопасность, объем НИОКР, технико-экономические и транспортно-технологические параметры, которые в основном и определяют характеристики реакторной технологии. Рассматривался диапазон мощностей от 900 МВт до 1800 МВт, и первым вариантом (на уровне технических предложений) был реактор БН-1800.

Главная цель увеличения мощности – сокращение, уменьшение удельных показателей, то есть металл на мегаватт тепловой электрической мощности как один из натуральных параметров. Оказалось, что с точки зрения двух первых параметров (безопасность и объем НИОКР) зависимость довольно слабая. Но если рассмотреть технико-экономические характеристики, то здесь уже есть существенная разница. Если принять стоимость оборудования в относительных единицах 900 МВт за 1,0, то 1200 МВт – это 0,85, а 1800 – это 0,7 – то есть мощность значительным образом влияет на экономические параметры энергоблока.

Транспортно-технологические проблемы также оказались не такими простыми, потому что переход на мощность в 1800 МВт предполагает изменение геометрических размеров, которые растут практически пропорционально мощности. Кроме того, возникает проблема, связанная с технологией изготовления элементов реактора – это уже переход на принципиально новое технологи-

ческое заводское оборудование, чего у нас не было, да и сейчас еще нет.

Помимо этого, возникают проблемы с транспортом. Переход от железнодорожного и водно-трейлерового транспорта на автомобильные грузоперевозки – серьезная проблема, поскольку российские дороги не учитывают возможность перемещения больших единичных объемов оборудования. В результате комплексного анализа и с учетом возможности использования электротехнического потенциала реактора ВВЭР-1200 (то есть стандартной электрической части) была выбрана мощность 1200 МВт, которая и разрабатывается в настоящее время.

При этом в проекте БН-1200 были применены новые элементы систем и оборудования, которые повышают конкурентоспособность, безопасность и надежность эксплуатации энергоблока.

#### **Безопасность:**

- устройство воздействия на реактивность пассивного типа, работающее на температурном принципе (ПАЗ-Т);
- система аварийного расхолаживания (САРХ), включающая автономный теплообменник «натрий – натрий» (АТО) и теплообменник «натрий – воздух». Система работает на пассивном принципе;
- радиоактивный первый натриевый контур, полностью интегрированный в баке реактора (течи практически исключены);
- второй (нерадиоактивный) натриевый контур, имеющий страховочные кожухи (уменьшение вероятности и размера течи натрия);
- герметичное надреакторное пространство для исключения или уменьшения интенсивности аварийных выбросов при тяжелых авариях;

- устройство удержания (фильтрация) радиоактивных выбросов, осуществляемых в систему спецвентиляции;
- существенное уменьшение зоны планирования защитных мероприятий в аварийных режимах (БН-600, БН-800 – 25 километров, БН-1200 – периметр АЭС).

Поскольку мы говорим о постоянном повышении безопасности любой реакторной технологии, в том числе и БН, сегодня уже используются элементы пассивного типа воздействия на реактивность, так называемые гидравлически пассивные органы защиты. В БН-1200 также применяются гидравлические стержни, то есть при исчезновении расхода в реактор падает специальный стержень, который заглушает реактор. Но поскольку температурный эффект является более универсальным, он отзывается не только на гидравлику, но и на различные параметры, например изменение нейтронно-физических показателей, то стержень, работающий на температурном принципе, более универсальный. Поэтому в БН-1200 для повышения безопасности будут использоваться не только гидравлические органы пассивного действия, но и пассивные органы, основанные на температурном принципе срабатывания.

Данная технология находится в разработке более десяти лет и, в принципе, на технике уже было испытано несколько способов срабатывания. Прежде всего принцип основан на известной точке кюри и эффекте памяти формы: термическое удлинение штанг при повышении температуры, а также с учетом плавких элементов – на этом принципе мы и останавливаемся сейчас для проекта БН-1200. Раньше мы полагали, что такое направление развития воздействия на реактивность на пассивном принци-

пе будет перспективным, и испытали в натриевых условиях на основании точки кюри само устройство срабатывания – время срабатывания до 60 секунд, не больше. Это еще достаточно много, и нужно уменьшать время, улучшать показатели.

Вторая, наиболее важная система защиты для любого типа реактора – система аварийного расхолаживания. Здесь впервые будет использоваться автономный режим, который никак не привязан к штатным теплоотводящим контурам. Имеется погруженный натрий-независимый теплообменник, соединенный с системой «натрий–воздух». Таким образом, организуется четыре независимые нитки, которые могут отводить остаточное тепловыделение в аварийной ситуации независимо от основных теплоотводящих путей. Система должна работать также на пассивном принципе. На сегодняшний день это важное нововведение в технологии натриевых реакторов.

Сейчас создается принципиально новое конструктивное решение для обеспечения большей безопасности – это размещение радиоактивного натриевого контура в баке реактора. То есть нет никаких внешних систем, которые характерны для БН-350, БН-600 и БН-800. Это, безусловно, очень трудное техническое решение, поскольку в этом случае в баке реактора располагаются все системы контроля за теплоносителем (нейтронно-физическим и химико-технологическим). Преимущество заключается в том, что практически исключены течи радиоактивного натрия, который обладает основным недостатком – химической активностью кислорода – воздуха – воды, а соответственно, минимизируется возможность горения натрия первого контура. Второй нерадиоактивный контур размещается в герметичных страховочных кожухах, кото-

рые уменьшают как вероятность, так и размер течи натрия.

Над реактором впервые оставляет довольно серьезное пространство объемом порядка 5 тыс. кубометров, которое существенно снижает вероятность значительных радиоактивных выбросов при тяжелых аварийных ситуациях. Для этой же цели разрабатываются специальные устройства удержания радиоактивных выбросов, которые будут улавливать основные радиоактивные аэрозоли и тем самым также уменьшать возможность распространения радиоактивных выбросов. Все это необходимо для соответствия новым требованиям безопасности и эвакуации окружающего населения при любой аварийной ситуации, которая может случиться на станции. Согласно этим требованиям, зона планирования защитных мероприятий в тяжелых аварийных ситуациях должна быть равной периметру атомной станции.

#### Активная зона:

- использование плотного (нитридного) топлива;
- пониженная энергонапряженность (с 6 Вт/см<sup>3</sup> до 2 Вт/см<sup>3</sup>), позволяющая осуществлять расхолаживание отработавших ТВС во внутриреакторном хранилище с последующим транспортом непосредственно в бассейн выдержки;
- увеличенный диаметр твэла и увеличение размера ТВС (значительное сокращение комплектующих изделий);
- существенное увеличение топливной кампании.

Несмотря на то что в техническом задании проекта не исключено использование традиционного смешанного оксидного топлива (МОХ-топлива), осуществляются попытки использования в активной зоне плотного нитридного топлива.

Активная зона имеет пониженную энергонапряженность, позволяющую осуществить расхолаживание отработанных ТВС во внутриреакторном хранилище с последующей транспортировкой непосредственно в бассейн выдержки. То есть барабан отработанных пакетов ликвидирован, и это имеет очень большие последствия с точки зрения улучшения технико-экономических параметров.

Увеличенный диаметр твэла и увеличение размера ТВС привели к сокращению количества комплектующих изделий, которые составляют большой процент стоимости загрузки топлива в активную зону. Поэтому переход на новые типоразмеры также способствует улучшению технико-экономических параметров.

Существенное увеличение кампании (практически в три раза по сравнению с БН-800) является следствием пониженного энергонапряжения в активной зоне.

**Парогенератор:**

- переход на крупномодельную конструкцию, позволяющую существенно сократить удельную материалоемкость (в четыре раза по сравнению с БН-600);
- использование новой схемы и алгоритма работы системы автоматической защиты парогенератора, позволяющей уменьшить повреждаемость конструкции парогенератора при течах воды в натрий;
- использование повышенного давления (170 атм) по сравнению с БН-600 и БН-800 (140 атм), позволяющее повысить КПД (нетто) паротурбинного цикла на 1,7% (абсолютных) по сравнению с БН-800.

БН-1200 предполагает использование крупномодульной конструкции парогенератора, позволяющей существенно сократить удельную мате-

Стали для активной зоны быстрых реакторов

Аустенитные стали		Ферритно-мартенситные стали	ДУО-стали
ЧС-68	ЭК-164	ЭК-181/ЧС-139	
80 → 95 <sub>СНА</sub>	80 → 110 <sub>СНА</sub>	110 → 180 <sub>СНА</sub>	160 → 200 <sub>СНА</sub>
Выгорание 11–13 %	Выгорание 11–15 %	Выгорание 15–20 %	Выгорание 18–23 %
БН-600 БН-800	БН-600 БН-800 БН-1200 (I этап)	БН-800 БН-1200 (II этап)	БН-1200 (III этап)

Характеристики активной зоны БН-1200

Характеристика	Нитридное топливо	МОХ-топливо
Число ТВС в активной зоне, шт.	432	432
Размер под ключ ТВС, мм	181	181
Диаметр твэла, мм	9,3	9,3
Высота активной зоны, мм	850	850
Загрузки по плутонию, т	7,8	7,3
Кампания ТВС основного топлива*, годы	4	4
Среднее выгорание*, МВт · сут. / кг	90	112
Коэффициент воспроизводства	до 1,35	до 1,2

\* Кампания ТВС и выгорание топлива соответствуют базовому проектному варианту при достижении максимальной повреждающей дозы ~ 140 сна с использованием новых конструкционных материалов оболочек твэлов. На начальном этапе эксплуатации головного энергоблока возможно меньшее выгорание топлива.

риалоемкость. В этом случае также используется новая схема и алгоритм системы автоматической защиты, поскольку здесь принципиальным становится вопрос о сохранении ремонтпригодности модуля в режиме аварийных течей, так как замена аварийных модулей не предполагается в связи с большими размерами, в отличие от предыдущих проектов.

Повысить коэффициент полезного действия паротурбинного цикла позволило увеличение давления со 140 до 170 атмосфер.

**Схемно-компоновочные решения:**

- новая транспортно-технологическая схема, позволяющая исклю-

чить бак выдержки отработавших ТВС, охлаждаемый натрием (практически второй реактор);

- использование сильфонов на втором натриевом контуре (сокращение длины трубопроводов в 2,8 раза по сравнению с БН-800);
- использование оптимизированных вспомогательных систем, в том числе и исключение некоторых из них, что привело к существенно сокращению арматуры (уменьшение на 900 единиц по сравнению с БН-800);
- переход на цилиндрическую форму здания главного корпуса, что существенно упростило решение задач по установлению защиты от внешних воздействий.



БН-800: погрузка 20-тонного ВТУК на платформу

К новым схемно-компоновочным решениям относится, во-первых, новая транспортно-технологическая схема, которая позволила исключить выдержки ОТВС. Что такое бак выдержки отработанных ТВС с натриевым охлаждением и что такое натриевое охлаждение? Это наличие практически второго реактора с натриевым охлаждением, который требует дублирования всех систем безопасности. Переход на новую схему существенным образом изменяет идеологию транспортно-технологической части реакторной установки.

Использование сильфонов на втором натриевом контуре практически сокращает длину трубопровода в 2,8 раза по сравнению с БН-800. Никогда еще на крупных трубопроводах

не использовали сильфоны для того, чтобы сократить объем трубопровода. Все вспомогательные системы, естественно, еще раз были пересмотрены, систематизированы и оптимизированы. Это привело к существенному уменьшению их количества, например, уменьшена на 900 единиц арматура по сравнению с БН-800. Арматура – это очень большая часть и дорогой компонент энергоблока, и сокращение ее количества, естественно, влияет на снижение стоимости проекта.

Также впервые мы пытаемся перейти на цилиндрическую форму здания, симметричную компоновку, которая упрощает решение задачи защиты от внешних воздействий в связи с удобной геометрией.

Улучшение конструкционных сталей активной зоны является одним из стратегически важных направлений

проекта, так как определяет глубину выгорания топлива. В соответствии с программой развития материалов и перехода от аустенитных сталей на ферритно-мартенситные, а потом на дисперсно-упрочненные предполагается, что для БН-1200 мы можем пройти три этапа освоения и использования в перспективе с существенным повышением выгорания от существующего, освоенного уровня до порядка 20 % т. а. Однако вопрос о выгорании является дискуссионным. Существует оптимальная величина, выше которой выгорание не требуется, поскольку начинаются процессы, которые могут только усложнить работу.

Разработан универсальный вариант БН-1200, при котором в конструкции активной зоны в зависимости от типа и размера твэла и самой ТВС можно использовать как нитридное топливо, так и МОХ-топливо, то есть универсальное. Это предусмотрено с учетом временного фактора освоения нитридного топлива, таким образом, БН-1200 может быть запущен изначально на более-менее освоенном МОХ-топливе с последующим переходом на нитридное.

Также нитридное топливо требует оптимизации в соответствии с техническим заданием проекта «Прорыв», который предполагает определенные требования к активной зоне, в том числе и по таким параметрам, как безопасность: минимальный запас реактивности на выгорание топлива – не больше 0,5 % Дк/к, минимальная величина пустотного эффекта – НПЭР – и эффект нераспространения – необходимо учитывать отсутствие бокового и торцевых воспроизводящих экранов. Это довольно сложная задача, тем не менее техническое решение на нитридном топливе уже существует и удовлетворяет новым требованиям.

Отдельной проблемой является парогенератор «натрий – вода». В 18 реализованных проектах установок с быстрыми натриевыми реакторами нет однотипной конструкции. И этот вопрос остается открытым до сих пор, хотя парогенератор является важнейшим элементом системы безопасности и существенно влияет на финансовую составляющую проекта.

Если посмотреть динамику идеологии проектирования парогенератора «натрий – вода», то она примерно такая: конечно, идеальной схемой является интегральная, то есть одномодульная конструкция, так, как это сделали французы на Superphenix. Единая конструкция, мощность в 750 МВт находится в одном модуле (3 метра в диаметре, 22 метра высотой). Для сравнения: у БН-600 – секционно-модульная схема. Если вспомнить БН-350, то в период создания установки опыт в этой области как таковой отсутствовал. Допустимый уровень течи определялся системой вывода, очистки от продуктов реакции. Эта идеология не подтвердилась в масштабе атомной станции – в принципе, с течами работать невозможно при любой начальной величине, поскольку малая течь всегда переходит в большую и требует остановки парогенератора либо отключения аварийного модуля.

Со временем был учтен фактор качества изготовления парогенератора. В итоге предыдущий опыт был учтен и проект парогенератора для БН-600 был принципиально переработан. Появилась так называемая секционно-модульная схема, которая позволила на ходу отключать аварийный модуль, и соответственно, на работу станции в целом это не влияет, так как аварийный парогенератор при отключенной секции продолжает работать в прежнем режиме. Однако эта схема очень дорогая.

Сравнительная характеристика техпараметров проектов БН

Параметры	БН-600	БН-800	БН-1200
Тепловая мощность реактора, МВт	1470	2100	2800
Электрическая мощность энергоблока, МВт	600	880	1220
Турбина, шт. x тип	3 x К-200-130	1 x К-800-130	1 x К-1200-130
Генератор, шт. x тип	3 x ТГВ-200М	1 x ТЗВ-800-2	1 x ТЗВ-1200-2
Число петель тепловода, шт	3	3	4
Параметры теплоносителя 1 контура, Твх./вых., °С	377/550	354/547	410/550
Параметры теплоносителя 2 контура, Твх./вых., °С	328/518	309/505	355/527
Параметры теплоносителя 3 контура, Твх./вых., °С	240/505	210/490	240/510
Давление пара на выходе и ПГ, МПа	13,7	13,7	17,0
Конструкция парогенератора	Секционно-модульная	Секционно-модульная	Корпусная
Тепловая схема промежуточного перегрева пара	Натриевая	Паровая	Паровая
Срок службы основного оборудования (незаменимого), лет	30	40	60
КПД АЭС (брутто), %	42,5	41,9	42,86
КПД АЭС (нетто), %	40,0	38,8	40,9
КИУМ, %	76	85	90
Удельная металлоемкость РУ, т/МВт (тепл.)	5,8	4,1	2,4
Удельная кубатура главного корпуса, м³/МВт	1150	750	560

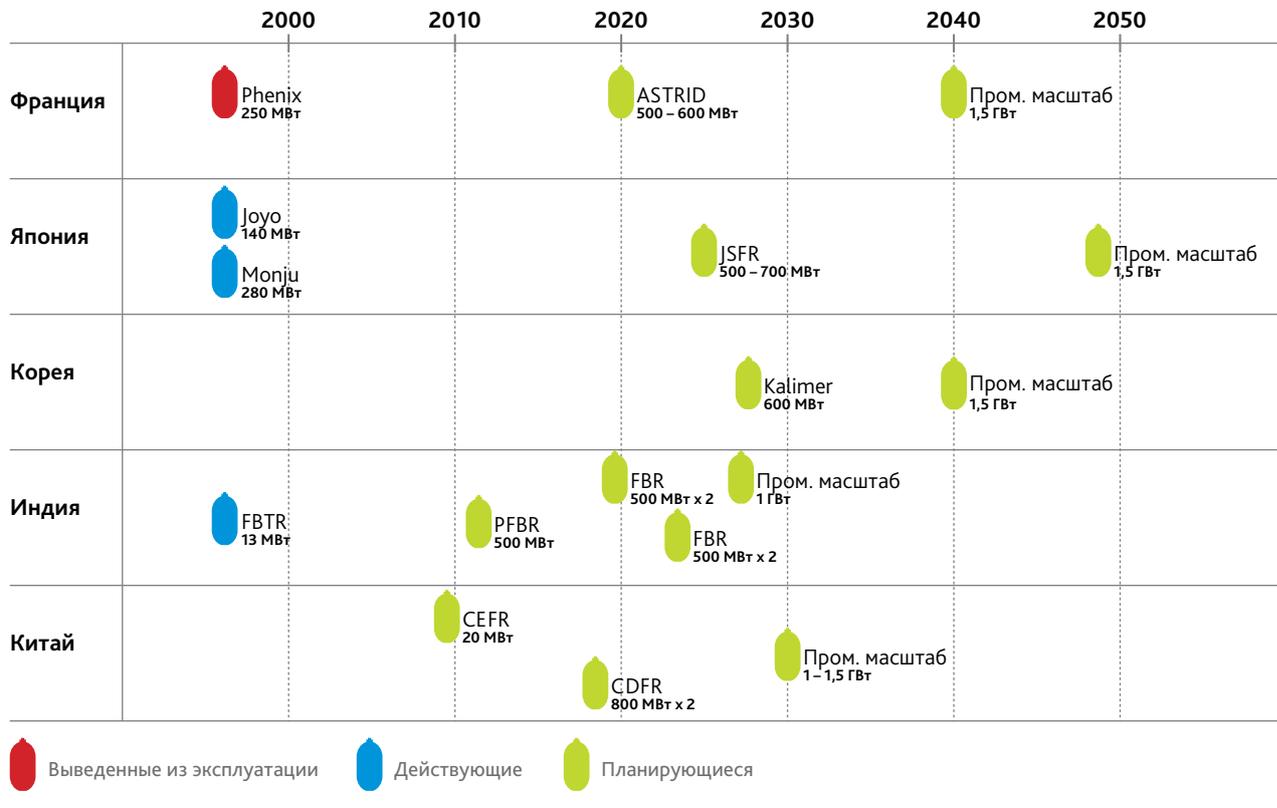
Когда была поставлена такая основная цель нового проекта БН-1200, как достижение технико-экономических параметров, безусловно, подобная схема уже не могла быть одобрена. Есть опасения, что мы и сейчас в этом плане проявляем определенный риск, тем не менее, если мы хотим получить конкурентоспособную конструкцию, необходимо поработать над новой идеологией парогенератора. На сегодняшний день БН-800 – практически старый проект, в котором повторяется идеология БН-600. В БН-1200 мы перешли на крупно-модульный парогенератор (700 МВт) с двумя модулями. Это существенным образом изменило удельные металлозатраты

на конструкцию и поставило задачи, связанные с улучшением системы защиты и с сохранением ремонтпригодности во всех возможных аварийных ситуациях.

Основные параметры БН-1200 – тепловая мощность 2800 МВт, моноблочная схема, максимальная температура на выходе из активной зоны – 550 °С, на входе – 410 °С, а также паровой перегрев, повышенное давление по сравнению с БН-800 и БН-600.

К тепловой мощности приведены цифры: удельная металлоемкость – 5,8 – БН-600, по реакторной установке –

## ЗАРУБЕЖНЫЕ ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ БЫСТРЫХ НАТРИЕВЫХ РЕАКТОРОВ



4,1 – это БН-800, и 2,4 – это БН-1200. А удельная кубатура: 1,150 тыс. кубометров на МВт – это 600, «шестисотник», 750 – это «восьмисотник», и 560 – БН-1200. Именно поэтому, когда мы совмещаем два плана атомных станций БН-800 и БН-1200 на одном фоне, то, естественно, проявляется тот самый эффект, при котором кубатура и площадь БН-1200 существенно меньше, чем у БН-800.

Почти каждое нововведение носит инновационный характер, и на фоне эволюции конструкции БН-1200, конечно, все параметры существенным образом не только улучшают конструкцию с точки зрения технико-экономических характеристик, но и ставят много новых проблем, которые необходимо обосновывать

и доказывать в процессе разработки проекта.

Россия участвует во всех основных проектах реактора на быстрых нейтронах, кроме газового. Если рассматривать быстрый натриевый реактор на международном уровне, то сейчас проводится широкий круг научно-исследовательских и конструкторских работ в сфере НИОКР, которые охватывают практически все значимые направления этой технологии: топливо, обращение с малыми актинидами, то есть фактически обращение с РАО, материалы, технологию натрия, новые проектно-конструкторские схемы и компоновочные решения. Причем диапазон электрической мощности, которая рассматривается в натриевой технологии в зарубеж-

ных странах, довольно высокий – от 30 до 2000 МВт.

Как выглядят компоновочные решения в рамках Generation IV. Преимущество имеет интегральная схема. БН-1200 в России и ASTRID во Франции – это интегральные схемы. Однако есть и другие компоновочные решения, например полупетлевая компоновка, которую используют японские коллеги. То есть вместо одного бака-реактора применяется несколько, и в случае разработки активной зоны в одном баке теплообменное и насосное оборудование располагается в других. Это, конечно, не чисто петлевая, а полупетлевая схема, но тем не менее она используется японскими специалистами по вполне понятным причинам – это сейсмика, то

есть безопасность. Они не рискуют все располагать в одном баке реактора. Но это и есть одно из направлений компоновочных решений с точки зрения перспективных быстрых реакторов на натриевом теплоносителе, уже в рамках международной постановки.

