ВЕСТНИК АТОМПРОМА

№ 5 | июнь | 2024

Главная тема

ВВЭР: сегодня и завтра

Перспективы развития технологии водо-водяных энергетических реакторов

В номере

Матмоделирование процессов пиролиза *36*

Рынки сурьмы *40*

Энерготехнологии для будущего *46*

Уважаемые читатели!

Реакторы с легкой водой под давлением были созданы в начале эры мирного освоения энергии атома на основе установок для подводных лодок. Сегодня они доминируют в мировой атомной энергетике, и заметное место в этом большом международном семействе имеют отечественные ВВЭР. Многие из заложенных еще тогда инженерных решений прошли проверку временем и используются до сих пор, но все это время РУ ВВЭР непрерывно эволюционируют в направлении повышения эффективности и безопасности.

В России принята стратегия перехода на новую технологическую платформу развития атомной энергетики через этап двухкомпонентной структуры, включающей реакторы на тепловых и быстрых нейтронах. Создание такой структуры ставит в целом ряде направлений новые задачи, решение которых повысит экономическую, экологическую и экспортную привлекательность российских ядерных энергетических технологий. Материалы главной темы номера рассказывают о ближайших и перспективных задачах Росатома по дальнейшему совершенствованию технологии ВВЭР.

Кроме того, мы продолжаем знакомить вас с методом низкотемпературного пиролиза, применяемого для переработки отходов АЭС, и рассказываем, как цифровые инструменты, которые совместно разрабатывают организации Инжинирингового и Электроэнергетического дивизионов Росатома, позволяют наработать значительный объем знаний через математическое моделирование различных режимов работы установки пиролиза. Также читайте обзор о положении дел на рынках сурьмы: проект по обеспечению предприятий российской промышленности собственной линейкой сурьмяных продуктов развивает Горнорудный дивизион Росатома.

ВЕСТНИК АТОМПРОМА

№ 5, июнь 2024 года

Информационно-аналитическое издание

Фото на обложке
«АЭМ-технологии» / Андрей Радченко

Главный редактор
Юлия Долгова
dolgova@strana-rosatom.ru

Выпускающий редактор
Ольга Еременко

Дизайн и верстка
Анна Бабич, Валерий Балдин

Корректор
Алина Бомбенкова

Учредитель, издатель и редакция
Общество с ограниченной ответственностью «НВМ-пресс»

Адрес редакции
129110 Москва,
ул. Гиляровского, д. 57, с. 4

Отдел распространения и рекламы
Татьяна Сазонова
sazonova@strana-rosatom.ru
+7 (495) 626-24-74

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-59582 от 10 октября 2014 года

Тираж 1980 экземпляров.
Цена свободная.
Подписано в печать: 28.06.2024

При перепечатке ссылка на «Вестник Атомпрома» обязательна. Рукописи не рецензируются и не возвращаются

Суждения и выводы авторов материалов, публикуемых в «Вестнике Атомпрома», могут не совпадать с точкой зрения редакции

Журнал отпечатан:
ООО «АртФормат»
115477, г. Москва, ул. Зюзинская, д. 6, стр. 2.
Тел.: +7 (968) 724-35-91
№ заказа: Аф-005/24.

Содержание

Главная тема КОРОТКО

Путь легкой воды *4*

Развитие технологии ВВЭР: прошлое, настоящее, будущее

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

«Мы накопили огромную базу знаний о технологии ВВЭР и готовы к новому шагу вперед» *6*

Владимир Асмолов, советник генерального директора госкорпорации «Росатом», научный руководитель направления разработки энергетических реакторов типа ВВЭР, — о совершенствовании водо-водяных реакторов и об их месте в ядерных энергетических системах будущего

«Созданные технические решения могут и должны быть использованы не только в рамках проекта ВВЭР-ТОИ» *13*

Андрей Кучумов, вице-президент — первый заместитель директора Объединенного проектного института по технической политике, — об особенностях ВВЭР с улучшенными технико-экономическими характеристиками