В Японии также разработан маленький реактор (10 МВт) – проект 4S, который они собираются построить на Аляске. Эта последняя разработка малого реактора также имеет натриевый теплоноситель. Быстрый реактор с большой кампанией, который позволяет реализовать долгоиграющую кампанию, порядка 30–40 лет, что очень важно для установок малой мощности.

Сегодня свою технологическую программу вслед за БН-600 мы связываем с БН-800 и БН-1200. Причем, если мы уже заканчиваем сооружение БН-800, то вопрос о строительстве БН-1200 еще окончательно не решен. Программа проекта разделена на три этапа освоения технологии замкнутого топливного цикла, где быстрые реакторы играют системообразующую роль. Согласно стратегическому плану, до 2020 года должен быть построен БН-800, свинцово-висмутовый реактор, опытный образец свинцового реактора, где можно будет создать демонстрационную инфраструктуру и на ее основе уже в 2020–2030-х годах, с одной стороны, получить опыт эксплуатации новых технологий быстрых реакторов (свинец и свинец-висмут) на тяжелом жидком металле, с другой стороны (если к тому моменту будет готов головной блок БН-1200), посмотреть, насколько планы и технологии соответствуют действительности в целом.

На самом деле такой блок по технико-экономическим параметрам может быть конкурентоспособным, но, безусловно, для того чтобы полностью



*Японский натриевый реактор-прототип Monju пока остается остановленным*

доказать данный эффект, необходимо иметь малую серию, то есть техническое обоснование той или иной реакторной технологии может быть принято в случае, если было проверено не менее пяти однотипных блоков.

В период до 2030 года планируется проработать альтернативную технологию и получить опыт сооружения натриевых реакторов, чтобы создать основу для экспериментально-промышленной инфраструктуры замкнутого топливного цикла, поскольку реакторы потребуют внедрения технологии топливного цикла и строительства специальных производственных мощностей. В таком случае после 2030 года можно было бы говорить о серьезном внедрении быстрой технологии в атомную энергетику с созданием уже реальной промышленной инфраструктуры замкнутого топливного цикла.

Страны с развитой атомной ядерной энергетикой – Франция, Япония,

Корея. Франция имеет достаточно большой опыт в данном направлении: Rapsodia, Phenix, Superphenix, сейчас ведется разработка ASTRID, осуществить запуск планируется к 2022 году, а полномасштабный коммерческий реактор – к 2040 году. То есть у них нет большой потребности форсировать внедрение быстрых реакторов в структуру своей атомной энергетики, и полномасштабные коммерческие проекты рассматриваются на уровне 2040-х годов.

Несколько слов о реализации совместного проекта по созданию российско-французского реактора. Личное мнение разработчиков, как вы понимаете, может не совпадать с мнением руководства, так как подобные мероприятия, как правило, в большей степени имеют политическую направленность. Безусловно, работа в этом направле-



*Станция Superphenix с натриевым реактором была закрыта в сентябре 1998 года из-за аварий*

нии будет продолжаться, но есть много вопросов, например, на какой основе это делать. У российского реактора БН-1200 и французского ASTRID совершенно разные целевые функции. И если мы обозначаем свою перспективу определенно, то французская сторона ее никак не обозначает.

По моему мнению, если мы хотим получить тот самый продукт, который имеет экспортный потенциал, – а в этом главная задача проекта – совместно внедрять проект в третьи страны, с учетом потенциала двух стран – России и Франции, не нужно делать гибрид из двух традиционных технологий – трехконтурной и многопетлевой, нужно начинать с чистого листа, то есть освоения на новой технологической платформе. Это должен быть реактор средней мощности с газотурбинным циклом, легкий,

дешевый, заводского изготовления, транспортабельный, который должен обладать принципиально другими характеристиками, то есть новый реактор, которого ни у кого нет. И далее нужно доказать, что именно такая технология – реактор средней мощности – имеет наибольшие перспективы на рынке. Кроме того, с французской стороны мы не совпадаем по ряду технологических аспектов.

Япония меняла политику и взгляды: в начале 2000 года они хотели построить свой коммерческий реактор, потом объявили гибкую политику, когда в зависимости от ситуации все меняется, она сохраняется и сегодня. Сейчас Япония эксплуатирует экспериментальный реактор Jojo, многострадальный Monju, который был запущен в 1994 году, однако работал с большими проблемами, а практически – не работает. В планах – запуск опытного реактора до 2030 года, а полномасштабного проекта – до 2050 года.

Южная Корея сейчас разрабатывает натриевый реактор Kalimer, а полномасштабный коммерческий реактор хотят пустить после 2040-х годов.

У стран, которые стремятся развивать энергетику, несколько другая позиция. Индия эксплуатирует опытный электрический (13 МВт) реактор FBTR, но уже четыре года откладывает пуск первого PFBR, «пятисотника», затем они планируют осуществить запуск четырех блоков по 500 МВт с тем, чтобы к 2030 году уже иметь полномасштабный коммерческий реактор мощностью порядка одного электрического гигаватта.

То же самое делает Китай: год назад они запустили экспериментальный реактор CEFR, планируют делать свой проект по коммерческому реактору мощностью от 600 до 1000 МВт, а полномасштабный «полуторатысячник» откладывают примерно к 2030 году.

Сооружение энергоблока с натриевым реактором БН-800 и разработка проекта головного энергоблока с БН-1200 могут стать значительным вкладом в реализацию новых инновационных реакторных технологий. На сегодняшний день мы можем говорить о том, что БН-технология, в принципе, уже готова к коммерциализации, поскольку по основным параметрам – безопасности и надежности, она в целом-то освоена. Безусловно, еще есть проблемы, которые связаны с внедрением инновационных элементов в конструкцию, но тем не менее существует четко определенное направление, по которому можно улучшать параметры реакторной технологии на натриевом теплоносителе, быстрой технологии, и которое позволит в ближайшей перспективе осуществить главное мероприятие – доказать, что технология обладает конкурентоспособными характеристиками.



## ГОНКА ЗА ТЕРМОЯДЕРНОЙ ЭНЕРГИЕЙ

Основные события прошлого года в сфере термоядерного синтеза происходили в стороне от международного проекта ИТЭР. Крупнейшие лаборатории мира, обладающие мощными лазерными установками и немалыми финансовыми ресурсами, работают над проектами, связанными с инерциальным синтезом. Но немало интересного происходит и на обочинах научных магистралей.

В гонке за термоядерной энергией – этим философским камнем современного мира технологий – лидеры получают преимущества в виде дополнительного финансирования научных проектов и даже серьезных инвестиций, а проигравшие программы исследований закрывают. Поэтому в растущем потоке публикаций нелегко отделить по-настоящему прорывной проект от сообщений с привкусом рекламы.

Мы решили посмотреть, что происходит в стороне от мощного международного проекта ИТЭР, который заработает не ранее 2027 года, то есть на 11 лет позднее изначально спланированного срока, и стоимость которого выросла с первоначальных 5 млрд евро до 15 млрд евро. Как оказалось, основные события прошлого года имели место в сфере инерциального термоядерного синтеза.

Реализуемость принципа инерциального удержания плазмы была доказана еще при создании в 1951–1953 годах термоядерного оружия, а появление лазеров с большой мощностью и острой фокусировкой излучения открыло путь к нагреву термоядерной мишени. О получении нейтронов в лазерной плазме с наносекундной длительностью импульса сообщалось еще в 1970-х годах. Но качественно новое положение сложилось с развитием технологии получения ультракоротких лазерных импульсов. Сегодня лазер – неоспоримый лидер в работах по инерциальному удержанию.

Гонка за термоядерной энергией отражается в росте числа мощнейших лазерных установок. Скоро их список пополнит французский Laser Megajoule, строящийся близ Бордо (1,8 МДж, 240 лазерных пучков, объединенных в 30 групп), европей-



*Слева: французская установка Laser Mégajoule, строительство которой предполагается завершить в 2014 году*

*Справа: установка Laser Bay 2 американской лаборатории NIF была введена в эксплуатацию в июле 2007 года*

ский проект High Power Laser Energy Research Facility (HiPER), а также строящаяся в Дивееве мощнейшая в мире установка двойного назначения УФЛ-2М мощностью 2,8 МДж.

Но рассказ о лидерах и аутсайдерах термоядерной гонки мы начнем не с импульсного синтеза, а со старой доброй газодинамической ловушки.

#### **ПРОБКЕТРОН БУДКЕРА**

Открытые ловушки отличаются от тороидальных замкнутых (токамаков). Они напоминают открытую с торцов

трубу. Такая конструкция позволяет использовать магнитные поля, которые слабее, чем в токамаках, и отказаться от дорогих сверхпроводящих соленоидов. Заряженные частицы в открытых ловушках удерживаются с помощью так называемых магнитных зеркал, или магнитных пробок, – магнитного поля особой конфигурации, напряженность которого на торцах выше, чем в центре. Пробкотрон прост по конструкции (особенно в осесимметричном варианте), допускает получение высоких, порядка единицы, значений, работает в стационарном режиме, имеет естественный канал удаления примесей и продуктов термоядерной реакции. Интенсивные работы над пробкотронами велись до 1970-х годов, но постепенно сошли на нет.

Главный недостаток открытой ловушки состоял в том, что плазма

#### **СПРАВКА**



Дивеевская лазерная установка будет располагаться рядом с технопарком «Саров» в Дивеевском районе Нижегородской области. Запуск ее первой очереди запланирован на 2017 год, а полный ввод в эксплуатацию произойдет в 2020 году. Установка аналогична установкам NIF (США) и Laser Mégajoule (Франция) и представляет собой 192-канальный твердотельный лазер на неодимовом стекле. Основным отличием от зарубежных аналогов является то, что облучение термоядерных мишеней на УФЛ-2М будет происходить на второй гармонике (длина волны лазерного излучения – 0,527 мкм) – это позволит иметь энергию лазерного импульса в камере взаимодействия 2,8 МДж. Стоимость строительства, по предварительным данным, составит 45 млрд рублей (1,16 млрд евро).

**СПРАВКА**

NIF – основное научное учреждение США, нацеленное на разработку средств инерциального термоядерного синтеза. Но его исследовательский бюджет на 2014 год был сокращен на 14 % относительно нынешнего с одновременным увеличением финансирования оружейных программ. Под вопросом будущее и описанного выше проекта, и некоторых других.

К слову сказать, проект NIF с самого начала сопровождаются неудачи. Иногда происходят и во все странности: например, в 1999 году заместитель руководителя NIF Майкл Кэмпбелл вынужден был уйти в отставку, поскольку приписал себе степень доктора философии в Принстонском университете, которой в действительности не имел. Срок завершения строительства, первоначально назначенный на 2003 год, несколько раз переносили, и объект сдали лишь в марте 2009 года. При этом стоимость проекта подскочила с \$1 млрд до \$4 млрд.

в ней «упиралась» прямо в стенки. А таких высоких температур не выдержит никакой материал. В токамаке плазма удерживается магнитными полями в торе и не касается стенок, отчего предпочтение и отдали этой конструкции.

Исследования, несомненно, оживятся теперь, когда в декабре 2013 года из Института ядерной физики имени Г. Будкера пришло сообщение о том, что ученые смогли удержать в ловушке открытого типа плазму с температурой более 4,5 млн °С в течение нескольких десятков миллисекунд. При этом контакт плазмы со стенками был сведен к минимуму. Кроме того, к ловушке добавили гиротрон – мощный источник микроволнового СВЧ-излучения, разработанный в Институте прикладной физики РАН (Нижний Новгород). Гиротрон создаст микроволновое излучение, которое с помощью специальной системы волноводов и зеркал доставляется в плазму и, взаимодействуя с ней, нагревает электроны до рекордно высоких температур. С его помощью удалось резко повысить температуру плазмы, доведя ее до необходимых для получения термоядерной реакции параметров. В ближайшее время к установке добавят второй гиротрон, который увеличит температуру плазмы еще в 1,5 раза, чем будут превышены энергетические показатели токамака ИТЭР.

Пробкотрон Будкера конструктивно проще, чем строящийся во Франции токамак, и, похоже, обойдется дешевле. Но если достижение ИЯФ и не пригодится при создании термоядерного реактора, оно позволяет создать мощный источник нейтронов, необходимый для исследований, скажем, в материаловедении. Кроме того, открытую ловушку можно использовать в качестве драйвера для работы термоядерно-атомного реактора. Та-

кая система может помимо выработки энергии дожигать трансураниевые элементы (плутоний и младшие актиниды) до короткоживущих изотопов, то есть технология в известной мере приближается к вождленному замкнутому циклу. По расчетам ученых, система с двумя подкритическими реакторами с ядерной мощностью свыше 500 МВт каждый обеспечит годовую потребность по утилизации отходов от пяти стандартных энергоблоков АЭС.

Не стоит забывать: можно рассуждать о теоретических перспективах использования газодинамической ловушки в качестве термоядерного реактора, но на практике придется подождать прорывных технологий создания сверхсильных магнитных полей (к примеру, достижения мегагауссных напряженностей с использованием теплых сверхпроводников).

**ЧТО СЛУЧИЛОСЬ В NIF**

Импульсное зажигание управляемой термоядерной реакции пытаются осуществить в Национальной лаборатории по активации управляемого термоядерного синтеза США (National Ignition Facility, NIF). В NIF установлены 192 лазера, способные выделить энергию в 1,8 МДж. На это сооружение было затрачено 12 лет и \$4 млрд.

Лазеры формируют так называемую «рентгеновскую печь» – кратковременный сверхмощный нагрев вещества лазерными лучами или пучками частиц высоких энергий, приводящий к последовательным термоядерным микровзрывам.

Официальная презентация проекта зажигания плазмы была выдержана в осторожных выражениях и гласила: «В настоящее время рано оценивать, можем мы или нет заставить лазерный термоядерный синтез работать здесь, в NIF. Однако основная

**ОПЫТ РОССИИ**

Советская Z-машина – экспериментальный комплекс «Ангара-5-1» – была создана в ОФТП ГНЦ РФ «ТРИНИТИ» в 1984 году. И тогда, и ныне «Ангара-5-1» – крупнейшая на континенте установка для исследований по физике быстрых самосжатых разрядов сверхтераваттной мощности, динамике излучающей плазмы

многозарядных ионов, проблеме инерциального управляемого синтеза.

В 2000 году на комплексе впервые предложена и исследована двойная лайнерная схема, которая под названием «динамический хольраум» получила мировое признание как драйвер для иницирования термоядерного ми-

кровзрыва импульсом мягкого рентгеновского излучения. В опытах с дейтериевым Z-пинчем на установке получен мировой рекорд нейтронного выхода для пинчей. Параметры генератора установки «Ангара-5-1» таковы: максимальное напряжение на согласованной нагрузке может достигать 1,5 МВ; форма импульса напряжения

представляет полусинусоиду с полупериодом ~150 нс; волновое сопротивление генератора составляет 0,25 Ом; максимальный ток в согласованной нагрузке – до 6 МА; мощность, диссипируемая в физической нагрузке – до 5 ТВт; среднеквадратичный разброс времени срабатывания модулей оценивается в ~10 нс.

цель лаборатории – исследовать расхождение между теорией и практикой, кодом и экспериментами – продемонстрирована ясно. Разногласия между экспериментальными данными и моделями отражают недостаточное понимание ключевых вопросов физики, которые нужно разрешить. Основное внимание в будущем будет уделено именно этому аспекту, усовершенствованию теоретической модели, которая пока не слишком хорошо стыкуется с экспериментальными показателями. После того как коды и модели будут улучшены, Национальная администрация по ядерной безопасности сможет определить, какой уровень развития лазерного термоядерного синтеза может быть достигнут в NIF».

Опишем эксперимент. В огромном ангаре установили цилиндрическую камеру-хольраум, изготовленную из урана и покрытую слоем золота. В центр хольраума поместили мишень – шарик диаметром 2 миллиметра. В нем содержалось 150 микрограммов смеси дейтерия и трития, охлажденной до состояния льда. В теории под воздействием лазерного импульса 192 лазеров, сжирающих чудовищную энергию в 5 тыс. ТВт мощности, хольраум испаряется, направляя на мишень мощное рентгеновское излучение. Мишень сжимается под воздействием излучения

и давления до высочайших значений плотности и разогревается до температуры около 10 млн градусов Кельвина при давлении в 100 млрд атмосфер. Начинается реакция термоядерного синтеза: дейтерий с тритием при давлении-температуре обращаются в четыре ядра гелия с выделением нейтрона ( $D + T \rightarrow 4He + n$ ). С вылетающими свободными нейтронами выделяется энергия.

Этого достижения ожидали от NIF еще в 2012 году, но тогда добиться зажигания не удалось. Анализ, направленный в декабре 2012 года в Национальную администрацию по ядерной безопасности (NNSA), назвал несколько причин неудачи. Это в первую очередь несовершенство компьютерных моделей, использованных в проектировании установки и планировании экспериментов. В частности, оказалось недооцененным рассеяние света на той стадии процесса, когда капсула с топливом уже превратилась в плазму, но эта плазма еще не достигла критической плотности и температуры. Реакция правительства США была ожидаемой: финансирование проекта сократили – пока что на символические \$ 60 млн.

Вторая причина состоит в том, что сжатие дейтерий-тритиевой плазмы из испарившейся капсулы происходило с нарушением сферической

симметрии. Проще говоря, вместо плазменного шара получался эллипсоид или блин, а то и вовсе облако неправильной формы, которое в принципе не поддается сжатию лазерами. А несимметричность сжатия плазмы повлияла, в свою очередь, на другие расчеты. Например, утверждалось, что на разогрев плазмы уйдет 3–4 кДж энергии, переданной лазерными лучами, а в реальности показатель оказался всего около 1 кДж.

Эксперименты продолжились. Ученые повысили точность моделирования и выявили причины асимметрии. Для этого подорвали несколько несимметричных капсул. И 28 сентября 2013 года пресс-релиз NIF сообщил, что в 5:51 реакция термоядерного синтеза ядер гелия действительно началась. А 7 октября термоядерная мишень была сжата лазерным импульсом с энергией 1,8 МДж, и при этом выделенная энергия превысила ту, что была поглощена мишенью. (Предыдущие рекордсмены – советская 12-канальная установка «Искра-5» и американская NOVA – генерировали соответственно 30 кДж и 40 кДж в импульсе.)

В эксперименте 28 сентября затраты составили 1,8 МДж, а выделилось всего 14 кДж энергии. Соотношение потраченного и полученного – 0,0077, а нам для создания термоядерной

энергетики нужно больше единицы. А в середине февраля 2014 года ученые заявили, что смогли добиться «топливного прироста» (fuel gain) – состояния системы, при котором топливо выделяет больше энергии, чем было им поглощено для запуска реакции. Достигнут положительный выход энергии на уровне 1,2–1,9 от затраченной, причем большая часть произведенной энергии была получена в ходе самонагрева топлива излучением. Это важное условие поддержания стабильной управляемой реакции синтеза. Ранее нигде не удавалось достичь подобного результата.

Можно предположить, что вскоре удастся увеличить количество выделяемой энергии. Можно предположить, что успех будет достигнут усилением мощности лазеров. Можно предположить, что проектируемая в Сарове установка с выделяемой энергией лазеров до 2,8 МДж разовьет этот успех. Но не стоит забывать, что на токамаках аналогичные результаты были достигнуты еще в 1990-е годы. Поэтому и сегодня их признают самыми перспективными.

### В SANDIA ВЫРВАЛИСЬ ВПЕРЕД

Еще над одним проектом инерциального управляемого термоядерного синтеза с использованием импульсного принципа работают в национальной лаборатории Sandia (штат Нью-Мексико, США). Этот гибридный подход объединяет магнитное воздействие на цилиндрическую мишень с дейтерием и тритием с воздействием на него же сжатием при помощи лазерных импульсов.

Разрабатываемая в Sandia концепция называется MagLIF (Magnetized Liner Inertial Fusion, инерциальный синтез в намагниченных цилиндрах-лайнерах). Заметим, что MagLIF имеет относительно небольшой годовой бюджет в \$5 млн (на Z-машину, о которой



*Заведующий научно-исследовательской лабораторией ИЯФ СО РАН Петр Багрянский рассказывает об устройстве газодинамической ловушки*

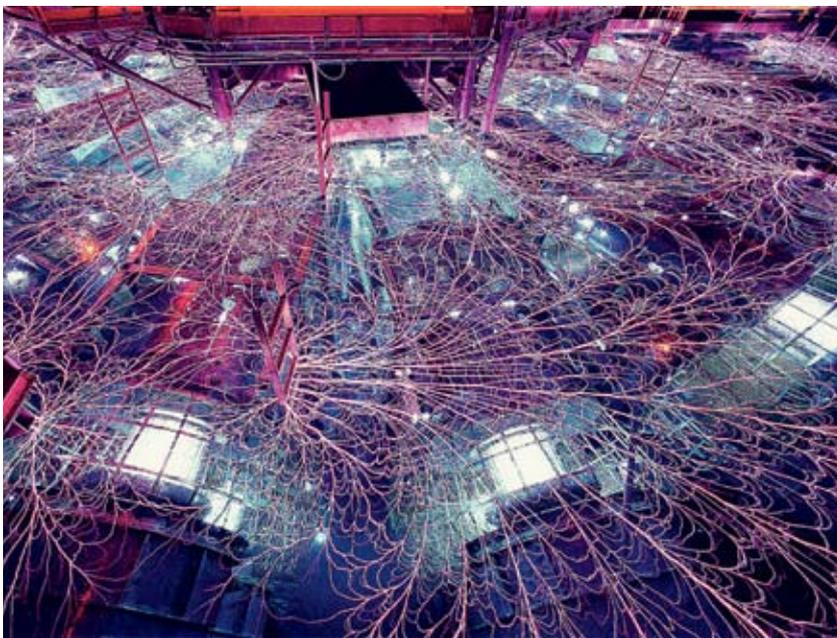
будет рассказано ниже, Sandia тратит около \$80 млн в год, но на ней идут помимо MagLIF и другие эксперименты). Для сравнения – бюджеты других проектов управляемого термоядерного синтеза: NIF – \$3,5 млрд, проект ИТЭР – как минимум 15 млрд евро.

Впервые концепция MagLIF была предложена в 2009 году. Ее авторы, Стивен Слатц и Роджер Уэсси, предложили поместить водородное топливо в так называемые лайнеры – цилиндры из нитей бериллия величиной с карандашный ластик, и быстро сжать его при помощи магнитных полей. Лайнеры подключаются к лабораторному электрогенератору – так называемой Z-машине, – который выдает импульс в 26 млн ампер, длящийся всего несколько миллисекунд и меньше. Надо сказать, что имеющаяся в Sandia Z-машина генерирует мощнейшие на планете наносекундные импульсы тока.

О том, что процесс работает, было известно и ранее, но до сих пор не удавалось разогреть плазму до необхо-

димых температур. Чтобы добиться положительного энергетического баланса, нужно было доработать систему. К тому же оставалась проблема нестабильности стенок лайнера – гигантский ток либо сжигал их прежде, чем они начинали схлопываться, либо они были такими толстыми, что не могли сжимать газ до нужного давления.

В 2012 году в эксперименте произошел прорыв: исследователи нашли соотношение параметров лайнера, при которых газ в лайнере сжимается до расчетного давления без схлопывания лайнера. По существу, это было экспериментальное подтверждение правильности теоретических расчетов толщины бериллиевых нитей, при которой «цилиндр» в ходе колоссального сжатия сохраняет нужную форму. Плюс огромной важности



Z-машина лаборатории Sandia

вывод: концепция намагниченного инерциального синтеза реализуема на практике.

В статье, опубликованной в конце 2013 года, физики MagLIF представили доказательства того, что применение вторичного магнитного поля и изоляция топлива может побочно оказывать положительное воздействие на стабилизацию цилиндра в момент взрыва (Awe, T. J. et al. Observations of Modified Three-Dimensional Instability Structure for Imploding z-Pinch Liners that are Premagnetized with an Axial Field // Physical Review Letters. Vol. 111. P. 235003. 2013). А это, в свою очередь, сокращает гидродинамические неустойчивости, которые могут расплыть энергию еще до начала реакции синтеза, отметил руководитель и идеолог проекта MagLIF Стивен Слатц.

В этой же статье ученые показали, что при силе тока в 60 млн ампер выход энергии может в 1 тыс. раз превышать

ту, что была затрачена изначально. Как следствие, будет достигнут положительный энергетический баланс, у технологии появится коммерческая перспектива.

Практические же усовершенствования состояли в следующем: 1) предварительный подогрев изотопного топлива зеленым лазером; 2) увеличение «скорости» направляемого внутрь лайнера взрыва, для чего импульс воздействия Z-машины был укорочен до 100 наносекунд; 3) термическая изоляция топлива, для чего лайнеры решено модифицировать, расположив на их концах электрические обмотки, которые будут создавать магнитное поле, удерживающее заряженные частицы (электроны и ядра гелия) – те не будут покидать ловушку, а значит, не будут охлаждать плазму.

В конце ноября 2013 года систему протестировали. При этом применили ток в 16 млн ампер, магнитное поле напряженностью в 10 тесла и 2 кДж энергии зеленого лазера.

Прорыв, совершенный в лаборатории Sandia, заключается в том, что ее исследователи нашли нужное соотношение параметров, при которых трубка не разрушается, а сжимает газ до нужных параметров. В результате эксперимента выделилось 1,01 тыс. высокоэнергетических нейтронов, указывающих на число произошедших реакций синтеза. Для MagLIF это рекорд, хотя до воспламенения все еще недостаточно. Тем не менее тест демонстрирует привлекательность импульсно-энергетических систем управляемого термоядерного синтеза.

«С импульсной энергией мы с большей вероятностью достигнем значительных успехов», – считает физик-ядерщик Дэвид Хаммер из Корнеллского университета (Итака, штат Нью-Йорк), который в 2013 году участвовал в составлении экспертной оценки подходов к управляемому термоядерному синтезу для Национального совета по науке США.

В ближайшие несколько лет ученые MagLIF планируют двинуться вперед по всем трем направлениям. Они могут усилить ток Z-машины до 27 млн ампер, могут нарастить магнитное поле до 30 тесла, и они планируют модернизировать лазер до мощности 8 кДж. А еще они хотят с дейтериевого топлива перейти на топливо из дейтерия и трития, что тоже должно поднять число реакций синтеза. К 2015 году в лаборатории надеются получить на выходе 1,016 тыс. нейтронов с энергией около 1 тыс. кДж, чего достаточно, чтобы показать, что до воспламенения рукой подать.

Для быстрого достижения прогресса это может стать критически важным. Национальная администрация ядерной безопасности США (подразделение Министерства энергетики, которое финансирует NIF, Z-машину

и другие программы управляемого термоядерного синтеза) планирует представить Конгрессу экспертную оценку будущего этих технологий. Если MagLIF достигнет своей цели в 100 кДж, укрепятся доводы в пользу апгрейда Z-машины до 60 млн ампер или более. А этого, как показывают модели, хватит для достижения зажигания.

Концепция с лайнером, разумеется, может оказаться той темной лошадкой, которая обгонит всех соперников, но с экономической и психологической точки зрения вряд ли можно ожидать, что мир, вбухавший в токамаки столько средств, вдруг переключится на лайнеры.

#### БЕЗНЕЙТРОННЫЙ СИНТЕЗ В LULI

Схема термоядерной реакции на боре интересна тем, что разогнанные лазерами протоны, бьющие в борную мишень, порождают ядра гелия без нейтронов. Следовательно, гипотетический термоядерный реактор на боре не потребует мощного экранирования. К тому же бор несравнимо дешевле трития-дейтерия.

В 2005 году группа российских ученых попробовала обстреливать мишень из бора лазерами. Так были зарегистрированы тысячи ядер гелия, но их количество было недостаточным, чтобы говорить о перспективах самоподдерживающейся реакции. Поэтому сообщения о зажигании безнейтронной термоядерной реакции во французской Лаборатории практических исследований лазеров высокой интенсивности LULI (Laboratoire pour l'Utilisation des Lasers Intenses) вызвали пристальный интерес, хотя авторы эксперимента отрицали его прикладное значение и говорили о том, что занимались исключительно моделированием процессов внутри звезд. Тем не менее результат эксперимента ясен: в LULI смогли зажечь



*Монтаж высокоэнергетического лазера LULI2000 в гражданском исследовательском центре LULI*

предсказанную теорией термоядерную реакцию без появления нейтронного излучения.

Для этого группа ученых под руководством Кристин Лабон использовала два мощных, точно синхронизированных лазера с разной длительностью импульса и мишень из бора с естественным соотношением изотопов (бор-10 – 20%, бор-11 – 80%). LULI – гражданский исследовательский центр знаменитой Ecole Polytechnique. Здесь французские и иностранные исследователи физики плазмы работают с высокоэнергетическими лазерами: 100TW, LULI2000 и его наносекундной версией Nano2000, а также PICO2000.

В эксперименте использовались два лазера. На мишень под углом 45 градусов направляли импульс красного лазера, сфокусированный до 1/10 мм. Продолжительность импульса составляла около полутора наносекунд. Импульс превращал ми-

шень в плазму, состоящую из ионов бора. Спустя наносекунду в сторону мишени выстреливали импульсом второго лазера красного цвета, установленного с другой стороны. Импульс продолжительностью в одну пикосекунду ( $10^{-12}$  секунды) попадал в установленную перед мишенью полосу алюминиевой фольги и выбивал из нее пучок протонов, которые врывались в облако борной плазмы и вступали в термоядерную реакцию:  $11\text{B} + p > 8\text{Be}^* + 4\text{He}$ . Возбужденный атом бериллия затем распадался на возбужденные ядра бериллия-8 и одну альфа-частицу (ядро атома гелия):  $8\text{Be} > 4\text{He} + 4\text{He}$ . При этом суммарная энергия трех получающихся ядер гелия была больше суммарной энергии исходного протона и ядра атома бора. Альфа-частицы такой энергии поглотились алюминиевой фольгой.



Прототип реактора А. Росси –  
установка тепловой мощностью  
10 кВт

Успех эксперимента состоит в том, что ученым удалось на несколько порядков повысить интенсивность реакций по сравнению с предыдущими опытами других групп. Всего в одной реакции образовалось 8 млн ядер гелия – а не тысячи, как в опытах 2005 года. Но говорить о бор-протонной термоядерной энергетике рано – по крайней мере сейчас, пока не появились более компактные и эффективные лазеры.

Заметим, что описанный метод не требует мощнейших установок из пары сотен лазеров вроде той, которая была построена в NIF. Если успех установки LULI удастся масштабировать, это будет настоящим прорывом: ведь речь идет о потенциальном удешевлении топлива и радикально упрощившейся конструкции будущего реактора.

#### ТАИНСТВЕННАЯ TRI ALPHA ENERGY

Самый крупный в мире частный проект термоядерного синтеза – калифорнийская компания Tri Alpha Energy – после публикации в 2012 году отчета на 78 страницах весь год не подавала о себе вестей. Это очень закрытая компания: у нее нет ни сайта, ни пресс-службы, а разработки хранятся в строжайшем секрете.

Впрочем, известно, что в новосибирском Институте ядерной физики имени Будкера занимаются моделью системы нагрева плазмы для будущего реактора Tri Alpha. Это испытательный стенд мощностью до 5 МВт, который позволит создать серийные образцы атомарных инжекторов. Кроме того, сотрудники института начали собирать инжектор мощностью 10 МВт с энергией пучка 1 МВ. Через несколько лет ученые планируют создать работающий прототип инжектора с мощностью 30–50 МВт. Серийное производство инжекторов начнется примерно через 10 лет.

Технология, разработкой которой занимаются в Tri Alpha Energy, основана на реакции ядер водорода и бора-11. Она приводит к появлению ядра углерода-12, а затем к рождению трех ядер гелия-4 и почти не дает нейтронов. Эта технология считается перспективной для энергетики, так как уровень радиоактивности, связанной с сопутствующими и вторичными реакциями, пренебрежимо мал. ИЯФ имени Будкера стал, кроме того, одним из соинвесторов проекта.

#### СТАРТАПЫ И ИДЕИ ФОРУМА CLEANTECH OPEN

В ноябре 2013 года в калифорнийском городе Сан-Хосе прошел форум Cleantech Open, на котором международное экспертное сообщество каждый год выбирает самые инновационные, а зачастую и самые безумные стартапы. Сенсацией этого года стал американский стартап Helion Energy, цель которого в том, чтобы к 2019 году сделать технологию управляемого термоядерного синтеза доступной для коммерческого использования. В Helion Energy работают над созданием прототипа термоядерного реактора. Его принцип заключается в следующем: в центральной камере реактора сталкиваются два пучка плазмы. Электромагнитное поле, созданное обмотками вокруг камеры, сжимает плазменное облако, повышая при этом температуру и давление до тех пор, пока не начнется реакция ядерного синтеза. Далее, как и в случае классического атомного реактора, полученная тепловая энергия приводит в действие турбину, которая вырабатывает электроэнергию.

У частной канадской компании General Fusion всего \$30 млн венчурного капитала, но была бы идея, а инвесторы найдутся. Идея у General Fusion имеется: здесь работают над механическим способом запуска реакции и считают, что к 2020 году смогут

**СПРАВКА**

Частная инвестиционная компания Cherokee Investment Partners зарегистрирована в Рэли, штат Северная Каролина, и управляет активами на сумму примерно \$2 млрд. Деятельность компании в основном сфокусирована на инвестициях в очистку земель, загрязненных старыми производствами – металлургическими, химическими или машиностроительными, – и последующей застрой-

ке. Cherokee Investment – единственный в мире частный инвестиционный фонд, сертифицированный на ISO 14001 (управление системами окружающей среды). Всего в портфеле фирмы 540 участков по всему миру, которые расположены столь удачно, что после восстановления принесут инвестору немалую прибыль. По слухам, стабильный успех компании в том числе обусловлен хорошими и давними связями с правительствами шта-

тов и регулирующими органами. Для извлечения прибыли из земель, очистка которых невозможна или нерентабельна, фонд создал дочернюю компанию Cherokee Renewables. Компания предоставляет капитал для строительства солнечных (фотовольтаических) электростанций мощностью 2–20 МВт под ключ. Средства Cherokee идут на покупку земли, установку солнечных батарей, запуск генерации с последующей продажей гото-

вого объекта. Также Cherokee Investment занимается венчурной деятельностью через свою дочернюю Cherokee-McDonough Challenge, которая представляет собой «ферму будущего»: здесь находят, финансируют и развивают высокоэффективные бизнес-инициативы, связанные с окружающей средой. Перспективным бизнесам Cherokee в обмен на долю в будущем предприятии выделяет небольшой начальный капитал и бесплатный офис.

представить коммерчески рентабельный реактор. Сейчас идет строительство прототипа. Принцип работы реактора состоит в последовательности циклов: создание плазмы из дейтерия и трития – ее захват – сжатие. Реактор сферической формы, наполненный жидким сплавом лития и свинца, приводится во вращение. При этом образуется вихрь с вертикальной полостью в середине. В эту полость впрыскивается смесь дейтерия и трития, разогретая электрическими разрядами до 1 млн градусов Кельвина. Снаружи реактора расположены 220 пневматических поршней, запрограммированных на одно-временный удар по его поверхности. Идея состоит в том, что механическое воздействие поршней создает в смеси лития и свинца ударную сферическую акустическую волну, которая достигает плазмы. Ударная волна сжимает плазму, и начинается термоядерная реакция. Выделяющееся при этом тепло утилизируется традиционно, путем превращения в пар, а затем цикл повторяется.

**ЧИТАТЕЛЬ ЖДЕТ****УЖ РИФМЫ «РОЗЫ»?..**

Какой же обзор новейших термоядерных достижений обойдется без упоминания холодного синтеза (LENR,

low-energy nuclear reactions)? Неоспоримый лидер этого направления – американский изобретатель Андреа Росси, который еще в 2009 году подал заявку на патентование устройства E-Cat (energy catalyzer), работающего на принципах холодного синтеза. В основе E-Cat экзотермическая реакция между никелем и водородом. А. Росси заявляет, что E-Cat – фактически термоядерный реактор, работающий на основе низкоэнергетической термоядерной реакции, и в ходе трансмутации металлов выделяет много тепла.

В 2013 году реактор А. Росси протестировали ученые Джузеппе Леви и Эвелин Фосчи (Университет Болоньи), а также Торбьерн Хартман с коллегами из Уппсальского университета. Они провели два эксперимента с двумя различными генераторами. На одном генераторе удалось получить на выходе 62 кВт·ч при потреблении 33 кВт·ч. При этом плотность тепловой энергии составила  $6 \cdot 10^7$  Вт/кг. На втором генераторе выход энергии составил 160 кВт·ч, а ее плотность –  $6,8 \cdot 10^5$  Вт/кг. Для реакции описанного вида это аномально высокие количества энергии. Экспериментаторы не теоретизировали о природе реакции в установке американского изо-

бретателя, а лишь подтвердили, что установка действительно работает и вырабатывает энергию, причем много энергии.

В настоящее время А. Росси и его американский партнер – загадочный крупный хедж-фонд Cherokee Investment Partners – основали корпорацию Industrial Heat, LLC, которая будет заниматься разработкой E-Cat. По состоянию на осень 2013 года сумма вложений инвесторов в предприятие составляла \$11,6 млн. А в январе 2014 года Industrial Heat приобрела патент на E-Cat, а также право лицензирования устройства. Сумма сделки не раскрывается, зато известно, что глава Cherokee Томас Дарден только что посетил Китай по делам Industrial Heat, LLC, и подписал связанное с проектом американского изобретателя соглашение о строительстве предприятия в высокотехнологичном промышленном парке Баодин, который специализируется на альтернативной энергетике. К тому же Industrial Heat распространила пресс-релиз, в котором сообщает, что китайские официальные лица проявили к устройству огромный интерес. Какие еще нужны доказательства существования холодного термоядерного синтеза?

## «ТЕРМОЯД – УЖЕ НЕ ЗАОБЛАЧНАЯ МЕЧТА»

Не секрет, что международный мегапроект ИТЭР идет не так, как хотелось бы его участникам: сроки реализации задерживаются, бюджет растет. Тем не менее при всем многообразии разработок термоядерных установок, альтернативных токамаку ИТЭР, ведущие ядерные державы, а также ЕС в целом решили сделать ставку именно на этот проект. Мы попросили Александра Алексеева, заместителя генерального директора международной организации ИТЭР, рассказать о ходе строительства этого термояда.

**– Экономика стран Евросоюза последние годы переживает непростые времена. Сказывается ли это на финансировании странами ЕС проекта ИТЭР?**

– Ясно, что кризис оказывает негативное влияние, но здесь важно то, что деньги на ИТЭР в Европе уже выделены, бюджет утвержден. На последнем совете ИТЭР на уровне министров в сентябре 2013 года комиссар по энергетике Еврокомиссии Гюнтер Оттингер подтвердил, что все обязательства Европы будут выполнены.

**– Некоторые эксперты скептически относятся к срокам получения первой плазмы в термоядерной установке ИТЭР. Называют чуть ли не 2050 год. Что вы можете сказать по этому поводу? Почему периодически отодвигаются эти сроки?**

– Да, конечно, еще придется решить много проблем на пути освоения термоядерной энергии, и успешный ввод



в эксплуатацию установки ИТЭР – это очень важная веха на этом пути. Как только ИТЭР выдаст 500 МВт энергии при вложенных пятидесяти, уверяю вас, количество скептиков резко сократится. По существующему графику это 2027 год.

В ноябре в Монако проходили «Дни ИТЭР», где в том числе выступала директор Международного энергетического агентства, которая представляла долгосрочный прогноз развития энергетики в мире. Любопытно, что в планах на 2050 год и далее агентство уже учитывает в структуре отрасли термоядерную энергетику. Так что отношение мирового сообщества меняется, и термояд – это уже не заоблачная мечта.

Как только бизнес убедится, что термояд работает, это станет серьезным толчком для дополнительных инвестиций в создание термоядерных электростанций и решение оставшихся проблем. Что касается самой установки ИТЭР, все глобальные научно-технические проблемы, в том числе и по материалам, решены, и установка находится в стадии сооружения. Конечно, при этом возникают различные технологические проблемы и трудности, которые решаются в рабочем порядке.

Действительно, сроки сдвигаются. Тут, к сожалению, ИТЭР не избежал участи всех крупных проектов, как национальных, так и международных. Причин много. Это и авария на АЭС

**СПРАВКА**

Александр Борисович Алексеев окончил Ленинградский политехнический институт имени М. И. Калинина. После этого в 1986 году поступил на работу во ФГУП «НИИЭФА имени Д. В. Ефремова», где прошел путь от инженера до начальника научно-исследовательской теоретической лаборатории механики. Доктор технических наук. С декабря 2011 года, пройдя конкурсные процедуры, работает в международной организации ИТЭР.

ИТЭР – проект первого в мире экспериментального термоядерного реактора на основе токамака, строительство которого началось в 2010 году во Франции, в исследовательском центре «Кадараш». Участниками проекта являются страны ЕС (выступают как единое целое), Индия, Китай, Южная Корея, Россия и Казахстан, США, Канада, Япония. Казахстан и Канада присоединились к проекту позже остальных, поэтому условия их участия отличаются. Если будут соблюдены все анонсированные на данный момент сроки – а реализация проекта все время затягивается, – термоядерный синтез имеет шансы выйти на промышленные масштабы примерно к 2040 году.

«Фукусима», и экономический кризис, который, конечно, не способствует ускорению работ, и изначально слишком оптимистичный график выполнения работ, и недооценка сложности проекта, и многие другие факторы. Я бы не хотел сейчас кого-либо обвинять и вдаваться слишком глубоко в историю, но когда в 2006 году при подписании соглашения по строительству ИТЭР было заявлено, что проект завершен и все готово к строительству, – это было не совсем так. И к сожалению, тогдашнее руководство организации ИТЭР, основываясь на этом не совсем верном утверждении, сделало немало неверных действий, что также заложило предпосылки для задержек осуществления проекта. Ясно, что участники проекта сильно обеспокоены переносами срока ввода в эксплуатацию установки. Совет ИТЭР поручил генеральному директору организации ИТЭР принять все меры по улучшению ситуации и на основе имеющегося опыта совместно с независимыми экспертами разработать реалистичный план-график, который должен быть представлен на одном из очередных советов ИТЭР.

**– Что можно сделать для того, чтобы решить проблемы со сроками?**

– Реалистичный план должен быть основан на имеющемся опыте. Идея плана в том, чтобы в его составлении участвовали все – и организация ИТЭР, и домашние агентства, которые хорошо представляют, какие у них могут быть трудности. Важно учесть все факторы, и если где-то не нужно ускоряться – пусть сроки останутся прежними. Какой смысл в том, чтобы произвести и доставить на площадку какой-то компонент, который тут пока не нужен?

После разработки плана для его экспертной оценки будет привлечена группа независимых специалистов.

Работа над планом-графиком уже идет. Но важно делать это осмысленно, без лишней торопливости. И главное, на чем мы были сосредоточены до последнего времени, – это план работ на 2014 год. Именно он станет прообразом долгосрочного реалистичного плана реализации проекта.

**– Ученые ряда стран считают, что создание гибридной ядерной электростанции, в которой термоядерная реакция используется для улучшения производительности обычного ядерного реактора, намного проще и быстрее, чем строительство термоядерной установки на юге Франции. Как вы относитесь к этой идее гибридного реактора?**

– Гибридный реактор – интересное и перспективное направление, но одно другому не противоречит. Токамак установки ИТЭР – это, можно сказать, готовый источник нейтронов для гибридного реактора. И все, что уже наработано и будет наработано в процессе создания ИТЭР, будет полезно и для гибридной установки. Но привлекательность «чистого» термояда и состоит в том, что он чистый: ядерного топлива в нем граммы, а не сотни килограммов, как обычных ядерных реакторах.

**– Чего, по-вашему, сегодня не хватает проекту ИТЭР? Финансовых средств или сотрудников, прорывных технологий или чего-то другого?**

– Финансов и людей всегда не хватает. Успех проекта ИТЭР зависит от слаженного действия всех участников. Организация ИТЭР разработала проект установки, заключены соглашения с национальными агентствами на поставку оборудования для большинства основных систем. Национальные агентства заключили контракты с промышленными компаниями. Теперь результат во многом зависит от того,

как слаженно сработают все участники: организация ИТЭР, национальные агентства и промышленность.

**– Как сегодня устроено управление проектом? Расскажите, пожалуйста, о трансформации системы управления от старта проекта до сегодняшнего дня.**

– Каких-либо принципиальных изменений в управлении проекта не произошло. По соглашению о строительстве ИТЭР высший орган – это совет ИТЭР, в который равноправно входят представители всех участников проекта. Организация ИТЭР возглавляется генеральным директором. Сама организация состоит из департаментов и директоратов. Я, как заместитель генерального директора и директор директората «Токамак», отвечаю за проект и изготовление собственно самого токамака: магнитной системы, вакуумной камеры, внутрикамерных элементов и криостата. Помимо этого, существуют директораты, отвечающие за системы питания, водоснабжения, диагностику, здание и так далее.