ФОТОРЕПОРТАЖ

АЭС «Пакш-2»: первый ВВЭР-1200 в Евросоюзе *20*

Металлурги Росатома начали изготовление реакторной установки для венгерской АЭС

ПРЯМАЯ РЕЧЬ

«Каждая модернизация направлена на то, чтобы повышать уровень безопасности» *22*

Евгений Сальков, генеральный директор «Русатом Сервис», — о продлении срока эксплуатации Армянской АЭС

ЦИФРОВИЗАЦИЯ

ВВЭР в цифровом измерении *28*

Рассказываем, как реализуются ИТ-проекты на российских АЭС

Главная тема БЕЗОПАСНОСТЬ

Безопасность в кубе *30*

Ученые работают над дальнейшим повышением надежности работы АЭС

ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ

На десятилетия вперед *34*

Как готовят будущих специалистов, которым предстоит эксплуатировать и совершенствовать РУ ВВЭР

Цифровые технологии

С высокой точностью *36*

Математические модели для комплексов переработки РАО

Перспективы

Сурьма на пробу *40*

Положение дел на рынках сурьмы в России и в мире

Попадание в десятку *46*

Энергетические технологии для ближайшего будущего

ИЦАЭ

Клубки ДНК, ограничения Вселенной и АЭС в мемах *52*

О чем узнали гости фестиваля науки на родине ВВЭРов

Особое мнение

Берегите бизнес *56*

PR-трендом 2024 года стали бережные коммуникации

Фото: Нововоронежская АЭС / Ольга Мартынова

Путь легкой воды

Современный мир остро нуждается в надежных и мощных источниках чистой энергии, и атомная генерация выглядит в этом отношении весьма привлекательной.

Сегодня очевидно, что целью атомной энергетики будущего является замыкание ядерного топливного цикла и переход в связи с этим на энергоблоки с реакторами на быстрых нейтронах, которые в ходе эксплуатации могут нарабатывать делящиеся изотопы в большем объеме, чем потребляют их, создавая таким образом условия для расширенного воспроизводства ядерного топлива и устраняя зависимость от запасов природного урана. Однако не менее очевидно, что реакторы на тепловых нейтронах, в которых теплоносителем и замедлителем является обычная вода под давлением (PWR в международной классификации, ВВЭР — в отечественной), являющиеся основой сегодняшней мировой атомной энергетики, еще как минимум на десятилетия останутся значительной составляющей глобальной энергосистемы.

Первый советский ВВЭР мощностью 210 МВт был введен в эксплуатацию в 1964 году на энергоблоке №1 Нововоронежской АЭС, а первой зарубежной станцией с реактором ВВЭР стала АЭС «Райнсберг» (ГДР, 1966 год). С тех пор технология ВВЭР непрерывно эволюционирует, и сегодня Росатом сооружает в России и в мире энергоблоки с РУ ВВЭР большой мощности, относящиеся к поколению III+. Их основной особенностью является уникальное сочетание активных и пассивных систем безопасности, делающих АЭС максимально устойчивой к внешним и внутренним воздействиям.

Чтобы удерживать лидирующие позиции в условиях конкуренции на мировом рынке, требуется непрерывное совершенствование и развитие как в рамках существующей технологии ВВЭР — за счет улучшения экономических показателей и дальнейшего повышения надежности и безопасности, так и за счет создания конкурентоспособных промышленных ядерных энергосистем поколения IV.

Следующие этапы развития технологии ВВЭР связаны с расширением мощностного ряда РУ; улучшением использования топлива при работе в открытом ЯТЦ и повышением коэффициента воспроизводства топлива в замкнутом цикле; увеличением эффективности преобразования энергии, в том числе переходом на сверхкритические параметры теплоносителя; использованием перспективных конструкционных материалов; сокращением времени строительства и запуска новых энергоблоков, повышением инвестиционной привлекательности. О работе, которую ведет Росатом в этих направлениях, рассказывают материалы главной темы номера.