Как я уже говорил, организация ИТЭР отвечает за проект, безопасность и результаты работы. Национальные агентства отвечают за поставку соответствующих систем. К сожалению, в этой системе имеется некоторый конфликт интересов, так как проект и окончательная ответственность лежит на организации ИТЭР, а заключают контракты и контролируют промышленность главным образом национальные агентства. Поэтому, как я уже отмечал, успех проекта во многом зависит именно от слаженного взаимодействия всех участников проекта.

Совет ИТЭР осознает сложности в управлении проектом и задумывается о том, чтобы реорганизовать существующую систему. Например, есть

идея, чтобы сам совет ИТЭР из органа, который собирается дважды в год и обсуждает разные вопросы, порой достаточно общего характера, трансформировался в орган принятия решений и разрешения конфликтных вопросов.

**– Как будет обеспечен равный доступ всех участников к интеллектуальной собственности?**

– Это записано в международном соглашении. Есть специальный комитет по интеллектуальной собственности. Не думаю, что тут нас ждут какие-то существенные трудности.

Надо отметить, что вклад Европы в проект составляет 45%, тогда как у остальных сторон-участниц – лишь по 9%. А по соглашению все получают 100% результатов интеллектуальной деятельности. Это один из моментов, которые делают проект ИТЭР привлекательным для участников. Правда, в этой связи есть определенная сложность с новыми странами, которые могут пожелать присоединиться к проекту. На этот счет есть разные мнения. Наш гендиректор говорит, что ИТЭР по-прежнему открыт для других участников. Тем не менее это тонкий вопрос. Не все существующие участники согласны с этой точкой зрения.

**– А кто-то из стран проявляет интерес?**

– Скажем так, участие в проекте ИТЭР новых стран вполне возможно. Не так давно, например, приезжали с ознакомительным визитом представители Турции.

**– Команда ИТЭР интернациональная. Но не всегда доля участия той или иной страны в проекте поставками или деньгами сопоставима с долей участия специалистами.**

**Это показывает и пример России в том числе. На ваш взгляд, с чем это связано?**

– У нас демократичный принцип подбора специалистов. Все вакансии публикуются на сайте ИТЭР. Любой специалист из стран, которые принимают участие в проекте, может подать заявку. При этом домашнее агентство должно ее одобрить. Заявки рассматриваются международной комиссией, сформированной в ИТЭР. Формируется шорт-лист, затем кандидаты, попавшие туда, проходят интервью. Все это осуществляется дистанционно, через видеоконференцию, чтобы ни у кого не было преимущества.

Что касается соотношения доли участия и числа занятых в проекте специалистов – тут все страны недоотягивают, кроме Европы. Тем не менее мы всех призываем искать профессионалов, готовых поработать в ИТЭР, рекламировать проект.

С технической точки зрения это уникальный проект. Представьте себе, термоядерная реакция в сотни миллионов градусов, все это в вакуумной камере. Сверхпроводящая магнитная система работает при 4 кельвинах – это практически абсолютный ноль. Вся Вселенная представлена в одной установке, от абсолютного нуля до температуры Солнца. В ИТЭР много технических трудностей, которые необходимо решить, много работы на стыке различных наук. Это чрезвычайно интересно как для молодых специалистов, так и для опытных профессионалов, желающих развить свои навыки и компетенции. Ну и цель благороднейшая – обеспечить мир энергией.

Порой ИТЭР сравнивают с космическими проектами прошлого века. Но здесь все еще сложнее, пожалуй. Космические проекты не были настолько международными.



## ROLLS-ROYCE И R & D: ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ

В основе успеха и технологического лидерства корпорации Rolls-Royce, имеющей более чем вековую историю, не только гибкая стратегия и правительственные связи, но и грамотный подход к R & D. Суть этого подхода в кооперации с научными центрами и университетами, а также в правильном распределении финансирования на всем пути жизни проекта – от идеи до реализации. В современной России есть примеры эффективного сотрудничества атомных предприятий и научных центров, но существует и ряд проблем, без решения которых мировые показатели недостижимы.

Являясь одной из ведущих технологических компаний мира, Rolls-Royce реализует большой объем прикладных научных исследований и осуществляет производственные инновации. Расходы компании на R & D в 2012 году составили 919 млн фунтов, в среднесрочной перспективе Rolls-Royce планирует держать эти расходы на уровне 5% от оборота.

Основной объем НИОКР компания производит на базе созданных при ведущих университетах исследовательских центров, каждый из которых имеет определенное приоритетное направление исследований (например, акустика). В общей сложности сегодня Rolls-Royce сотрудничает с 28 университетскими исследовательскими центрами в Великобритании, Германии, США, Южной Корее, Швеции и Италии. Особое место в этом сотрудничестве занима-

ют центры, специализирующиеся на производственных инновациях, – исследовательские центры производственных технологий (ИЦПТ). Корпорация Rolls-Royce является одним из ведущих промышленных партнеров семи ИЦПТ, пять из которых расположены в Великобритании и по одному – в США и Сингапуре.

По мнению руководства Rolls-Royce, такая форма организации научных и прикладных исследований является одной из наиболее эффективных. В свете того, что Росатом анонсирует цель превратиться в мирового технологического лидера, группа ученых из ОАО «ОКБМ Африкантов»: Андрей Беспалов, Михаил Большухин, Алексей Будников, – и докторант физического факультета МГУ Владимир Зверев решили детально разобрать методы Rolls-Royce по организации R & D на примере Атомного исследо-



Слева и справа: «Фабрика будущего» Rolls-Royce на площадке Атомного ИЦПТ

вательского центра производственных технологий в Шеффилде и сравнить с подходом к НИОКР в РФ. Мы публикуем результаты их работы.

### ИСТОРИЯ СОЗДАНИЯ

Для того чтобы понять, как в Великобритании возникли университетские центры, занимающиеся прикладными научными исследованиями, следует вернуться в начало 1970-х годов. В то время в британских университетах развивалась практически только фундаментальная наука. Отсутствовал связующий элемент между университетскими фундаментальными научными разработками и потребностями промышленности в практически применимых инновационных решениях. В то же время во многих университетах и высших школах Германии активно развивались прикладные исследования, результаты которых были востребова-

ны промышленными компаниями. Пришедшее в то время к власти в Великобритании правительство лейбористов (премьер-министр Джеймс Каллаган) решило, что развитие в стране исключительно индустрии услуг и свертывание промышленного производства неизбежно приведет к снижению конкурентоспособности британских товаров на мировом рынке и падению инвестиционной привлекательности страны в целом. Было принято решение о реализации ряда мер, направленных на развитие национальной промышленности. Одной из таких мер стало предоставление поддержки развитию университетской прикладной науки путем создания исследовательских центров при поддержке ведущих промышленных компаний. Задача таких центров – перенести передовые научные знания и технологии из лаборатории в промышленность. Миссия центров – это работа на переднем крае технологического развития для удовлетворения нужд промышленности и повышения ее конкурентоспособности.

Характерным примером удачного симбиоза науки и промышленности является комплекс исследовательских центров по развитию инноваций в производстве, расположенный недалеко от Шеффилда, включающий в том числе и созданный в 2011 году Атомный ИЦПТ.

Согласно прогнозам, в мировую атомную промышленность в ближайшие 20 лет будет инвестировано около 930 млрд фунтов, еще 250 млрд фунтов будет направлено на финансирование вывода из эксплуатации старых АЭС. Объем инвестиций в строительство атомных станций нового поколения в Великобритании оценивается более чем в 60 млрд фунтов. Таким образом, для производителей в Великобритании создаются значительные возможности на всех этапах цепочки поставок при строительстве АЭС.

Однако вход на рынок атомного машиностроения может быть весьма затруднительным. Для британских производителей ситуация осложняется тем, что в Великобритании не было построено ни одной АЭС с начала 1990-х годов, поэтому чрезвычайно мало компаний четко понимают весьма строгие требования данного рынка. В то же время в стране существует много производителей, имеющих опыт работы в аэрокосмической промышленности, строительстве оружия в открытом море и других сложных инженерных объектов. Многие из этих производителей ранее активно работали в атомной отрасли и обладают потенциалом для успешной реализации открывающихся возможностей. В связи с этим правительство Великобритании разработало стратегию по развитию «новой» атомной промышленности, которая задает направление совместной работы бизнеса, университетов и исследовательских центров для поддержки британских компаний в использовании

растущих возможностей не только в британском, но и мировом атомном секторе экономики.

Эта стратегия включает в себя учет всех аспектов атомного рынка: строительство новых энергоблоков, утилизацию радиоактивных отходов, вывод объектов из эксплуатации, обслуживание топливного цикла, эксплуатацию и другие операции. Она устанавливает основы для долгосрочного сотрудничества между правительством и промышленностью. Кроме того, стратегия предполагает инвестиции в разработку малых модульных реакторов, которые могут сократить затраты на генерацию электроэнергии путем снижения технологических рисков.

В рамках реализации стратегии по модернизации промышленности Великобритании в начале 2000-х годов появилась идея создания Атомного ИЦПТ, которая с самого начала нашла поддержку правительства Соединенного Королевства. Ведь создание такого центра способствовало реализации этой стратегии сразу по двум направлениям: возрождение и создание собственного промышленного производства наукоемкой и инновационной продукции на территории Великобритании – черта, характерная для экономик развитых стран в последнее десятилетие; привлечение активных и молодых людей в науку, технологию и промышленность Великобритании. С момента создания Атомного ИЦПТ в 2011 году Rolls-Royce является ведущим индустриальным партнером центра, и в настоящее время это сотрудничество охватывает широкий спектр технологий, включая порошковую металлургию, использование промышленных лазеров, электронно-лучевую сварку, сложное литье, виртуальную и дополненную реальность (для оптимизации производственных



и технологических процессов, в том числе в зоне воздействия опасных производственных факторов).

На первом этапе реализации проекта создания Атомного центра был определен университет-партнер, на базе которого должен быть создан центр. Вообще, выбор того или иного базового университета осуществляется при условии соответствия одному из двух критериев. Либо конкретный университет уже должен иметь сильную научную группу, работающую над темой, интересной с точки зрения промышленного применения (обычно такой университет является партнером одной или нескольких промышленных компаний). Либо университет должен занимать высокое место в рейтинге британских университетов и при этом готов с нуля создать новое научное направление. В ходе процедуры отбора университеты конкурируют между собой за право стать партнером центра, что объясняется ожидаемыми выгодами от сотрудничества. В дальнейшем

университеты получают возможность привлекать студентов, аспирантов, постдоков к исследованиям в центре, а также изменять учебные планы путем включения в учебную программу соответствующих специальных курсов, необходимых для профессиональной подготовки профильных специалистов, востребованных для работы в ИЦПТ и в промышленности.

В результате проведенного конкурсного отбора партнерами Атомного ИЦПТ стали сразу два университета: Шеффилда и Манчестера. В качестве места расположения выбрали Индустриальный парк современного машиностроения вблизи города Шеффилда. Само строительство нового центра на месте бывшей угольной шахты заняло всего 18 месяцев. При создании центра был реализован новый подход к строительству и проектированию офисных и производственных помещений, который состоит в создании эргономичных и удобных условий труда, способствующих реализации одной из стра-

тегических целей – привлечению молодых выпускников университетов в промышленность для возрождения престижа профессии инженера в Великобритании.

#### ПАРТНЕРЫ И ЗАКАЗЧИКИ

Rolls-Royce приняла на себя роль ведущего индустриального партнера центра с самого начала разработки концепции. Другими партнерами-основателями центра выступили Areva, Toshiba-Westinghouse, Sheffield Forgemasters и Tata Steel. С момента запуска в 2011 году ответственность за деятельность центра взял на себя консорциум из индустриальных партнеров. В настоящее время партнерство предполагает два возможных варианта, в зависимости от размера компании и ее положения в цепочке поставщиков атомного оборудования. Партнеры центра включают в себя как поставщиков готового оборудования и сервисов, так и производителей отдельных элементов из цепочки поставок.

Наибольшее влияние на деятельность центра оказывают партнеры первого уровня, которые определяют стратегию центра и ключевые направления его исследований. Сейчас в список партнеров первого уровня кроме уже упомянутых компаний-основателей входит еще ряд известных компаний: Avure Technologies, Dassault Systèmes, Delcam, DMG/Mori Seiki, Hermle, Hexagon Metrology, ITW Welding Products Group, Yamazaki Mazak, Sellafield, Ltd, Nuclear Engineering Services, Nikon Metrology, Sandvik и Starag Group. Следует отметить, что членами консорциума являются также компании со штаб-квартирами не на территории Великобритании. Существует два главных условия, дающих право на участие в консорциуме: наличие зарегистрированного филиала компании на территории Великобритании; наличие заметного бизнеса

в королевстве или серьезных планов по расширению деятельности, которые способствуют развитию экономики страны. Например, таким планом может быть подготовка к участию в тендере на строительство АЭС в Великобритании.

Партнеры Атомного ИЦПТ обеспечивают основное финансирование текущей деятельности центра путем уплаты ежегодного членского взноса и заключения контрактов на проведение исследовательских работ. В то же время в финансировании Атомного (как и других) ИЦПТ активное участие принимает британское правительство и ЕС, предоставляя гранты на развитие науки и технологий.

Атомный ИЦПТ проводит исследования не только для компаний-партнеров, он также открыт к сотрудничеству со всеми британскими производителями, а также с зарубежными компаниями, имеющими филиалы в Соединенном Королевстве. Компания-заказчик оплачивает непосредственно исследование и имеет исключительный доступ к результатам полученной интеллектуальной деятельности. Для привлечения партнеров и заказчиков к сотрудничеству центр работает по правилам, принятым в промышленных компаниях:

- полная конфиденциальность результатов исследований;
- четкое распределение результатов интеллектуальной деятельности между участниками проекта;
- детальная подготовка к выполнению работ: создание паспорта проекта с описанием этапов, сроков, ответственных, конкретных результатов и инструментов их оценки.

Последнее требование соответствует принципам проектного управления, применяемого в промышленности, и как считают сотрудники центра,

# £12 млрд

ОБОРОТ ROLLS-ROYCE  
ЗА 2012 ГОД

# £1,5 млрд

ЧИСТАЯ ПРИБЫЛЬ ЗА 2012 ГОД

# £919 млн

РАСХОДЫ НА R & D  
ЗА 2012 ГОД

# 5%

ПЛАНИРУЕМЫЕ РАСХОДЫ  
НА R & D В ПРОЦЕНТАХ  
ОТ ОБОРОТА

**СПРАВКА**

Центр способен создавать интерактивные симуляции деталей, устройств, сложных систем и строений, как реальных, так и воображаемых. Интерактивные модели виртуальной реальности могут быть созданы при использовании любого формата данных системы автоматизированного проектирования (САП). Это позволяет интегрировать данные из множества различных форматов – от отдельных деталей до частей АЭС – в одну модель. Возможно также создание четырехмерной среды (с координатой времени) посредством интеграции данных, полученных расчетным образом при симуляции бесконечно малых и дискретных событий.

В Атомном ИЦПТ существует система Virtualis Active Cube с трехмерными проекциями на три стены и пол. Эта полностью иммерсивная среда идеальна для таких применений, как тренировка, моделирование сборки и планировка. Также существует система Virtualis ActiveWall – экран шириной 4,5 метра, на который могут смотреть сразу 25 человек. Эти системы могут быть соединены. Также они могут быть подключены к другим системам виртуальной реальности в других центрах производственных технологий, а также к системам VR на ноутбуках для удаленного конструирования, анализа и тренировки.

едва ли может быть реализовано в полной мере в рамках работы обычной университетской лаборатории.

**ОРГАНИЗАЦИОННАЯ СТРУКТУРА И РЕСУРСЫ**

По состоянию на начало 2013 года штат Атомного ИЦПТ составлял около 50 сотрудников, годовой оборот – около 60 млн британских фунтов. Однако, как полагает руководство центра, ввиду большого количества потенциальных заказов в ближайшие годы годовой оборот вырастет в 1,5 раза, что потребует соответствующего увеличения штата сотрудников. Производственный персонал центра составляют как опытные сотрудники, пришедшие из промышленности, например из Rolls-Royce, так и молодые выпускники университетов. Сотрудники центра обладают знаниями и творческим подходом, необходимым для создания новых технологий и различных процессов, от проверки концепции до коммерческого внедрения. По словам руководителей центра, «люди приходят на работу, потому что им нравится их работа. Им не нужна какая-то дополнительная мотивация, кроме интересной работы». Организационная структура центра, конечно, включает определенный административный персонал: плановый отдел, бухгалтерию и тому подобное, однако доля его составляет не более 10% от общей численности. Оценка труда инженерно-технических сотрудников центра строится по принципу максимального учета их вклада в интеллектуальную собственность (количество научных публикаций в высокорейтинговых журналах, патентов, изобретений, полезных моделей и прочее).

**НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Основным направлением деятельности Атомного ИЦПТ является развитие инноваций в области атомного машиностроения. Центр обладает необходимым оборудованием и опыт-

ными экспертами для решения установленных перед ним компаниями задач по увеличению производительности труда и снижению издержек производства. В качестве примера можно привести случай, когда при выполнении одной из работ по заказу Rolls-Royce центру удалось разработать технологический процесс, который сокращал время изготовления детали двигателя с 54 минут до 90 секунд.

Атомный ИЦПТ работает над сразу несколькими ведущими направлениями в области промышленных инноваций для атомного машиностроения.

**МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА**

Производство больших и сложных деталей для атомного машиностроения; помощь производителям в снижении издержек и уменьшении временных затрат; использование симуляций, измерений, выполняемых на станке и других устройствах; новый подход к традиционно сложным проблемам машиностроения, таким как сверление очень глубоких отверстий (до 8 метров), работа с большими деталями без использования платформ. Команда, работающая в этой сфере, включает в себя высококлассных операторов станков, технических специалистов и исследователей мирового уровня.

**СВАРКА**

Создание соединений, способных работать в течение 60 лет и более; исследования в таких областях, как электронно-лучевая сварка, горячее изостатическое прессование и прочее.

**ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ**

Анализ материалов с целью проверки их надлежащего качества для нужд атомной промышленности. Центр имеет доступ к самому современному оборудованию, включая машины для испытания на ползучесть и высоко-

## ЧТО ТАКОЕ FIT FOR NUCLEAR

По своей направленности эта программа прежде всего рассчитана на производителей механического и электрического оборудования, которые могут поставлять компоненты для АЭС и сопутствующего оборудования. Также программа может быть полезна для компаний, работающих в области вывода реакторов из

эксплуатации и переработки радиоактивных отходов. Стартовые вопросы, на которые должны дать ответы потенциальные кандидаты, касаются шести основных категорий ведения бизнеса: стратегия и лидерство, организация разработок и управление проектами, профессионализм работников, эффективность процессов (операционная эффективность), система охраны труда

и техника безопасности, система менеджмента качества.

Результаты проверки выявляют пробелы, которые существуют в бизнесе той или иной компании, что позволяет сформулировать рекомендации для приведения их в соответствие со стандартами, принятыми поставщиками реакторных установок или их партнерами по цепочке по-

ставок. В дополнение к этому центр предоставляет бесплатные консультации и предлагает поддержку специалистов, которые могут оказать квалифицированную помощь в ликвидации слабых мест. В целом все перечисленные действия направлены на создание национальной цепочки поставок, которая должна быть конкурентоспособной на мировом рынке.

температурную усталость, оборудование для испытания эластичности, специальные автоклавы и рентгеновское аналитическое оборудование.

## ТЕХНОЛОГИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Центр использует технологию виртуальной реальности для создания иммерсивной (создающей эффект присутствия) трехмерной среды в реальных промышленных приложениях. Технология виртуальной реальности используется в таких проектах, как разработка и анализ продуктов, оценка и тренировка в процессах сборки, ремонта и обслуживания, виртуальный контроль, проверка, испытания, проектирование, планировка зданий, визуализация технологической цепочки.

Еще одной ключевой областью деятельности Атомного ИЦПТ является обеспечение поддержки и предоставление информации компаниям, желающим стать участниками атомного рынка. В рамках этого направления центр плотно сотрудничает с ведущими атомными технологическими компаниями (являющимися одновременно партнерами центра) с целью более глубокого понимания их требований и определения всех этапов цепочки поставок для последующего подбора потенциальных поставщиков. В рам-

ках этой работы центр разъясняет производителям сложности и особенности стандартов для продукции атомного назначения с тем, чтобы компании могли удовлетворять требованиям заказчиков. С учетом того что на разных этапах цепочки поставок действуют различные требования, центр помогает компаниям определить их место в цепочке. Кроме того, специалисты Атомного ИЦПТ содействуют развитию профессионализма сотрудников компаний так, чтобы они могли конкурировать в гражданском ядерном секторе. Центр является партнером-основателем Национальной академии мастерства в атомном машиностроении, которая совместно со специалистами и тренерами разрабатывает новые курсы и квалификационные требования. Центр осуществляет также помощь компаниям в подборе необходимых тренингов.

Для практической реализации данного направления Атомный ИЦПТ разработал специальную программу бесплатной оценки Fit for Nuclear, которая позволяет показать, может ли бизнес той или иной компании развиваться в атомной области. Программа поддерживается партнерами центра: компаниями Areva и EDF. Эти компании используют возможности программы для выбора поставщиков для собственных нужд.

Другой областью деятельности Атомного ИЦПТ является обучение. Центр предлагает профессиональное обучение (по профессии «инженер») без отрыва от производства для выпускников школ с хорошими оценками по математике, английскому и предпочтительно имеющих научную или инженерную квалификацию/специализацию. Также есть обучение в области менеджмента и бизнес-администрирования. Обучение в центре можно пройти в таких областях, как машиностроение, электротехника и электроника, производство и сварка, эксплуатация, инженерная техническая поддержка (конструкции, материалы и прочее), бизнес-администрирование, обслуживание клиентов.

Все подмастерья – участники программы получают в среднем 170 британских фунтов (около 9–10 тыс. рублей по курсу на середину февраля) в неделю. Оплата повышается по мере овладения профессией. Программа осуществляется в рамках специального тренинг-центра. В задачи службы тренинга входит набор учеников или набор уже существующего персонала для участия в программе обучения, обеспечение персонала соответствующей литературой, определение необходимых тренинговых мероприятий, согласование плана обучения с подмастерьем и работодателем,

проведение тренинга и процедуры оценки, предоставление результатов в режиме онлайн; соответствие национальным стандартам; помощь в получении высшего образования без отрыва от производства (путем выполнения передовых исследований, дистанционного обучения, самостоятельное освоение дисциплин); дальнейшее профессиональное развитие.

Кроме основного, атомного, направления ИЦПТ проявляет активность также в других областях энергетического сектора, включая вывод объектов из эксплуатации, нефть и газ, возобновляемые источники энергии и прочее. Центр входит в состав национальной сети исследовательских центров, работающих во всех секторах экономики, от генерации электроэнергии до фармацевтики. Центр может проводить исследования по специфическим проектам с использованием собственной экспертизы и оборудования или привлекать внешние ресурсы. В этой связи стоит упомянуть, что центр имеет компетенции, которые позволяют ему участвовать или даже возглавлять совместные исследовательские проекты, в которые входят другие участники.

**РОЛЬ ПРИ РАЗРАБОТКЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТЬЮ**

При разработке новых технологий в Rolls-Royce принято использовать концепцию уровней готовности технологии (Technology Readiness Level – TRL), которую впервые представила NASA (США). Концепция описывает прогресс технологии от блестящей идеи (TRL 1) через научное исследование (TRL 2–3) к лабораторным испытаниям (TRL 4), затем испытание в большем масштабе на стендах (TRL 5), полномасштабная демонстрация системы (TRL 6), полетные или сервисные испытания (TRL 7),

**ШКАЛА УРОВНЕЙ ГОТОВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ К ПРОИЗВОДСТВУ, ИСПОЛЗУЕМАЯ В ИЦПТ КОМПАНИИ ROLLS-ROYCE**



разработка продукта и прототипа (TRL 8) к зрелому продукту (TRL 9).

Эта шкала является весьма полезным инструментом, и все проекты в Rolls-Royce в соответствии с ней проходят тщательный контроль. Проект не может двигаться дальше, пока успешно не пройдет предыдущий уровень. В большинстве секторов, в которых занята Rolls-Royce, этот процесс занимает несколько лет. Путь от лабораторной идеи до новой детали авиационного двигателя может занять до 20 лет.

При реализации проектов по созданию новых технологий вводится понятие «долины смерти». В терми-

нах TRL это относится к промежутку между этапами 4 и 7. В этой области требуются существенные инвестиции, тогда как уверенность в успехе еще не высока. В авиационной отрасли «долина смерти» углубляется и расширяется за счет упомянутых выше длительных периодов времени и критических требований по безопасности для многих приложений. Как правило, преодоление «долины смерти» требует некоторой степени государственного вмешательства или разделения рисков за счет партнерства. В этой связи следует заметить, что компании и страны, которые не имеют механизмов прохождения «долины смерти», рискуют оказаться в отстающих.



Высокотехнологичное оборудование ИЦПТ

Однако готовности одной лишь технологии недостаточно, чтобы вывести ее на рынок. Параллельно с технологией должен быть разработан производственный процесс, который бы гарантировал, что продукт будет производиться экономически выгодно, в нужном объеме и соответствующего качества. Для решения этой задачи Rolls-Royce разработала собственный набор уровней готовности к производству (Manufacturing Capability Readiness Levels, MCRLs), которые также выражаются в виде 9-балльной шкалы (см. рисунок).

Уровни MRL 1–4 представляют разработку концепции производственной технологии. Уровни 5 и 6 – критическая фаза предпроизводства, на которой должно использоваться дорогое полномасштабное оборудование и осуществляться процессы,

которые предшествуют запуску продукта в производство. Уровни готовности к производству 7, 8 и 9 призваны реализовать эти процессы в цехе и утвердить объемы выпуска продукции соответствующего качества. Опять-таки есть так называемая «долина смерти» между уровнями 4 и 6, когда инвестиционные вложения высоки, но нет абсолютной уверенности в том, что продукт будет запущен или предложенный процесс осуществится успешно.

Уровни разработки технологии (согласно TRL) и производственного процесса (согласно MCRL) должны быть согласованы между собой. Если процесс оценки MCRL будет сильно опережать TRL, это может означать риск потери инвестиций ввиду недостаточной проработки технологии. В обратном случае могут возникнуть риски запуска в производство продукта низкого качества по завышенной цене.

При реализации такого подхода Атомный ИЦПТ должен быть готов к приему технологии уровня выше TRL 3–4 для ее развития в рамках центра и последующего возврата в компанию на уровне готовности к полномасштабным испытаниям и демонстрации. Процесс полномасштабных испытаний и разработка производственного процесса, что соответствует уровням MCRL 6–8, может также осуществляться в центре. Таким образом, с точки зрения промышленных компаний призыванием Атомного ИЦПТ, как и других ИЦПТ подобного типа, является решение проблемы прохождения «долины смерти» с точки зрения как развития технологии, так и производственного процесса.

#### СРАВНЕНИЕ С ПОДХОДОМ К НИОКР В РФ

И в СССР, и в РФ схема взаимодействия промышленности и науки существовала всегда (с учетом некоторых терминологических отличий). Аналогами научно-исследовательских и технологических центров являются научно-исследовательские институты (НИИ), функционирующие при ведущих университетах страны, и НИИ Академии наук.

Каждый институт – академический или университетский – нацелен на приоритетное решение задач НИОКР определенного предприятия или отрасли. Кроме того, как правило, сотрудники института являются преподавателями профильного вуза. Тем самым обеспечиваются важные дополнительные задачи привлечения в науку молодежи и повышения качества обучения студентов.

Повышенная заинтересованность институтов в приоритетном решении прикладных задач промышленности обеспечивается также действующей схемой государственного финансирования. Так, в настоящее время до-

полнительное государственное финансирование НИИ выделяется на развитие материальной базы, а не на повышение уровня оплаты труда сотрудников. Такой подход обеспечивает заинтересованность НИИ в первоочередном развитии материальной базы тех направлений исследований, которые дают возможность заключения договоров с промышленностью.

Рассмотрим более подробно эту схему на примере задачи создания и внедрения технологии использования программ трехмерной вычислительной гидродинамики (CFD) к описанию сложных режимов работы реакторных установок транспортного назначения.

Использование CFD-программ позволяет на качественно новом уровне решать ряд важнейших прикладных задач проектирования, создания и постпроизводственного сопровождения реакторных установок. Можно без преувеличения утверждать, что наличие технологии использования CFD-программ в недалеком будущем станет одним из условий сохранения конкурентоспособности проектных предприятий атомной отрасли. Сделанные утверждения хорошо понимаются во всем мире, что подтверждается простым перечислением действующих программ государственной поддержки этого направления: программа CFD4NRS – спонсорская поддержка OECD NEA и МАГАТЭ, программа CASL – правительства США.

В «ОКБМ Африкантов» отработка и внедрение технологии использования CFD-программ осуществлялись в рамках темы «Внедрение суперкомпьютерных технологий в новых проектах реакторных установок и разработка «виртуальной ЯЭУ». Работы выполнялись в 2010–2012 годах по договору между ОКБМ и ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ», заключенному на



*Пещера виртуальной реальности в Атомном ИЦПТ в Шеффилде*

основании госконтракта между госкорпорацией «Росатом» и ВНИИЭФ «Разработка технологий проектирования и имитационного моделирования для суперЭВМ на основе базового программного обеспечения». Этот контракт, в свою очередь, являлся составной частью проекта «Развитие суперкомпьютеров и грид-технологий», утвержденного комиссией при президенте РФ по модернизации и технологическому развитию экономики России.

Для работы над своей темой «ОКБМ Африкантов» привлекало ведущие научные коллективы РФ. В кооперации с научными коллективами выполнялись работы по двум направлениям: создание экспериментальной базы, представительной для верификации и адаптации CFD-программ, и адаптация технологии использования CFD-программ к учету специфики физических процессов в ядерных энергетических установках. При работе над первым направлением ОКБМ сотрудничало с Институтом механики сплошных сред (ИМСС)

УрО РАН, Санкт-Петербургским государственным политехническим университетом (СПб ГПУ), Нижегородским государственным техническим университетом (НГТУ), Московским государственным университетом (МГУ), по второму – привлекло Институт проблем безопасного развития атомной энергетики, СПб ГПУ, МГУ.

В результате работы над проектом в ОКБМ была создана специализированная гидродинамическая лаборатория, в которой используются самые современные средства измерений двухмерных и трехмерных полей скоростей и температур и обобщен опыт аналогичных экспериментальных исследований, выполняемых ведущими научными коллективами РФ. Кроме того, была создана основа экспериментальной базы, представительной для верификации и адаптации CFD-программ к учету специфики атомной энергетики, а также заложены основы технологии адекватного ис-

пользования CFD-программ в атомной энергетике.

Первые результаты использования созданной технологии в проектных работах «ОКБМ Африкантов» показали ее высокую эффективность и перспективность ее дальнейшего развития. Применение технологии позволило выполнить расчетное обоснование новых перспективных режимов работы реакторных установок транспортного назначения, причем альтернативой подобного расчетного обоснования являлось чрезвычайно длительное и дорогостоящее создание наземного стенда прототипа. Также ученые смогли сделать расчетное обоснование ресурсных характеристик отдельных элементов конструкции реакторных установок, функционирующих в условиях постоянно действующих термоциклических нагрузок и определяющих ресурс установки в целом. Альтернативой расчетного обоснования являлись длительные, дорогостоящие и недостаточно представительные ресурсные испытания.

Выполненные работы получили и международное признание. Так, например, экспериментальные исследования естественной конвекции, проведенные в «ОКБМ Африкантов» совместно с ИМСС УрО РАН, экспертами российско-американской рабочей группы в области мирного использования атомной энергетики приняты в качестве международной тестовой задачи для верификации CFD-программ.

ОКБМ продолжает развивать технологию, но финансирует эти работы уже из собственных средств. Кроме того, в настоящее время в гидродинамической лаборатории НГТУ при технической поддержке «ОКБМ Африкантов» создается уникальный стенд, предназначенный для формирова-

ния экспериментальной базы, представительной с точки зрения анализа и обоснования сложных трехмерных физических явлений в элементах конструкций реакторных установок транспортного назначения. Причем источником финансирования работ является выигранный НГТУ государственный грант на развитие экспериментальной базы. Специалисты ОКБМ являются основными разработчиками концепции стенда, с их участием уже выполнен большой объем работ по созданию конструкторской документации на стенд. Кроме того, технология использования систем измерений полей параметров, которыми будет оснащаться стенд, отрабатывается в специализированной гидродинамической лаборатории ОКБМ.

Эти примеры показывают наличие и эффективность сотрудничества проектно-конструкторских предприятий Росатома с научными центрами РФ, а также высокий уровень государственной и отраслевой поддержки такого сотрудничества. Однако стоит отметить, что существует и ряд проблемных вопросов, решение которых позволит довести результаты сотрудничества ОКБМ с научными коллективами до уровня мировых показателей. Первый такой вопрос – это специфические для РФ сложности заключения договоров с научными коллективами. Дело в том, что современная процедура заключения договоров является длительной сама по себе (не менее 3 месяцев). А с учетом того, что эти процедуры могут быть запущены только после утверждения годового бюджета предприятия, как правило, интервал времени между моментами заключения и окончания договора исчисляется неделями, а то и днями. Это приводит к тому, что исполнитель фактически вынужден работать в условиях финансовой неопределенности, что само по себе не повышает качество работ, а если вы-

полнение договора связано с дополнительными финансовыми затратами (что особенно проблематично для научных организаций), то и вовсе отказываться от сотрудничества.

Второй проблемный вопрос – отсутствие процедуры финансирования работ на длительную перспективу. Если вновь обратиться к примеру компании Rolls-Royce, то промежуток времени между «блестящей идеей» и промышленной реализацией не зря назван термином «долина смерти». При среднем сроке создания новой технологии в атомной отрасли в 10 лет временной интервал «долины» приходится на период с третьего по седьмой год реализации проекта. Авторы термина очень четко отразили суть процессов, происходящих на этом этапе. Ведь когда речь идет о реализации научных проектов, успех во многом определяется синергетическим эффектом от взаимодействия команды исследователей. Прекращение государственной или отраслевой поддержки проекта чаще всего означает прекращение самого проекта и распад научной команды. Это приводит к тому, что по прошествии времени продолжить проект с достигнутого уровня становится проблематично или практически невозможно. И наличие технологии преодоления этого сложного отрезка в жизни проектов является, пожалуй, самым значимым из рассмотренных в статье факторов, обеспечивающих компании Rolls-Royce технологическое лидерство в Великобритании.

*Андрей Беспалов и Владимир Зверев выражают благодарность Росатому и организаторам программы Rosatom Global Leaders за возможность познакомиться с подходами к НИОКР в Rolls-Royce. В. Зверев также благодарен лауреату премии Правительства РФ Игорю Звереву (ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ») за ряд полезных дискуссий и поддержку работы.*



## МАЛЕНЬКИЕ БРАТЯ БОЛЬШОГО РОСАТОМА

Доля государства в российской атомной энергетике высока, пожалуй, как нигде в мире: даже Китай допускает миноритарных акционеров в капитал ряда атомных компаний. Тем не менее негосударственные коммерческие компании все смелее используют не занятые Росатомом ниши. В первую очередь эти ниши связаны с высокими технологиями и инновационными разработками. Некоторым частникам благодаря своим ноу-хау удалось построить вполне успешный и прибыльный бизнес. Мы решили посмотреть, как развивается частный бизнес в атомной энергетике РФ.

### НА ИННОВАЦИЯХ МОЖНО ЗАРАБАТЫВАТЬ

Компания «Диаконт» – один из примеров удачного построения частного бизнеса в атомной сфере. Секрет успеха прост – нужно всего лишь быть лучше, чем конкуренты. «Мы создали и реализовали ряд уникальных технологических решений, которые оказались полезны Росатому, и мы обеспечили их реализацию на уровне лучше наших зарубежных коллег. И предлагаем эти решения сегодня», – гордится заместитель гендиректора компании по маркетингу Михаил Лысый.

Компания образовалась в 1990 году, когда Михаил Федосовский, один из ее основателей, придумал, как разработки отечественного ВПК можно применять в мирной промышленности. Оснастив оптико-цифровые камеры предельного уровня чувствительности экранами на основе керамики, защищающими от радиации, компании удалось создать аппаратуру с высокими параметрами защиты от излучений. Первым заказчиком стало Мурманское морское пароходство –

радиационно стойкие телекамеры использовались для контроля реакторов атомных ледоколов.

К 1994 году на предприятии разработали конструкцию системы телевизионного контроля перегрузки ядерного топлива для АЭС. Впоследствии она стала штатной для ВВЭР-1000 и внедрена более чем на двух десятках объектов в России, на Украине, в Болгарии и Китае. Со временем инженеры компании расширяли технологическую линейку и создавали все новые инновационные системы и механизмы контроля.

В период кризиса 1998 года компания выжила благодаря валютным поступлениям от первого в своей истории контракта с зарубежными партнерами – был подписан договор со шведской фирмой на разработку и изготовление робототехнического комплекса для контроля каналов реактора. Этот комплекс сочетал в себе компьютерную систему управления с ультразвуковой и телевизионной системами контроля.

В 2002 году «Диаконт» поставила свою первую продукцию в США. Со временем камеры производства российской компании стали штатным средством контроля General Electric. В 2011 году «Диаконт» открыла в Соединенных Штатах свое представительство. Их услугами пользуются такие монстры атомной отрасли, как Westinghouse и Areva. Экспансия на международный рынок, можно сказать, удалась.

«Мы кроме Росатома поставляем продукцию и за пределы Российской Федерации. И в Америке, и в Японии, и во Франции наша продукция используется. Более того, в Америке, например, мы заняли большую часть рынка, вытеснив местного производителя радиационно стойких камер. Все благодаря высокому качеству продукции. Росатом – это не единственный наш заказчик. Мы задачу ставим намного шире – работать в атомной энергетике по всему миру», – заявляет М. Лысый.

В 2005 году «Диаконт» учредила дочернюю компанию «Конструкторско-технологический проектный институт «Газпроект». «Дочка» занялась внедрением новой разработки инженеров – роботов для внутритрубной диагностики и ремонта газо- и трубопроводов, в том числе со сложной геометрией. Эти робототехнические комплексы и их последующие модификации стали востребованы как в газовой отрасли, так и в атомной, в частности, для контрольных и восстановительных работ на телескопических соединениях трактов технологических каналов РБМК.

В России у «Диаконта» конкурентов практически нет, утверждает заместитель гендиректора компании: «Конкуренты в основном зарубежные. Мы конкурируем, наверное, все-таки на уровне международных ком-

паний. А превосходим конкурентов за счет технологического уровня, качества изготовления и собственных инновационных разработок».

В планах компании выход на другие рынки, где может быть востребована наукоемкая и инновационная продукция. В частности, руководство делает ставку на массовый выпуск специальных технических средств нового поколения, которые должны заменить устаревшие гидравлические системы. Они сочетают высокую мощность с высокой точностью и скоростью и могут использоваться в автомобилестроении, авиапромышленности и других машиностроительных отраслях.

#### БИЗНЕС НА IT

Еще один представитель частного бизнеса атомной отрасли в этом году отмечает десятилетие. Компания «Неолант» была образована в 2004 году как стартап. Сегодня в штате компании 300 специалистов, среди которых доктора технических наук и кандидаты наук, инженеры, конструкторы, программисты, аналитики. «Неолант» специализируется на разработке инновационных IT-решений, создании информационных моделей объектов отрасли, проектно-конструкторских и научно-исследовательских работах, а также на широком комплексе услуг в сфере системы обращения с РАО.

За десять лет из стартапа компания превратилась в крупную инженеринговую, консалтинговую и IT-организацию, констатирует генеральный директор ЗАО «Неолант» Виталий Кононов. «В основе бизнеса «Неоланта» – двойная экспертиза компании и межотраслевая передача знаний», – рассказывает он. «Двойная экспертиза – это опыт и экспертные знания как в предметных областях атомной отрасли, включая вывод из эксплуа-

тации ЯРОО, обращение с радиоактивными веществами, РАО и ОЯТ, так и в информационных технологиях – информационном моделировании, системах PLM и САПР, межсистемной интеграции», – объясняет глава компании. Что касается межотраслевой передачи знаний, то, по его словам, опыт работ в нефтегазовой отрасли оказывается востребованным в атомном комплексе, и наоборот – экспертиза атомных проектов «Неоланта» оказывается весьма плодотворной для выполнения работ в ТЭК.

Большая часть заказчиков компании – структурные подразделения Росатома. Сотрудничество с госкорпорацией начиналось с небольших проектов. Одним из первых крупных проектов для «Неоланта» стало создание информационной системы поддержки вывода из эксплуатации Ленинградской АЭС. Сейчас в списке партнеров компании концерн «Росэнергоатом», ПО «Маяк», несколько АЭС, «Атомэнергопроект», целый ряд ведущих научно-исследовательских и проектных институтов.

«Кроме того, в 2013 году в результате конкурсного отбора компания «Неолант» выбрана госкорпорацией «Росатом» в качестве разработчика системы государственного учета и контроля радиоактивных веществ и радиоактивных отходов (СГУК РВ и РАО) и корпоративного уровня отраслевой системы вывода из эксплуатации ядерно и радиационно опасных объектов», – сообщил В. Кононов. Среди зарубежных партнеров «Неоланта» – чешские, французские, испанские компании.

#### ОТ ШИРОКОГО СПЕКТРА ДО НИШЕВЫХ КОМПАНИЙ

У некоторых частных компаний довольно широкий спектр деятельности. Например, группа компаний «ФНК» – это холдинг, объединяющий

инжиниринговые и проектно-конструкторские активы. Он специализируется на комплексном управлении проектами в сфере как атомной, так и традиционной энергетики. Специалисты компании отвечают за весь комплекс работ по строительству объектов и созданию оборудования, от проектирования до сдачи в эксплуатацию. Достаточно отметить, что ФНК имеет более 40 лицензий и свидетельств на осуществление различных видов работ. Помимо Росатома и его подразделений среди клиентов ФНК такие монстры отечественной энергетики, как «Русгидро» и «Интер РАО ЕЭС».

Другие «частники» занимают довольно узкую специализированную нишу. К примеру, ЗАО «Экомет-С» сфокусировано на вопросах обращения с твердыми радиоактивными отходами (ТРО), образующимися при эксплуатации предприятий ядерно-топливного и нефтегазового комплекса. Сейчас это единственное в стране специализированное предприятие по обращению с металлическими отходами, загрязненными радиоактивными веществами (МОЗРВ). На предприятии разработана собственная концепция обращения и технология переработки таких металлов. Технология позволяет вернуть большую часть загрязненного металла после его очистки в промышленность для повторного использования, а образующиеся вторичные радиоактивные отходы перевести в экологически безопасную форму. Помимо научной базы предприятие обладает собственными производственными мощностями по переработке низкоактивных ТРО – технологическим комплексом в Сосновом Бору.

Кстати, сфера обращения с РАО считается одной из самых перспективных для частного бизнеса. Специализируется на различных аспектах бэкэнда

сразу несколько негосударственных фирм – НПО «Сосны», ЗАО «Альянс-Гамма», Инженерный центр ядерных контейнеров и так далее.

Как правило, частный бизнес в атомной отрасли строится на разработке или производстве высокотехнологичной продукции. Например, предприятие «Пролог» – разработчик уникальных приборов и оборудования, предназначенного для решения сложных и нестандартных задач на предприятиях атомной промышленности. Продукция предприятия – это измерительные и мониторинговые системы, программное обеспечение, конструирование и изготовление специализированных механизмов для ремонтных операций внутри реактора, а также устройств дезактивации оборудования.

Многие из предприятий отрасли создавались на базе бывших советских научных и конструкторских организаций. Например, ООО «ЦКТИ-Вибросейсм» во времена СССР было лабораторией сейсмостойкости и динамической надежности энергетического оборудования АЭС и ТЭС в НПО ЦКТИ имени И. И. Ползунова. Фирма и сейчас не сменила профиль и специализируется на научно-исследовательской и инженерной работе по обеспечению безопасности атомных станций в России и странах СНГ.

И конечно, особая сфера участия частного бизнеса в атомной энергетике – строительство. Сейчас без частных подрядчиков не строится ни одна новая АЭС, не говоря уже о более мелких объектах.

#### **БОЛЬШЕ ЧАСТНИКОВ**

В целом анализ частного сектора показывает, что централизацию отрасли частники воспринимают по-разному. Тех, кто сумел заручиться контрактами, все в целом устраивает. Все-таки

сотрудничество с госкорпорацией – это стабильность, что немаловажно. Другие считают, что монополизм Росатома мешает развитию конкурентной среды и проникновению в отрасль частного бизнеса. Государство должно сосредоточиться на стратегическом планировании и контроле, а с работой в специализированных отраслях лучше справятся частные структуры, как более гибкие, экономные и нацеленные на результат структуры, говорят представители этого сегмента отрасли.

«Опыт зарубежных стран показывает, что при наличии эффективного и добросовестного контроля со стороны государства частные компании могут весьма успешно работать с РАО», – считает генеральный директор ЗАО «Экомет-С» Александр Гелбутовский.