Текст: Юлия Долгова
Фото и инфографика: Росатом

Владимир Асмолов, советник генерального директора госкорпорации «Росатом», научный руководитель направления разработки энергетических реакторов типа ВВЭР:

«Мы накопили огромную базу знаний о технологии ВВЭР и готовы к новому шагу вперед»

Легководные реакторы с водой под давлением — признанные лидеры в мировой атомной энергетике, опыт эксплуатации которых исчисляется тысячами реакторо-лет. Владимир Асмолов, доктор технических наук, профессор, один из лауреатов Госпремии РФ в области науки и технологий 2023 года за цикл работ по разработке и реализации стратегии развития двухкомпонентной ядерной энергетики, рассказал «Вестнику атомпрома», за счет каких решений продолжает совершенствоваться технология отечественных РУ ВВЭР и какое место они займут в ядерных энергетических системах будущего.

— Владимир Григорьевич, почему именно корпусные реакторы с водой под давлением стали доминировать в мировой атомной энергетике? В чем их основные преимущества?

— Давайте начнем с того, что первый водо-водяной реактор появился на атомной подводной лодке «Ленинский комсомол». Постановление Совета Министров о строительстве объекта 627 было в 1952 году, объект вступил в строй в 1958-м. Научным руководителем проекта был Анатолий Петрович Александров, главным конструктором РУ — Николай Антонович Доллежаль. По сути, этот реактор является прародителем технологии ВВЭР. Почему был выбран такой тип реакторной установки? Самый простой ответ: в подводную лодку в то время ничего другого, столь же компактного, поместить не получилось бы. Сегодня у ВВЭР, по сравнению с другими аппаратами, в общем, остаются те же главные принципы, понятные уже на этапе становления технологии: эти реакторные установки наиболее просты в изготовлении и наиболее дешевы как по своей капитальной составляющей, так и по эксплуатационной составляющей. Именно поэтому сегодня в мире доминируют два типа аппаратов: это наши ВВЭР (водо-водяные энергетические реакторы) и PWR (реакторы с водой под давлением, от англ. pressurized water reactor), использующие в качестве замедлителя и теплоносителя обычную легкую воду. Если взять общее количество всех энергоблоков АЭС в мире, то сегодня около 75% работают именно по этой технологии.

— Каковы главные отличия строящихся сегодня энергоблоков с ВВЭР от их предшественников?

— Все стадии развития технологии можно увидеть на примере Нововоронежской АЭС, где поэтапно появлялись все проекты реакторов типа ВВЭР. Нововоронежской АЭС в прошлом году присвоили имя Виктора Алексеевича Сидоренко, я его называю отцом ВВЭРовской технологии и своим учителем. Именно на Нововоронежской площадке в 1964 году появился первый ВВЭР, его мощность была 210 МВт, затем в 1969-м — второй, с повышением мощности до 365 МВт. Потом появилось первое поколение ВВЭР-440, и первый из них — опять же на Нововоронежской, потом 440-е пошли на Кольскую станцию, на Ровенскую, в ГДР, в Финляндию, Болгарию, Венгрию, Чехию и далее. Головные энергоблоки ВВЭР мощностью 1000 и 1200 МВт тоже впервые были построены на Нововоронежской АЭС.

На протяжении всего этого времени менялись подходы к безопасности, потому что безопасность — это главное, это наше всё. На первых ВВЭРах не было защитной оболочки, максимальная возможная проектная авария рассматривалась как разрыв трубопровода диаметром 32 мм. Потом мы пошли дальше, предусмотрев возможность мгновенного разрыва главного циркуляционного трубопровода. Появилась защитная оболочка, пассивные системы безопасности и так далее.

Чем больше мы получали опыта эксплуатации и результатов НИР, тем серьезнее обосновывалась безопасность. Появление проекта АЭС-2006, научным руководителем которого я был,— это развитие проекта В-320 с реактором мощностью 1000 МВт, который в основном составлял флот атомных реакторов Советского Союза. Все накопленные знания вкладывались в эти аппараты, поэтому разница большая: было три канала безопасности, в АЭС-2006 их стало четыре. Все это время постоянно шел учет тяжелых аварий — опыта Три-Майл-Айленда, Чернобыля, потом Фукусимы, шла огромная программа исследований, в результате чего появились ловушки расплава, системы вентиляции защитной оболочки, системы водородной безопасности. После Фукусимы мы поставили на станцию мобильные дизельные установки, мобильные насосы. Сегодня ведется большая работа по отжигу корпусов реакторов, это эффективный способ продления безопасной и надежной эксплуатации реакторных установок ВВЭР.