Участники рынка также говорят об административных и экономических барьерах, мешающих развитию частного бизнеса. Среди них традиционно бюрократизация и несовершенство законодательства. Кроме того, атомные проекты, как правило, требуют больших стартовых капиталовложений. При этом сроки возврата инвестиций обычно небольшие, что останавливает многих частных инвесторов от участия в столь сложной отрасли. Особенно тех, у кого объемы собственных средств невысоки.

Как говорят игроки отрасли, для увеличения доли частного капитала в российской атомной энергетике необходимо смягчение условий участия в тендерах и создание системы квот для частных проектов. Кроме того, этому поспособствует увеличение объема госгарантий для компаний, участвующих в перспективных и общественно значимых проектах, развитие форм государственно-частного партнерства.



## ЧЬИ РУКИ ЛУЧШЕ?

Вопросы безопасности атомной индустрии были и остаются причиной спора о том, в чьих руках будет лучше мирному атому, в государственных или в частных – или в тех, что ныне считаются частными. Новый виток такие споры приобрели после аварии на АЭС «Фукусима», оператор которой – ТЕРСО – до происшествия был частной компанией. Примеры США и Франции показывают, что дело вовсе не в структуре собственности атомной энергетики.

Исторически атомная индустрия развивалась одновременно в нескольких государствах, различающихся по общественно-политическому устройству и по условиям развития. Одни страны – СССР, США, Франция, КНР, Индия и Великобритания – стремились к самодостаточности собственного ядерного топливного цикла (ЯТЦ). Другие – Швейцария, Финляндия, Швеция, Бельгия, Южная Корея, Мексика, ЮАР и Тайвань, а в последнее время и новые ядерные государства Ближнего и Среднего Востока – не планируют создание собственного ЯТЦ либо пришли к выводу о нецелесообразности его развития.

Разнообразие природных и социально-политических условий атомных государств отражается и на организации ЯТЦ – как с точки зрения полноты цикла, так и в части структуры

собственности. Однако атомная отрасль с самого рождения стояла особняком, так как приоритеты ядерной и радиационной безопасности в ней доминируют над всеми остальными, в том числе и над эффективностью. В результате по относительному числу тяжелых аварий различия между государственным и частным секторами практически не существует. Да и потенциальной опасностью обладает любое крупное производство, а не только «чувствительные» атомные предприятия.

К чему пришли разные государства, можно оценить на полярных примерах: США, экономика и идеология которых основаны на ценностях частного предпринимательства, и Франции, где живы республиканские идеи и никто не делает жупела из государственной собственности.

**СПРАВКА**

Интересный подход к частным инвестициям реализует Китай. Основу ядерного топливного цикла КНР составляют государственные холдинги, но власти не отказываются и от частного капитала, приток которого обеспечивается через размещение неконтрольных пакетов акций. В результате крупнейшие холдинги, как правило, пред-

ставлены на фондовом рынке – через дочерние подразделения. Так, урановая «дочка» гиганта China National Nuclear Corporation (CNNC), который контролирует основную часть гражданской и военной атомной отрасли КНР, в том числе исследования и разработки, проектирование, разведку и добычу урана, производство топлива, переработку и хранение

отходов, CNNC International, Ltd, – торгуется на Гонконгской бирже. А China General Nuclear Power Group (CGNPG) во второй половине текущего года планирует выйти сразу на две биржи – на Шанхайскую и Гонконгскую, выручив за акции около \$ 2 млрд. Еще одному крупнейшему государственному холдингу China Power Investment Corporation (CPI) принадлежит 54 ГВт ге-

нерирующих мощностей, в том числе 1,35 ГВт атомных. Частные инвестиции просачиваются в холдинг через множество его дочерних компаний, котирующихся на Гонконгской бирже. А акции China Huaneng Group (CHNG), которой частично принадлежит строящаяся АЭС «Чанцзян», прошли листинг не только в Шанхае и Гонконге, но и на американской NASDAQ.

**США: АТОМ ЧАСТНЫЙ И ФЕДЕРАЛЬНЫЙ**

Первый закон США об атомной энергии 1946 года исключал коммерческое применение ядерных технологий, хотя частные компании и присутствовали при рождении атомной индустрии в качестве подрядчиков государства и Министерства обороны США. Уже в 1954 году в этот закон внесли поправки, открывающие атомную отрасль для бизнеса. В стране возникли и выросли компании, строящие реакторы, а в крупных фирмах появились соответствующие проектно-конструкторские и даже исследовательские подразделения. Ныне, после внесения в закон поправок 1974 года, роль государства в атомной энергетике США в основном заключается в регулировании – этим занимается NRC, – и контроле, который осуществляет Министерство энергии (DOE). DOE также представляет государство как собственника ядерных материалов, в том числе и тепловыделяющих сборок. Корпорации – владельцы реакторов, частные или немногие федеральные, арендуют топливные сборки у DOE, а отработанные сборки возвращают на хранение государству. При этом государство, с одной стороны, несет расходы и риски, связанные с долговременным хранением ОЯТ и РАО, с другой – финан-

сирует это при участии операторов атомных электростанций.

После 1974 года началась масштабная приватизация атомной отрасли. В настоящее время частный бизнес доминирует практически во всех переделах ядерного топливного цикла. Исключений немного: это находящаяся в федеральной собственности Tennessee Valley Authority (TVA), которая строит реакторы и владеет АЭС, принадлежащие DOE комплексы «Саванна-Ривер» (Южная Каролина) и «Хэнфорд» (штат Вашингтон), а также геологическое захоронение под названием Waste Isolation Pilot Plant (WIPP). Причем, несмотря на то что комплекс «Саванна-Ривер» – предприятие, занимающееся хранением, дезактивацией и переработкой радиоактивных отходов, – находится в федеральном подчинении, все работы на площадке ведутся частной компанией-оператором Savannah River Nuclear Solutions, LLC, а жидкими отходами занимается корпорация URS.

Атомная отрасль – область больших цифр и масштабов. Ничего удивительного, что практически все бизнесы ядерного топливного цикла – это публичные частные корпорации, которые торгуются на бирже и предоставляют подробную и прозрачную отчетность, что облегчает им доступ

к кредитным ресурсам. Среди этих корпораций или их собственников немало транснациональных компаний (или их подразделений в США), в том числе принадлежащих другим государствам.

Итак: в США есть частные компании, добывающие урановую руду, перерабатывающие ее, изготавливающие топливные сборки, владеющие АЭС и реакторами, производящими изотопы для исследований и медицины. Частные корпорации даже управляют национальными исследовательскими лабораториями, где развивают атомные науки. Частный бизнес строит федеральные хранилища отработанного топлива и других радиоактивных отходов. Единственное их отличие от компаний из других сфер экономики – наличие лицензии NRC на практикуемый вид деятельности при условии строгого соблюдения ядерной и радиационной безопасности, а также коммерческих страховок против исков третьих лиц на случай возможных аварий.

Правительство США поддерживает частный атомный бизнес налоговыми послаблениями (на уровне штатов), кредитными гарантиями, экспортными кредитами и межгосударственными договорами, способствующими росту отраслевого экспорта, а также

масштабными дипломатическими трудами, направленными на расширение присутствия в мире атомной индустрии США.

Стоит выделить крупнейшие компании в каждом переделе ядерно-топливного цикла. Добыча урановой руды и производство гексафторида урана находятся в руках нескольких десятков негосударственных уранодобывающих корпораций. Крупнейшие из них: EFRC-Denison, которая через материнскую Energy Fuels отчасти контролируется южнокорейской Korea Electric Power Corporation; Strathmore Minerals, тоже принадлежащая канадской Energy Fuels; Uranium One – собственность российской госкорпорации «Росатом»; Cameco – американское подразделение Cameco Resources, Inc., крупнейшей в мире торгуемой на бирже уранодобывающей корпорации. Есть еще и пара десятков компаний поменьше.

Урановый концентрат, независимо от страны его происхождения, поступает на единственный в США конверсионный завод Honeywell Metropolis Works (MTW) на юге штата Иллинойс. Здесь оксид урана превращается в гексафторид. С 1968 года MTW из государственной собственности перешел в частную и ныне принадлежит транснациональному конгломерату Honeywell International, входящему в список ста крупнейших корпораций мира. Продукцию завода продает ConverDyne, партнерское объединение подразделений Honeywell и General Atomics.

Деконверсией обедненного урана занимаются компании Uranium Disposition Services (это совместное предприятие Areva, EnergySolutions и Burns & Roe), Babcock & Wilcox Conversion Services и одно из подразделений International Isotopes.

Интересное сочетание государственной и частной собственности – в сегменте обогащения. До недавнего времени единственным обогатительным предприятием был находящийся в федеральной собственности завод в Падьюке (штат Кентукки). Оператором завода выступала корпорация USEC, ведущий в стране поставщик ядерного топлива для коммерческих АЭС. Эта компания до 1998 года тоже принадлежала государству, но затем была приватизирована через размещение акций на бирже. Однако ориентация на рынок для USEC пока оказалась провальной: в мае 2013 года компания объявила, что вынуждена прекратить обогащение урана в Падьюке – сейчас завод остановлен и демонтируется, – а в январе 2014 года суд по банкротствам округа Делавэр получил ее прошение о признании банкротом.

Впрочем, США не препятствуют приходу в обогатительный сектор даже иностранных компаний. Так, компания URENCO построила новый завод в штате Нью-Мексико. Владельцем завода является консорциум Louisiana Energy Services (LES), в который помимо URENCO входят американские Exelon, Duke Power, Entergy и Westinghouse. Свой завод на территории США строила и французская Areva, однако в 2009 году строительство было заморожено. Компания Global Laser Enrichment (GLE) – консорциум General Electric, Hitachi и Cameco – предполагает построить один или два завода. Прорабатывается и технико-экономическое обоснование предложения российского «Техснабэкспорта» построить в США завод по технологии центрифужного разделения.

Производство ядерного топлива тоже находится в руках частных компаний. В США пять заводов по производству порошка для топливных стержней

## КОНГЛОМЕРАТ AREVA

**Areva NP** – производство топлива

**Areva Resources Canada, Areva NC Australia Pty, COGEOBI, Uramin, Somair, Cominak, Katco** – добыча природного урана  
**Comurhex** – конверсия урана  
**Eurodif, ETC** – обогащение урана по газодиффузионной и по центрифужной технологии  
**CERCA** – производство топлива для исследовательских реакторов  
**Transnuclear Tokyo, TN International** – перевозка и хранение радиоактивных материалов

**STMI, Socatri** – управление РАО, сухое хранение, вывод из эксплуатации и очистка территорий  
**Somanu** – транспортировка, дезактивация и демонтаж оборудования

**Socodei** – рециклирование радиоактивных материалов

**Areva NP Saint Marcel** – производство крупных компонентов реакторного оборудования

**Sfarsteel** – группа заводов тяжелого машиностроения

**JSPM** – изготовление насосов, в том числе ГЦН, приводов регулирующих сборок, сервис

**Mecachimie** – производство радиационно-защитного оборудования

**Megagest** – изготовление компонентов ядерного оборудования из специальных сплавов

**Cezus** – производство циркония и изготовление циркониевых компонентов реактора

**MSIS** – производство и обслуживание дозиметрической аппаратуры

**Pantechnik** – производство источников радиационного излучения для ускорителей

**Canberra France S. A. S.** – производство инструментальной техники и услуг

из обогащенного оксида урана. Основными игроками в этом сегменте являются B & W Nuclear Operations Group, Areva, Global Nuclear Fuel-Americas, Nuclear Fuel Services, Westinghouse. Также в Южной Каролине под руководством Areva строится завод по производству MOX-топлива (Shaw Areva MOX Services).

В число основных корпораций – операторов АЭС входят Duke Energy, Exelon, Xcel Energy, NextEra Energy Resources, NRG Energy и Energy Future Holdings. Единственная белая ворона в этом сегменте – уже упомянутая выше государственная TVA.

Переработка и хранение отработанного ядерного топлива охватывается за DOE, то есть за государством. Основной объект в этом сегменте – H-Canyon – находится в федеральном подчинении и располагается на площадке комплекса «Саванна-Ривер». Однако другой сегмент бэкэнда – вывод ядерных объектов из эксплуатации – сфера частного бизнеса, причем перспективная и растущая на фоне недавнего закрытия нескольких АЭС из-за нерентабельности. Крупнейшие игроки в сфере вывода из эксплуатации – UniFirst и ее подразделение UniTech, Environmental Initiatives, CH2M HILL, Veolia Environmental Services и другие.

#### **ФРАНЦИЯ: МЕСТА ХВАТАЕТ ВСЕМ**

В основе французской атомной отрасли – государственная собственность на ядерные материалы и объекты. Поэтому предприятия, находящиеся в государственной собственности или контролируемые государством, доминируют на всех переделах ядерного топливного цикла. Главный правительственный орган – Комиссариат по атомной энергии (Commissariat à l'Énergie Atomique, CEA) – с самого дня основания в 1945 году руководит, помимо прочего, гражданской и во-

енной атомными программами и исследованиями.

Исторически во Франции национализация и приватизация последовательно сменяли друг друга. Последняя крупная волна национализации происходила в 1980-х годах, но на волне охватившей мир неоллиберальной эйфории с 1986 года пошел обратный процесс приватизации, чаще – путем выкупа небольших предприятий их администрацией и персоналом. Однако атомную отрасль приватизация практически не затронула. «Любимое дитя Франции», государственная атомная индустрия пользуется полной поддержкой правительства во всех формах: это и прямые субсидии, и экспортные кредиты, и налоговые льготы.

Но в атомной отрасли Франции хватает и негосударственных предприятий. Исторически цепочки поставок сформировались так, что места в атомной индустрии хватает и частному бизнесу – как национальному, так и транснациональному. Надо сказать, что всего во Франции существует 2,5 тыс. компаний, так или иначе задействованных в ядерно-топливном цикле. Все они в конечном счете обслуживают то или иное подразделение Areva, EDF и какую-либо структуру или объект в подчинении Комиссариата по атомной энергии.

Всеми французскими АЭС оперирует EDF, которая, впрочем, уже давно переросла национальные масштабы и имеет подразделения практически на всех континентах. После приватизации части акций EDF в 2004 году правительство Франции сохраняет квалифицированное большинство в компании (85 % капитала).

Главная часть атомной индустрии страны – государственный конгломерат Areva SA (Société anonyme), об-

разованный в результате слияния в 1976–2001 годах подразделения CEA – CEA-Industrie, – занимавшегося производством атомного оборудования, а также компаний Framatome (ныне Areva NP), Cogema (Areva NC) и Technicatome (Areva TA). В настоящее время французскому правительству напрямую принадлежит 21,7 % акций Areva, CEA – 61,5 %. Примечательно, что из числа остальных основных акционеров, среди которых есть и EDF, и Total, самая крупная доля – порядка 5 % – у кувейтского суверенного инвестфонда Kuwait Investment Authority. Еще примерно 4 % акций Areva обращается на бирже.

Areva – одна из немногих корпораций, занимающих ведущие позиции на всех стадиях ядерного топливного цикла: добыча, переработка, обогащение, производство и переработка топливных сборок, строительство энергетических установок и реакторов, а также их демонтаж; хранение и переработка ядерных отходов, а также их иммобилизация. Таким образом, французское государство напрямую либо через свои структуры, в том числе и коммерческие, полностью и комплексно контролирует собственную атомную отрасль и связанные с нею исследования, а также отдельные части ядерного топливного цикла других стран.

Однако устойчивость французской атомной отрасли обеспечивают не только гиганты, принадлежащие государству или контролируемые им. Множество компаний сектора принадлежат семейным финансово-промышленным группам или многонациональным компаниям. Наиболее типичным примером такой компании служит группа Bernard Controls, выросшая из семейного предприятия и ныне имеющая производственные подразделения на всех континентах. Электроприводами и автоматикой

Bernard Controls оснащены или будут оснащены все 58 реакторов Франции, а также строящиеся реакторы EPR (во Фламманвилле, в Олкилуото и на АЭС «Тайшань») и все 42 китайских CRP600/1000.

Еще один пример такого рода – подразделения семейной Groupe Gorge: компания NucleAction занимается всеми видами изолирующих и экранирующих излучение стен, секций, разделительных переборок на атомных объектах, а компания Baumert, помимо прочего, производит все виды технических дверей на атомных объектах и сейсмостойкие металлоконструкции.

Многие в прошлом чисто французские компании открыли свои подразделения за рубежом. Другие в результате слияний, поглощений и реструктуризаций стали подразделениями крупных транснациональных компаний. Но связи с французской атомной отраслью не утратили ни те ни эти. Так, основанная в 1891 году лотарингская угольная компания выросла в транснациональную группу Mersen, которая и по сей день занимает ведущее место в производстве графитовых материалов для футеровки реакторов и для производства замедлителей, а также блочных графитовых теплообменников для каждого этапа ядерных превращений.

Или возьмем компании из французского подразделения транснациональной Nuvia (это часть группы Soletanche Freyssinet, входящей в могущественную промышленную группу Vinci). Они связаны практически со всеми переделами ядерного топливного цикла Франции. Nuvia Travaux Spéciaux, например, время от времени меняет названия в связи с множеством пережитых ею корпоративных изменений. Тем не менее это все та же компания, которая вот

уже 50 лет строит реакторы для EDF. Также компания выполняет работы, необходимые для продления срока эксплуатации реакторов: укрепление и замену конструкций, герметизацию и различные ремонты. Кроме того, Nuvia Travaux Spéciaux в качестве генподрядчика занимается сносом старых реакторов по всему миру, от подготовки проекта до разравнивания грунта.

Компания Salvarem 30 лет работает на всех этапах вывода объекта из эксплуатации, от составления проекта до его реализации, рука об руку с ядерными операторами на таких знаменитых объектах, как «Ла-Аг», «Кадараш», «Маркуль», «Вальдюк», «Фонтене-О-Роз», «Моронвийе» и других. Компания обучает собственный персонал, который справляется с задачами любой стадии проекта. Кроме того, Salvarem обеспечивает услуги по управлению РАО, проводит очистку от радиоактивных загрязнений всех видов поверхностей. Некоторые виды операций очень опасны, поэтому в Salvarem разрабатывают и производят дистанционно управляемое оборудование и устройства, которые могут работать на участках с очень высокими радиационными дозами.

Vtaso занимается производством и установкой систем и датчиков пожарной и радиационной сигнализации на АЭС EDF, а также на заводах Areva (Centraco, Comurhex) и на объектах CEA («Кадараш», «Маркуль», «Ла-Аг», «Ле Барп» и «Вальдюк»). Радиологическими инспекциями от имени французского Управления по атомной безопасности занимается Essor.

Если заходит речь о герметизации и защите оборудования, то на любом из атомных объектов Франции, военном или гражданском, вы встретите продукцию и услуги Mecatiss.

Основная специальность Essor – радиологические инспекции, ядерные измерения и управление радиоактивными отходами. Компания занимается радиационным контролем маршрутов персонала и транспорта, отвечает за получение радиационных характеристик помещений и цехов атомных объектов, контролирует источники радиации, а также занимается организацией входа и выхода с объектов и на объекты персонала и транспорта. Компания уполномочена проводить инспекции по радиационной защите от имени французского Управления по атомной безопасности.

Также Essor занимается радиационной очисткой предприятий, оборудования, бассейнов, а также зданий атомных объектов, предназначенных к сносу. У Essor имеются цеха для герметизации, упаковки, вывоза и хранения РАО, а также для обработки радиоактивных вод и шлаков.

Mecatiss работает во Франции и по всему миру, в гражданской и военной атомной отрасли. Компания занимается проектированием и установкой на атомных объектах противопожарных систем, герметизирующих систем, защищающих оборудование и кабели от огня и воды, а также радиационной защитой персонала.

Не секрет, что Франция – страна бюрократов и сильных профсоюзов. Здесь ведение дел и документации по безопасности производства и защите труда составило целую отрасль права. Компания Millenium помогает атомным операторам со всеми объемами документации по безопасности, от персонального инструктирования до планов внутренней безопасности, делает расчеты критичности и радиационной защиты. Также компания выполняет работы по выводу из эксплуатации.



## ДОРОГАЯ РОЗНИЦА

Росатом идет на розничный рынок электроэнергии: «Атомэнергосбыт» выиграл конкурс на получение статуса гарантирующего поставщика в Курской и Тверской областях. Непременным условием участия в конкурсе было обязательство победителя частично погасить долги предыдущего владельца этого статуса, а это порядка 2 млрд рублей по обеим областям. Оправданы ли эти расходы на фоне того, что в отрасли все больше говорят о падении привлекательности сбытового бизнеса? Мы решили разобраться, как устроен розничный рынок электроэнергии в РФ.

Госкорпорация «Росатом» давно присматривается к энергосбытовому бизнесу. Этот пункт в виде более общего понятия «развитие неатомных бизнесов» даже попал в перечень из восьми стратегических инициатив госкорпорации, принятых в 2010 году. В разное время в СМИ просачивалась информация о переговорах атомщиков то с одним инвестором энергосбытового сегмента, то с другим. Однако до приобретений так и не дошло, и стало казаться, что Росатом вообще решил отказаться от этой идеи.

Новый шанс появился с неожиданной стороны. С февраля по октябрь прошлого года 13 организаций из-за долгов лишились статуса гарантирующего поставщика (ГП) электроэнергии в своих регионах. Таким образом, место основной энергосбытовой компании в каждом регионе

стало вакантным. Уже в конце года Минэнерго провело конкурсы на замещение этой «должности», а в начале 2014 года стало известно о том, что структура Росатома – «Атомэнергосбыт» – стала победителем конкурсов в Тверской и Курской областях. Примечательно, что получить этот статус «Атомэнергосбыту» удалось лишь со второй попытки, несмотря на то что других претендентов не было. Дело в том, что сначала Минэнерго дисквалифицировало энергосбытовую компанию атомщиков из-за выявленной аффилированности с деятельностью по передаче электроэнергии. При повторном объявлении конкурса таких претензий у министерства не возникло – видимо, от сетей или сетевых «дочек» удалось избавиться.

Судя по последним новостям, «Атомэнергосбыт» претендует на получение

**КРАХ «ЭНЕРГОСТРИМА»**

Большинство энергосбытовых компаний, лишенных статуса в 2013 году, были из холдинга «Энергострим». История крупнейшей частной сбытовой компании «Энергострим» продемонстрировала все уязвимости отечественной системы электроэнергетики. Компания продавала каждый десятый киловатт энергии в 16 регионах России. Холдинг, объединяющий 22 сбытовые компании с выручкой в 170 млрд рублей, по мнению экспертов, погубила агрессивная скупка активов и вывод средств в офшоры. Деятельность руководства компании сейчас расследуют правоохранительные органы России и Германии. Среди кредиторов холдинга «Энергострим» – крупнейшие энергокомпании страны и Сбербанк. Сумма задолженности, по некоторым оценкам, достигает 60 млрд рублей.

Во времена реорганизации РАО «ЕЭС России» и приватизации его активов совладельцы группы компаний «Оптима» поняли, что сбытовой бизнес предполагает большой оборот средств, и решили сформировать компанию в этой сфере. Гендиректором нового холдинга стал бывший начальник одного из департаментов РАО ЕЭС Юрий Желябовский.

Холдинг создавался по принципу пирамиды. После покупки первых сбытовых компаний собираемые с потребителей средства направлялись на скупку новых активов. Все сделки проводились по сложным схемам через аффилированные компании. Подконтрольные «Энергостриму» доли находились в постоянном движении, меняли собственников и перепродавались от одной фирмы другой. По данным, которые приводит

журнал Forbes, суммы сделок были то в несколько раз ниже рыночных цен, то в несколько раз выше.

Холдинг щедро тратился на имиджевую составляющую: покупал спортивные клубы, выделял огромные (и неоправданные, по мнению экспертов) суммы на управленческие расходы. При этом, как пишет издание, как только сбытовая компания входила в «Энергострим», она обзаводилась долгами.

Схемы финансовой деятельности холдинга чрезвычайно запутанны. Компании брали кредиты в банках, занимали деньги друг у друга, перепродавали долги офшорам. При этом офшорные партнеры расплатиться по условиям сделки должны только в 2020 году. Таким образом, получить долги с входящих в «Энергострим» компаний-

заемщиков было невозможно – имущества нет, деньги из-за границы поступят через несколько лет. В цепочках финансовых схем холдинга было задействовано множество фирм-однодневок.

Деятельность «Энергострима» в конце концов вызвала критику тогда еще премьер-министра РФ Владимира Путина. После публичного порицания со стороны руководства страны дела холдинга стремительно покатались вниз. Банки-кредиторы стали требовать досрочного погашения займов и отказываться выдавать новые, росли долги перед генерирующими и сетевыми компаниями. В итоге была возбуждена серия уголовных дел. Несколько топ-менеджеров компании было задержано, часть руководства сейчас находится в международном розыске и скрывается за границей.

статуса гарантирующего поставщика и в Смоленской области. Непременным условием участия в конкурсе является обязательство победителя расплатиться с долгами предыдущего владельца этого статуса. Тендеры проходят по голландской системе, в пять этапов: если на первом этапе претенденту предлагается погасить 100% долгов, то на втором – уже 80% и так далее. По факту Росатом заплатит кредиторам «Курскрегионэнергосбыта» 650 млн рублей, «Тверьэнергосбыта» – 1,2 млрд рублей. Таким образом, выход на розничный рынок – а в обоих регионах доли ГП на рынке выше 50% – обойдется Росатому в сумму порядка 2 млрд рублей (победа в Смоленской области добавит еще 900 млн рублей). Это меньше,

чем суммы, в которые оценивались энергосбытовые компании в ходе М & А-активности в 2008–2011 годах. Но и условия работы энергосбытовых компаний раньше были иными. Если прежде генераторы-продавцы оптового рынка, к которым относятся и АЭС, стремились в розницу ради получения доступа к конечной цепочке формирования добавленной стоимости, то теперь производители энергии участвуют в конкурсах, чтобы избежать неплатежей в регионах присутствия.

**КАК УСТРОЕН РОЗНИЧНЫЙ РЫНОК**

На розничном рынке перепродается и распределяется электроэнергия, закупленная на оптовом рынке. Формально субъектами розницы по-

мимо непосредственных потребителей – мелких и средних – являются сбытовые компании, а также сетевые организации, которые физически распределяют и доставляют электричество. Энергосбытовые компании непосредственно в технологической цепочке передачи энергии потребителю не участвуют. Но они исполняют главную роль в обратном направленном потоке – финансовом. Сбытовики закупают энергию преимущественно на оптовом рынке, собирают деньги с потребителей и направляют их производителям, а также оплачивают услуги сетей. Сбытовые компании обязаны обеспечить своевременный сбор средств за потребленную энергию, к их задачам относится взыскание задолженностей и работа

## КОММЕНТАРИЙ ЭКСПЕРТА



**АНДРЕЙ ПОЛОЗОВ,** заместитель директора департамента энергосбыта и коммерческого диспетчирования, руководитель управления перспективного планирования и реформирования рынка ОАО «Концерн Росэнергоатом»:

«Для нас тема розничного рынка и особенно тех новаций и изменений, которые происходят на розничном рынке, очень актуальна. Именно на рознице формируются все основные процессы, которые связаны с платежной дисциплиной, формированием графиков потребления, которые потом транслируются че-

рез гарантирующих поставщиков либо энергосбытовые компании на оптовый рынок. Соответственно, именно в части платежной дисциплины мы столкнулись в последнее время с проблемами, которые связаны с правильностью трансляции денежных потоков от конечного потребителя до атомных станций, а также с уводом их в офшорные зоны рядом недобросовестных компаний. Все эти проблемы непосредственно влияют на финансовую устойчивость гарантирующих поставщиков и поведенческую модель энергосбытовых компаний. А это наши контрагенты, с которыми мы работаем на оптовом рынке, и нам необходимо понимать процессы, которые происходят.

Также планируется расширение присутствия концерна на розничном рынке, так как при выходе генерирующей компании на розничный рынок через дочернее предприятие происходит получение маржи от продажи на оптовом

рынке и плюс получение маржи от продажи того же самого товара, но уже в рознице. Также это выстраивает некую вертикально интегрированную компанию, которая дает возможность контролировать денежные потоки, чтобы они проходили вертикально от конечного потребителя до производителя.

Почему это происходит не так быстро, как хотелось бы, – на это есть целый ряд причин, как объективных, так и субъективных. Но вопрос заключается в том, что первым этапом для себя мы поставили построение такой цепи в отношении предприятий, которые входят в контур госкорпорации. Вторая часть – это нахождение клиентской базы, которая будет представлена из портфелей потребителей, не входящих в атомную отрасль. Для этого необходимы средства и время. Регистрация ГП за отдельными потребителями занимает продолжительный срок, порядка года. Поэтому процесс происходит так

медленно. Но в наших планах стоит расширение клиентской базы.

Процесс либерализации отношений на розничном рынке с точки зрения возможности быстрого перехода потребителя от одной энергосбытовой компании к другой и особенно от гарантирующего поставщика к энергосбытовой компании, конкуренция энергосбытовых компаний между собой – как мне кажется, все это пока находится в начальной стадии.

Должен пройти еще определенный процесс, как по времени, так и по изменению нормативно-правовых документов, чтобы этот процесс был облегчен и происходил как в европейских странах, в течение короткого времени, которое исчисляется часами и днями. У нас сейчас это, к сожалению, исчисляется месяцами и годами. Движение есть, но оно должно быть эволюционным, а не революционным».

с конечными потребителями. Несмотря на то что сами они ничего не производят, финансовые риски неплатежей ложатся в первую очередь на эти организации. За редким исключением сбытовики не владеют никакими крупными физическими активами. Их актив – клиентская база.

Энергосбытовые компании по статусу делятся на гарантирующих поставщиков и независимые энергосбытовые организации. Гарантирующий поставщик работает на конкретной отведенной ему территории и в зоне своей деятельности обязан заключить

договор с любым, кто к нему обратится. Условия этих договоров, а также порядок ценообразования регламентируются государством. Независимые энергосбытовые компании отличаются от гарантирующих поставщиков тем, что не обязаны заключать договоры с любым потребителем. По сложившейся практике такие организации оказывают услуги более крупным потребителям, работать с которыми выгоднее, чем с мелкими.

Население покупает электроэнергию по регулируемому тарифу (соответствующий объем ГП закупает у гене-

раторов на оптовом рынке, также по регулируемой цене); остальные потребители – по рыночной цене (свободная цена оптового рынка плюс расходы на передачу и платежи инфраструктурным организациям). При этом у гарантирующего поставщика предельный уровень нерегулируемых цен ограничен, у независимых энергосбытов – нет.

**ЗАЧЕМ РОСАТОМУ РОЗНИЦА?**

«Розница – это контроль над денежными потоками. Это живые деньги, которые от потребителей сразу идут к генерирующей компании, ми-

ную перепродавцов», – поясняет заместитель начальника отдела департамента развития электроэнергетики Минэнерго Андрей Максимов. «Второе – это выстраивание долгосрочных отношений с потребителем. Это позволяет «Росэнергоатому» как крупнейшему производителю заключать в том числе долгосрочные договоры с потребителями. Делать это через посредников всегда проблематично», – добавляет он.

«Здесь есть эффект синергии, – вторит ему зампреда правления по юридическим вопросам НП гарантирующих поставщиков и энергосбытовых компаний Рустам Гайфутдинов. – Если посмотреть на другие крупные государственные компании в электроэнергетике, то вы обратите внимание, что в своей структуре они имеют и производственные активы в виде генерирующих объектов, то есть крупных оптовых поставщиков, и сбытовые компании, которые приобретают на оптовом рынке и реализуют на розничных рынках».

«Что может дать сбыт крупному оптовому поставщику? Прежде всего, это своя компания, которая собирает деньги с потребителей, а значит, повышается прозрачность ее деятельности. Кроме того, сбытовые компании имеют возможность дополнительно зарабатывать на розничных рынках. Не только на продаже электроэнергии, но и на энергосервисе, продаже средств учета, иных электротехнических товаров и так далее. Есть еще дополнительные виды бизнеса, которые могут принести синергетический эффект и, соответственно, повысить прибыль производственного холдинга», – рассуждает эксперт. «То есть интерес в том, что крупная генерирующая компания получает своего, понятного агента, который будет добросовестно перед ней отвечать и, более того, развивать дополнительные

виды бизнеса, которые позволят дополнительно в целом зарабатывать холдингу», – заключает представитель НП ГП и ЭСК.

#### НЕПОПУЛЯРНЫЕ ГАРАНТИИ

На старте реформы российской электроэнергетики энергосбытовой бизнес был отнесен к конкурентным видам бизнеса. Но конкуренция между компаниями с одним собственником невозможна, поэтому в 2007–2008 годах РАО ЕЭС устроило распродажу энергосбытов. Почти на все компании покупатели нашлись, в ряде случаев итоговая цена продажи на аукционах в несколько раз превысила стартовую. Круг претендентов был широкий, покупателями выступили как генерирующие компании («Русгидро»), акционеры генкомпаний («КЭС-холдинг»), так и крупные потребители электроэнергии (НЛМК, «Мечел»), независимые энергосбытовые компании («Транснефтьсервис С», «Роскоммунэнерго»), а также близкие к региональным властям структуры. Отчего же сейчас, спустя шесть-семь лет, некоторые ГП вылетели с рынка, а вокруг конкурсов на замещение их статуса нет такого ажиотажа и интерес вызывают лишь регионы с большим количеством крупных потребителей?

Дело в том, что после ряда скандалов и закручивания гаек ГП оказались лишены многих возможностей. Главным ударом стала отмена выставления цен исходя из дифференциации потребителей по ЧЧИМ. Эта звучная аббревиатура, расшифровывающаяся как число часов использования мощности, позволяла энергосбытам получать дополнительный доход – сверх регулируемой государством сбытовой надбавки. Система ЧЧИ поощряла более равномерное потребление электроэнергии и, напротив, позволяла «сбытам» увеличивать взимаемую плату, если потребление кли-

ента менялось скачкообразно: такая неравномерность достаточно негативно сказывается на энергосистеме. С 2012 года прибыль ГП формируется исключительно сбытовой надбавкой, и энергосбытовой бизнес потерял былую привлекательность. Лишенный нерегулируемых доходов посреднический бизнес, который полностью зависит от решений регулятора, современным менеджерам не кажется интересным.

При этом фундаментальные проблемы розничного рынка, существовавшие еще на старте реформы электроэнергетики, сохраняются. Конкурентная среда в этом сегменте так и не сложилась. По факту компании борются только за крупных потребителей. За население конкуренции нет. Тенденция такова, что гарантирующие поставщики продают основные объемы, хотя изначально предполагалось, что их роль не будет преобладающей.

«Вопрос о полноценной конкуренции на розничных рынках, создание которой ставилось как одна из целей при реформировании РАО, все еще остается», – констатирует А. Максимов из Минэнерго. И хотя отсутствие конкуренции на уровне цены электроэнергии на рознице не называется – ГП жестко зарегулированы, – качество обслуживания клиентов оставляет желать лучшего. «Действительно, большая часть розницы сейчас – это гарантирующие поставщики, для которых законодательно определена жесткая система ценообразования. Те цены, которые они выставляют потребителям, минимально возможные. Цена генерации плюс цена сетей плюс бытовая надбавка, которая регулируется. Нет возможности дополнительно что-то на это накрутить. Поэтому с точки зрения цены потребитель и сейчас получает наименьшую цену из

возможных, – рассказывает представитель Минэнерго. – С точки зрения качества, безусловно, есть нарекания из-за того, что существует некий монополизм со стороны ГП. Качество пока повышаем чисто административными методами. В частности, мы обязали гарантирующих поставщиков разработать и внедрить стандарты качества обслуживания потребителей».

Конкуренция на розничном рынке электроэнергии так или иначе состоялась, но не для всех групп потребителей, считает Р. Гайфутдинов. «У нас были упрощены летом 2012 года условия ухода от гарантирующих поставщиков, – поясняет эксперт свою точку зрения. – Если раньше можно было уйти, по сути, раз в год, до формирования балансовых решений, то сейчас эти балансовые решения формируются четыре раза в год, и раз в квартал можно покидать гарантирующего поставщика. На розничных рынках потребители могут переходить между компаниями – это факт». Другое дело, что сейчас сбытовые компании не могут предложить более привлекательных условий, чем гарантирующие поставщики, снижение цены возможно лишь для отдельных крупных потребителей.

«Дальнейшее развитие конкуренции на розничном рынке сдерживается существующей моделью оптового рынка. Механизм его функционирования сейчас таков, что ни поставщикам, ни покупателям не выгодно заключать на оптовом рынке долгосрочные двусторонние договоры купли-продажи электроэнергии с фиксированной ценой, которые являются основным инструментом торговли на развитых энергорынках. В результате ни гарантирующие поставщики, ни сбытовые компании не могут предложить розничным потребителям стабильные долгосрочные усло-



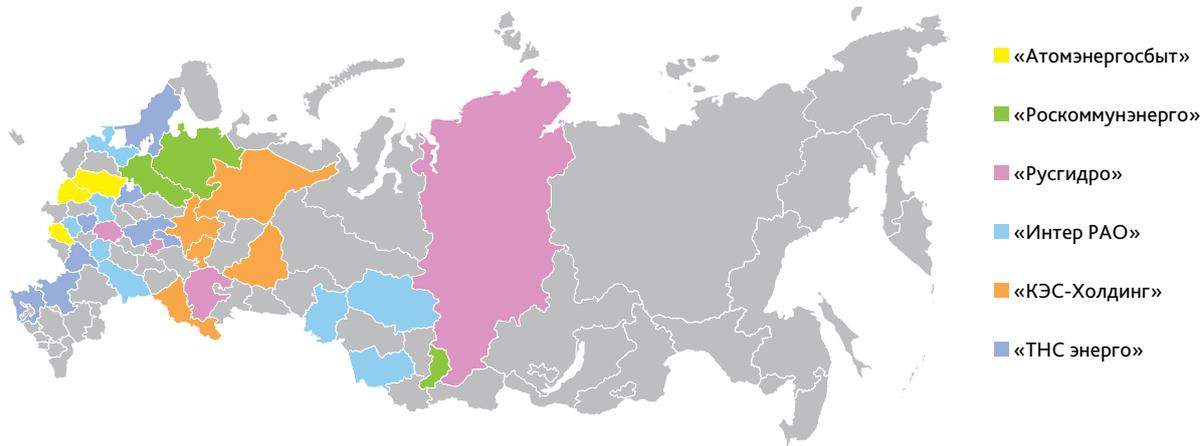
вия обслуживания по более привлекательным ценам, чем они сложились на спотовом рынке. Таким образом, пока модель оптового рынка связывает участников, и дальнейшее развитие конкуренции невозможно без изменения правил работы оптового рынка», – заключает эксперт.

Еще одной существенной проблемой розницы являются неплатежи потребителей. Так, по данным НП «Совет рынка», по состоянию на декабрь 2013 года задолженность потребителей розничного рынка перед энерго-сбытовыми компаниями и гарантирующими поставщиками составляла 164,5 млрд рублей. В свою очередь, «сбыты» задолжали продавцам на оптовом рынке 71,1 млрд рублей (с учетом просроченной задолженности). Партнерство обращает внимание, что значительная часть долгов на рознич-

ном рынке приходится на долю тех потребителей, которых по действующим нормам невозможно отключить, так как ограничение их энергоснабжения может привести к экономическим, экологическим или социальным последствиям.

Для улучшения платежной дисциплины был разработан проект поправок в действующую нормативную базу, которые предусматривают установление пени за несвоевременную или неполную оплату электроэнергии, а также ужесточение ответственности за самовольное подключение к сети. В декабре 2013 года Госдума приняла поправки в первом чтении. Минэнерго при участии «Совета рынка» продолжает работу над дополнительными предложениями, направленными на повышение платежной дисциплины, сообщает партнерство.

## ОСНОВНЫЕ ВЛАДЕЛЬЦЫ «СБЫТОВ» И ИХ ГЕОГРАФИЯ



Энергосбытовыми компаниями обзавелись почти все крупные генерирующие компании. Так, «Русгидро» владеет «Красноярскэнергосбытом», Рязанской и Чувашской энергосбытовыми компаниями, а также сбытовой структурой в Башкирии. Доля этих компаний на региональном рынке по итогам 2012 года составляла 46 %, 62 %, 70 % и 91 % соответственно. «Интер РАО» контролирует «Мосэнерго-сбыт», Петербургскую сбытовую компанию, Тамбовский, Саратовский, Томский, Алтайский «сбыты». А недавно энергохолдинг получил статус ГП еще в двух регионах – Орловской и Омской областях. Также три компании группы «Интер РАО» – «РН-Энерго», «Промышленная энергетика», «РТ-Энерготрейд» – осуществляют сбыт для крупных промышленных потребителей электроэнергии. Энергосбытовые компании холдинга обслуживали по итогам 2012 года 10,5 млн клиентов, а их доля на рынке РФ, если считать от объема физическо-

го потребления электроэнергии, оценивалась примерно в 15 %. «КЭС-холдинг» Виктора Вексельберга, который владеет сразу несколькими территориальными генкомпаниями, контролирует и энергосбыты в регионах присутствия: «Оренбургэнергосбыт», «Свердловэнергосбыт», «Кировэнергосбыт», Коми энергосбытовую компанию, Удмуртскую энергосбытовую компанию. Энергосбыты КЭС обслуживали более 3,5 млн физических лиц, а полезный отпуск составлял порядка 40 млрд кВт·ч. Другим крупным игроком на розничном рынке является ОАО «ТНС энерго» (до переименования в 2012 году компания называлась «Транснефтьсервис С»). Холдинг управляет восьмью «сбытами» в восьми регионах страны: Воронежской энергосбытовой компанией, Карельской энергосбытовой компанией, «Кубаньэнергосбытом», «Маризэнергосбытом», Нижегородской сбытовой компанией, Тульской энергосбытовой компанией,

«Энергосбытом Ростовэнерго», Ярославской сбытовой компанией. По оценкам «ТНС энерго», управляемые компанией «сбыты» обеспечивают электроэнергией более 16 млн человек, то есть свыше 10 % населения России. До изменения правил игры на розничном рынке «сбыты» «ТНС энерго» были одними из самых рентабельных. Еще одним крупным энергосбытовым холдингом в период распродажи «сбытов» РАО ЕЭС обещало стать «Роскоммунэнерго», которое приобрело Архангельскую сбытовую компанию, «Хакасэнергосбыт», Вологодскую сбытовую компанию. Однако позднее оказалось, что развитие бизнеса этой компании идет, судя по сообщениям в СМИ, по сценарию «Энергострима»: покупка акций на деньги самих «сбытов», в том числе заемных, а также долги перед производителями электроэнергии и сетевыми компаниями. У разных игроков разные стратегии и мотивы присутствия на розничном рынке. «Транснефтьсервис С»

через покупку сбытовых компаний минимизировал затраты выхода на розницу и использует эффект масштаба для более грамотной торговли на оптовом рынке электроэнергии. Собственник заинтересован в увеличении финансовой устойчивости и эффективности операционной деятельности подконтрольных сбытов. Генераторы ищут синергии с основным бизнесом. Например, «сбыты» КЭС в свое время предлагали покупателям контракты с фиксированной ценой на срок от года, взимая с них на пару процентов больше за риск изменения цены и хеджируя те же риски через аналогичные контракты с генерацией холдинга. «Русгидро» стремится к увеличению доходности через создание вертикальной интеграции: по собственным оценкам, теряет до 7–8 % валовой выручки, не доходя до конечного потребителя. Кроме того, покупая энергосбытовую компанию, «Русгидро» получает гарантированного потребителя электроэнергии.



## ЛИ-ИОН: ДОРОГО, РИСКОВАННО, ПЕРСПЕКТИВНО

Трансконтинентальный лайнер, автомобиль, не требующий заправки бензином, морской паром, мобильный телефон, вертолет – все эти непохожие на первый взгляд устройства объединяют литий-ионные батареи. В то время как предыдущее поколение аккумуляторов практически исчерпало максимум своих возможностей, литий-ионные технологии находятся лишь на старте реализации потенциала и повсеместного промышленного внедрения. Впрочем, как это часто бывает на старте, внедрение не обходится без проблем.

С того самого момента, когда человечество научилось использовать электрическую энергию, одним из самых насущных вопросов стал поиск возможностей для ее хранения. Несмотря на это, прогресс в технологиях производства электричества явно опережал развитие всевозможных аккумуляторов. Такая ситуация сохранялась на протяжении практически всего XX века, и принципиальный рывок в технологии хранения электричества произошел лишь в 1990-х годах, с появлением литий-ионных технологий.

Литий-ионные батареи основаны на выдающихся электрохимических свойствах лития, одного из самых активных металлов. Эти свойства дают возможность создавать на его основе аккумуляторы с очень высокой плотностью энергии при небольших размерах и массе. Вторичные источники энергии на основе лития имеют самое высокое разрядное напряжение и емкость. Но в чистом виде эле-

мент крайне активен и не может быть использован в качестве электродного материала, поэтому в электротехнике применяются безопасные соединения лития. Благодаря свойствам лития литий-ионные аккумуляторы вдвое превосходят никель-металлогидридные аналоги по емкости и почти в три раза – по удельной мощности и плотности энергии. Большой ресурс, широкий температурный диапазон использования – от минус 40 до плюс 50 °С – и низкий саморазряд – 2–5% в месяц – не оставляют шансов для их никель-кадмиевых и никель-металлогидридных конкурентов.

Литий-ионные аккумуляторы изначально предназначались для использования в современной бытовой электронной технике. Это основной тип батарей в таких устройствах, как сотовые телефоны, ноутбуки, цифровые фотоаппараты. Однако постепенно область применения батарей значительно расширилась. Характеристи-



*В Boeing 787 Dreamliner впервые в авиастроении были применены литий-ионные батареи вместо традиционных кадмиевых*

ки литий-ионных батарей позволяют широко применять их на электро-транспорте, а также в качестве основного источника питания для гибридных автомобилей и электромобилей. Они также могут служить в качестве мобильных аварийных источников питания, размещенных на грузовом автотранспорте, источников бесперебойного питания для особо важных объектов, таких как метрополитены, аэропорты, железные дороги, больницы, центры хранения данных. Помимо этого, благодаря своим уникальным характеристикам литий-ионные аккумуляторы могут найти широкое применение в электроэнергетике: в качестве накопителей энергии, вырабатываемой альтернативными источниками, для сглаживания пиков нагрузки в энергосистемах, регулирования частоты напряжения электростанций и электросетей.

И если лидерство литий-ионных аккумуляторов в сфере бытовой электротехники и электротехники неоспоримо, то вопрос использования этой технологии в других областях все еще остается открытым. Одна из основных причин такой ситуации – склонность этих батарей к нагреву и возгоранию при высоких нагрузках.

Первой крупной жертвой горючести аккумуляторов оказался один из пионеров использования литий-ионных технологий – авиастроительный концерн Boeing, буквально нафаршировавший свою новую модель самолета Boeing 787 Dreamliner этим типом батарей. Однако аккумуляторы оказались весьма склонны к разогреву. Федеральное управление гражданской авиации США (FAA) в начале 2013 года даже было вынуждено принять решение о приостановке полетов Dreamliner после нескольких инцидентов, связанных с пожарами на этих самолетах из-за перегрева аккумуляторов. О запрете эксплуатации

#### УСПЕХ И НЕУДАЧИ

самолета объявили также регуляторы авиасообщения в Японии, Индии, Польше и Чили – странах, авиакомпании которых располагали такими авиалайнерами.

Однако Boeing не сдался и приступил к решению проблемы сразу в трех направлениях. В частности, компания улучшила саму технологию производства батарей так, чтобы предотвращать прорыв элементов при повышении температуры, и изменила их конструкцию с уменьшением тепловыделения. Кроме того, была усовершенствована система зарядки. И наконец, специалисты Boeing разработали новую конструкцию батарейного отсека, которая могла бы защитить самолет в случае, если отказ аккумуляторов все-таки произойдет. Пытаясь убедить американского авиарегулятора в безопасности новых батарей, Boeing провел экстремальное тестирование доработанных аккумуляторов, в котором провоцировался отказ батареи. В результате, если старые батареи были способны выдержать этот тест лишь около часа, после чего элементы теряли герметичность, появлялось возгорание, а температура повышалась до 300 °С, то новые устройства ни разу не добрались до таких температур. При отказе нарушалась герметичность лишь двух элементов без возникновения пожара. После установки новых аккумуляторов Dreamliner возобновил полеты, и проблем с батареями больше не возникало.

Еще одна сфера, где применение литий-ионных технологий дало качественный скачок в развитии целой индустрии – это электромобили. Поиск альтернативы топливу, полученному

Еще одна сфера, где применение литий-ионных технологий дало качественный скачок в развитии целой индустрии – это электромобили. Поиск альтернативы топливу, полученному

Еще одна сфера, где применение литий-ионных технологий дало качественный скачок в развитии целой индустрии – это электромобили. Поиск альтернативы топливу, полученному

Еще одна сфера, где применение литий-ионных технологий дало качественный скачок в развитии целой индустрии – это электромобили. Поиск альтернативы топливу, полученному

из нефтепродуктов, привел ученых к разработке автомобилей, использующих вместо горючего электричество. А появление литий-ионных источников питания послужило сигналом к началу нового этапа развития электромобилей и гибридов. Несмотря на ряд недостатков, этот альтернативный вид транспорта вызывает все больший интерес, и все больше ведущих автоконцернов ведет активную разработку новых моделей электрокаров. Среди них такие известные автопроизводители, как General Motors, Toyota, Hyundai, Nissan, Volkswagen и другие.

Одним из лидеров по разработке, производству и продвижению электромобилей на литий-ионных батареях является американская компания Tesla Motors, создавшая первый люксовый спортивный электрокар Tesla Model S. Для обеспечения своих автомобилей источниками питания компания даже планирует построить завод по производству литий-ионных аккумуляторов полного цикла. Основатель и глава автомобильного концерна Элон Маск даже хвастается, что это будет гигантский завод, сравнимый по объемам выпуска продукции с остальными подобными предприятиями, вместе взятыми.

Один из недостатков электрокаров, препятствующий массовому распространению этих машин, – длительное время, необходимое для зарядки аккумулятора. Так, на зарядку аккумулятора на станции уйдет порядка двух часов. Решая эту проблему, Tesla пошла сразу в двух направлениях: увеличение скорости зарядки и сервис быстрой замены разряженных батарей на новые. Конструкторы компании разработали скоростное устройство Supercharger, которое способно зарядить аккумулятор всего за один час. Однако у ноу-хау компании есть и минус – устройство не



*Tesla Motors – один из лидеров по продвижению автомобилей с литий-ионными аккумуляторами*

предназначено для работы от домашней сети. Зарядиться от Supercharger можно будет только на специальных зарядных станциях, которые, по задумке Tesla, будут построены на основных автомагистралях США. Одновременно на этих станциях будут оказываться услуги по замене разряженных батарей на уже готовые к эксплуатации. По словам разработчиков, ориентировочное время замены будет составлять лишь 90 секунд.

#### **ПЕРСПЕКТИВЫ И РИСКИ**

Несмотря на столь грандиозные планы по развитию инфраструктуры для электромобилей, Tesla несет определенные риски. Ведь бизнес, основанный на новых технологиях, – это своего рода путешествие в неизвестность, где тебя могут поджидать как многомиллионные прибыли, так и банкротство. Так, в конце 2012 года в США финансовый крах потерпела компания A123 Systems – стартап, сделавший ставку на разработки Массачусетского технологического института, – которая также производила литий-ионные аккумуляторы для электромобилей.

По мнению экспертов, причины банкротства следующие: в компании переоценили объем рыночного спроса на литий-ионные аккумуляторы, не смогли заключить ряд крупных контрактов и, кроме того, столкнулись с высокими расходами на отзыв батарей, которые были использованы в гибриде Fisker Karma.

Одним из минусов литий-ионных батарей по-прежнему остается их довольно высокая цена. Стоимость производства литий-ионных аккумуляторов варьируется от \$400 до \$800 за кВт·ч, однако благодаря постоянному развитию технологий снижение цены – это скорее все же вопрос времени.

Так, в Калифорнийском университете при создании батарей предложили применять кристаллы магнетита, которые, как считают ученые, являются идеальным материалом для создания

**ЭЛОН МАСК – ЧЕЛОВЕК,  
СМОТРЯЩИЙ В БУДУЩЕЕ**



История главы Tesla Motors Элона Маска замечательна сама по себе. Это яркий пример человека, постоянно устремленного в будущее и, что еще важнее, способ-

ного воплощать это будущее в реальность. Свой первый успешный проект он реализовал в возрасте 12 лет, написав компьютерную игру и продав ее за \$ 500. Создание системы PayPal, ставшей основным платежным средством на аукционе eBay, и последующая ее продажа за \$ 1,5 млрд (доля Э. Маска составила \$165 млн) сделали его по-настоящему богатым. Последующие инвестиции этот необычайно одаренный человек осуществил в Tesla Motors – компанию, выпускающую электромобили на литиевых аккумуляторах, – и SpaceX – частного разработ-

чика серии ракет-носителей и коммерческого оператора космических систем. SpaceX уже получила признание и в декабре 2008 года получила контракт NASA на сумму \$ 1,6 млрд, предполагающий 12 полетов грузового корабля Dragon на МКС.

Последний футуристический проект Э. Маска – суперскоростной вид транспорта на солнечной энергии с условным названием Hyperloop, который мог бы доставлять людей от города к городу по трубе с кабинами внутри. Эти трубы, по видению предпри-

нимателя, будут установлены на колоннах высотой от 50 до 100 ярдов (45,7 и 91,4 метра соответственно), а скорость кабин-вагонов может достигать 800 миль в час – достаточно, чтобы добраться от Лос-Анджелеса до Сан-Франциско за 30 минут.

Солнечные панели, энергия которых будет двигать вагоны, можно, по замыслу изобретателя, расположить сверху трубы. Излишки энергии предполагается хранить – с тем, чтобы труба функционировала как днем, так и ночью.

дешевых наноматериалов, что, в свою очередь, позволит снизить стоимость литий-ионных аккумуляторов и сократить время зарядки. В пользу потенциального снижения цен играют и такие факторы, как увеличение масштабов производства и заинтересованность производителей сделать свою продукцию доступной для широкого круга потребителей.

Все это дает основу для более оптимистичных ценовых прогнозов. По оценкам компании Pike Research, которая специализируется на консалтинге и анализе глобального рынка «чистых» технологий, цена на батареи упадет примерно на треть уже к 2017 году – до \$ 523 за кВт·ч – за счет дальнейшего совершенствования технологии производства аккумуляторов, повышения объемов поставок лития и роста объема продаж. Концерн Nissan обещает добиться снижения стоимости аккумулятора для Nissan Leaf до \$ 375 за кВт·ч. А глава Tesla Motors Э. Маск заявил, что расходы на аккумуляторы могут снизиться до рекордных \$ 200 за кВт·ч в самом ближайшем будущем.

**НА ВОДЕ И В НЕБЕ**

Сфера для применения литий-ионных аккумуляторов необычайно широка. Так, в Норвегии в 2015 году планируют спустить на воду электропаром. Судно, разработанное специалистами компании Siemens и норвежской судовой фирмы Fjellstrand, будет оборудовано двумя электродвигателями и сможет нести на борту 120 автомобилей и 360 пассажиров. В случае успеха этого пилотного проекта использование такого типа судов может быть значительно расширено.

Другой пример. Специалисты японской компании Hirobo из Хиросимы сконструировали одноместный электрический вертолет Hirobo Bit, развивающий скорость 100 км/ч. Электрический двигатель, в отличие от обычных, работает практически бесшумно, а одного заряда аккумуляторов хватает на 30 минут непрерывного полета. Вертолет, как ожидается, скоро может появиться на рынке.

Еще один электрический летательный аппарат, электросамолет e-Genius, разработанный инженерами немец-

кого института авиационного дизайна при университете Штутгарта, недавно установил рекорд дальности полета на одной зарядке, преодолев 404,9 километра за 2 часа 40 минут. При этом заряд батарей позволял продержаться в воздухе еще полчаса! На e-Genius установлены четыре перезаряжаемых литий-ионных аккумулятора по 56 кВт, а их общий вес составляет приблизительно 300 кг. В недалеком будущем самолет также можно будет приобрести на рынке.

Локомотивы – еще один тип машин, в которых литий-ионные аккумуляторы могут найти самое широкое применение. Так, немецкая железнодорожная компания Deutsche Bahn начала использовать дизель-электрические локомотивы для пассажирских перевозок. При этом литий-ионные аккумуляторы установлены на крыше поезда, что позволяет им охлаждаться во время движения. Гибридные тепловозы могут получить распространение и в России, где по заказу ОАО «РЖД» был разработан и внедрен опытный образец маневрового тепловоза SinaraHybrid

с гибридной силовой установкой. Локомотив снабжен отдельным блоком интеллектуального предсказания пути, который выбирает более выгодный для конкретного участка пути источник энергии: либо дизель-генератор, либо литий-ионную батарею. Двигаясь только за счет использования энергии литий-ионных аккумуляторов, локомотив SinaraHybrid может 20 часов возить собственный вес либо один час – 2 тыс. тонн грузов.

#### А КАК ДЕЛА В РОССИИ?

Разработка российского гибридного локомотива скорее исключение в непростом продвижении литий-ионных технологий по бездорожью отечественной бюрократической системы. Ведь основным тормозом для их промышленного применения в нашей стране оказалась нормативная база. Точнее, ее отсутствие для новых технологий. Современные отраслевые стандарты, правила и требования прописаны под свинцово-кислотные или щелочные аккумуляторы и не предусматривают возможность использования литий-ионных технологий.

По мнению экспертов отрасли, для какого-либо продвижения новых систем накопления энергии в стране в первую очередь необходимо изменить документы прямого действия: правила устройства электроустановок, правила технической эксплуатации электроустановок потребителей, межотраслевые правила охраны труда, СНиПы и ГОСТы. А далее уже разрабатывать нормативные акты, которые позволят продавать электроэнергию локальным производителям, квалифицируют сетевой накопитель как генератор (или потребитель с регулируемой нагрузкой) и так далее. Также, отмечают специалисты, в РФ пока не прописаны механизмы возврата потраченных на НИОКР средств со стороны частных инвесто-



Аппарат запечатывания корпусов аккумуляторов на заводе «Лиотех»

ров, которые не имеют достаточных стимулов для ведения собственных разработок за свой счет.

Однако не все печально: несмотря на существующие препятствия, литий-ионные технологии получают все большее признание у российских промышленных потребителей. Одним из ярких примеров является компания «Лиотех» – совместное предприятие Роснано и международного холдинга Thunder Sky, – которая в конце 2011 года запустила завод по производству литий-ионных аккумуляторов высокой емкости в Новосибирской области. Проектная мощность завода составляет более 1 ГВт·ч, или примерно 1 млн аккумуляторов в год. И хотя значительная часть продукции поставляется на экспорт, в России новые батареи также постепенно начинают занимать свою нишу. Так, Роснано заключило соглашения о сотрудничестве, предполагающие внедрение и использование литий-ионных аккумуляторов в крупнейших российских компаниях, таких как РЖД и «Транснефть», «Русгидро», и после завершения тех-

нико-экономического обоснования планирует приступить к внедрению сетевых накопителей энергии различной мощности на базе литий-ионных аккумуляторов в изолированных энергосистемах Дальнего Востока и на арктических территориях. А Росатом задумывается о возможности использования литий-ионных аккумуляторов в сетевых накопителях электроэнергии для нужд российских атомщиков. По словам главы Роснано Анатолия Чубайса, на первом этапе в рамках сотрудничества госкорпораций можно было бы создать один опытно-промышленный образец сетевого накопителя. Понятно, что речь идет не о батарее для какого-либо энергоблока АЭС, поскольку это было бы устройство очень больших размеров, а о компактном образце.

#### НА ПОМОЩЬ ВИЭ

Масштабное развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ) – солнечных, ветряных, приливных



*Энергетическая компания AES запустила несколько пилотных проектов по использованию литий-ионных батарей в качестве хранилищ электроэнергии*

и волновых электростанций – вообще невозможно без систем хранения электроэнергии. Однако массовое применение литий-ионных технологий в альтернативной энергетике, несмотря на явные технические преимущества, только начинается. До недавнего времени в автономных системах электроснабжения использовались в основном свинцово-кислотные аккумуляторы – как из-за более высокой стоимости их литий-ионных аналогов, так и из-за технологического несовершенства последних (батареи большой мощности были склонны к возгоранию). И лишь относительно недавно появились литий-ионные аккумуляторы третье-

го поколения, сочетающие большую мощность с безопасностью, которые и стали использовать на ВЭИ.

Так, компания SolarCity, специализирующаяся на разработке, создании и обслуживании солнечных электростанций различной мощности, в партнерстве с Tesla Motors уже запустила программу по использованию литий-ионных аккумуляторов в качестве накопителя энергии от солнечных батарей. А «Литотех» совместно с ЗАО «Энергетические проекты» планирует выпускать гибридные энергоустановки мощностью от 1 кВт до 1 МВт, работающие с использованием ветровой и солнечной энергии для энергоснабжения автономных потребителей, не подсоединенных к единой энергосистеме.

Но вернемся к международным перспективам литий-ионных техноло-

гий. Wall Street Journal выделил несколько перспективных проектов, которые благодаря инновационным решениям могут значительно улучшить характеристики литий-ионных батарей. В числе обративших на себя внимание журналистов оказались такие новации, как технология, разработанная учеными из Южно-Калифорнийского университета, предполагающая использовать кремниевые нанопровода вместо графитовых анодов, что втрое увеличивает емкость батарей и до 10 минут сокращает время зарядки. Упомянута и компания IBM, работающая над проектом так называемых литий-воздушных батарей, которые значительно легче своих графитовых собратьев, а также разработка специалистов из Вашингтонского университета, создавших аноды из олова, что позволяет утроить емкость литий-ионных аккумуляторов и сократить время зарядки. К числу перспективных отнесена и разработка ученых из Стэнфордского университета, сконструировавших батарею, где используются покрытые серой пористые углеродные нанопровода с электролитическими добавками, благодаря которым емкость литий-ионных аккумуляторов может увеличиться в четыре-пять раз.

Все это позволяет предположить, что повсеместное распространение литий-ионных технологий, несмотря на реальные финансовые риски, необходимость дальнейшей технической доработки коммерческих моделей, относительную дороговизну и сохраняющуюся неопределенность относительно будущего таких отраслей, как электромобилестроение, – это все же вопрос времени. И судя по всему, в ближайшие несколько лет нас ждет много новостей об открытиях, новых разработках и прорывных технологиях, способных сделать самые смелые мечты реальностью.

## ИЗОТОПЫ НА РЫНКЕ ИСКУССТВА

Итальянские физики-атомщики смогли развезать тайну, более четырех десятилетий окружающую произведение живописи из знаменитой коллекции Пегги Гуггенхайм. Холст картины Фернана Леже, якобы написанной в 1913–1914 годах, оказался изготовлен не ранее 1959 года.



Одна из недавних статей в The European Physical Journal Plus привлекла внимание искусствоведов, аукционных домов и музейных хранителей всего мира. В ней описан метод определения датировки произведений, созданных во второй половине XX века. Первые абстракционисты, «разбиравшие» образ на кирпичики первичных форм, весьма популярны на арт-рынке. Их произведения помимо эстетической ценности имеют и ценность инвестиционную, так как считаются надежным помещением капитала.

Все началось, когда влиятельная покровительница искусств Пегги Гуггенхайм приобрела полотно «Contraste de Formes» («Контраст форм»), якобы принадлежащее части коллекции французского художника Фернана Леже. П. Гуггенхайм полагала, что покупает оригинальную работу из части серии абстрактных полотен, написанную в 1913–1914 годах. Но в середине 1970-х годов у специалиста по Ф. Леже, искусствоведа Дугласа Купера, появились серьезные сомнения в подлинности этой картины.

В то время эксперты не пришли к единому мнению об аутентичности работы. А ныне ученые со стопроцентной

уверенностью подтвердили, что сомнительная картина – это подделка. Их утверждение основано на едва различимой «подписи», которую оставила на холсте эра испытаний атомных бомб. Чтобы окончательно решить загадку полотна, приписываемого Ф. Леже, ученые из итальянского Института атомной физики (INFN) решили определить, когда именно изготовлен холст, на котором написано произведение. Для этого они взяли на исследование крошечный кусочек края холста, на котором не было следов краски, и на ускорителе частиц измерили концентрацию изотопа углерода-14.

Углерод-14 – радиоактивный изотоп знакомого всем углерода-12. В ходе фотосинтеза в растениях – в том числе и в хлопке, из которого изготавливают живописные холсты, – оба изотопа накапливаются примерно в том же стабильном соотношении, которое содержится в атмосфере. Но это соотношение нарушалось в годы испытаний атомных бомб, проводившихся в 1950–1960-х годах. Если составить график содержания в атмосфере углерода-14 по годам, то на этом графике годы атомных испытаний будут отмечены отчетливыми пиками.

Начальник отделения INFN во Флоренции Пьер-Андреа Мандо пояснил, что после 1955 года уровень углерода-14 в атмосфере и, следовательно, в живых организмах за 10 лет почти удвоился. Именно благодаря этому резкому изменению, говорит физик, написанные в те годы произведения можно датировать с большой точностью. А в случае картины, приписываемой Ф. Леже, соотношение этих двух изотопов углерода позволило определить, что холст, на котором написана картина, изготовлен не ранее 1959 года. Следовательно, картина не может принадлежать кисти Ф. Леже, который умер в 1955 году. По словам П. Мандо, это первый случай, когда «бомбовые пики» использовались для выявления подделки произведения современной живописи. Ранее ученые применяли этот метод для датировки возраста слоновьих бивней и слоновой кости.

Изотопный метод датировки произведений искусства применялся и ранее. В 2008 году петербургские ученые Елена Баснер и Андрей Крусанов разработали способ определения подлинности произведений искусства. Измеряя уровень содержания изотопов цезия-137 и стронция-90, которые попадают в окружающую среду только в результате ядерных взрывов, исследователи могут отличить полотна, созданные до 1945 года, от более поздних произведений. Вместе с тем искусствоведы указывают на слабые стороны радиоизотопного метода датировки. Ведь произведения искусства создаются из материалов, которые «дышат», то есть впитывают и осаждают все, что содержится в воздухе, если только они не хранились в месте, полностью защищенном от внешней среды. Поэтому радиоизотопные данные всегда необходимо подтверждать комплексным исследованием, искусствоведческим, техническим и исследованием провенанса (истории владения).

## ЧИТАЙТЕ В БЛИЖАЙШЕМ НОМЕРЕ ЖУРНАЛА «АТОМНЫЙ ЭКСПЕРТ»:



### ТЕМА НОМЕРА:

Новые перспективные рынки для российских атомщиков: Росатом наконец активизировался в сфере добычи редкоземельных металлов, «Атомэнергомаш» смотрит на смежные с энергетикой отрасли.



### ТЕМА НОМЕРА:

Интервью с президентом Uranium One Holding Вадимом Живовым.



### ТЕХНОЛОГИИ:

Сравнительный анализ тихоходных и быстроходных турбин для АЭС.



### ТЕХНОЛОГИИ:

Советник гендиректора ФЭИ Георгий Тошинский о быстрых реакторах со свинцово-висмутовым теплоносителем.



### ФИНАНСЫ:

Ядерное страхование: тенденция к консолидации и унификации национальных законодательств.



### БИЗНЕС:

История компании «ЦКТИ-Вибросейсм».