Если сравнивать ВВЭР и PWR, то мы шли приблизительно одним путем. Повышение мощности — сегодня у нас это 1200 МВт на клеммах генератора (в ВВЭР-ТОИ будет 1255 МВт). Французы пошли дальше и в проекте EPR подняли мощность до 1600 МВт. Мы сделали ловушку расплава нашего типа: это тигельная ловушка, очень компактная и надежная. Они сделали ловушку растекания под бассейном. Но физика, которая была заложена изначально, она такой же остается и по сей день. А все, что мы делаем,— это инженерия: объединение работы систем безопасности и систем нормальной эксплуатации. Это спокойное, монотонное, эволюционное развитие технологий: дальнейшее снижение стоимости, повышение эффективности и безопасности. Проект ВВЭР-ТОИ сделан в цифре, то есть он более удобен для проектирования: можно перейти сразу на рабочую документацию из чертежей технического проекта. И это тоже шаг в эволюционном развитии.

Но что же тогда появилось действительно нового по сравнению с тем, что было? Новое — это накопленная база знаний по всем явлениям, связанным с работой реактора. Это и нейтронная физика, и теплофизика, и возможные сложнейшие физико-химические взаимодействия при тяжелых авариях с плавлением активной зоны. Все это позволило создать совершенно новую систему кодов, расчетных программ, которые дают возможность моделировать все, что происходит в реакторе, с очень высокой степенью точности. Одновременно с этим развивалась нормативная база, которая предъявляла все больше и больше требований, и это тоже вытекало из накапливаемых знаний. И имея все, что есть на сегодняшний день в технологии ВВЭР, мы очень сильно подготовились к новому шагу вперед. Я говорю в первую очередь о возможности спектрального регулирования, а также о том, что нами, по сути, заложены основы повышения КПД реакторов за счет перехода на сверхкритические параметры теплоносителя.

— Верно ли, что разработка реакторов со спектральным регулированием велась в нескольких странах еще в 1980-х годах, но потом эти проекты были прекращены?

— Верно. И прекращены они были по вполне понятной причине: база знаний была недостаточной. Не было нормального расчетного инструмента и сами возможности расчетного моделирования были очень ограничены, не было суперкомпьютеров. Если вспоминать аварию РБМК на Чернобыльской станции, у нас

Справка

В настоящее время в реакторах на тепловых нейтронах для регулирования реактивности применяется борное регулирование — ввод в первый контур реактора раствора борной кислоты, которая наряду с выгорающими поглотителями используется для компенсации избыточного запаса реактивности (так называемый запас реактивности на выгорание), то есть для поглощения избыточных нейтронов, преимущественно теплового спектра, плотность которых (количество нейтронов в единице объема) в активной зоне после загрузки в реактор свежего топлива значительно превышает необходимую для поддержания устойчивой ядерной реакции. В схеме, предусматривающей борное регулирование, определенная часть нейтронов расходуется впустую, так как поглощается ядрами бора без выделения энергии, без размножения нейтронов и без наработки делящихся изотопов. В то же время в реакторах со спектральным регулированием запас реактивности на выгорание компенсируется рядом иных технических решений, способствующих поглощению «избыточных» нейтронов ядрами урана-238 с последующей наработкой делящихся изотопов плутония, который, после его выделения на радиохимическом заводе, будет использован при изготовлении свежего ядерного топлива.

в то время были электронно-вычислительные машины БЭСМ-6. Сейчас такая БЭСМ-6 в любом телефоне. А тогда, летом 1986 года, для того чтобы с использованием методов Монте-Карло рассчитать на БЭСМ-6 паровой эффект, который привел к взрыву на Чернобыльской АЭС, нам потребовалось 800 часов счета! Сегодня мы вооружены не в два раза лучше, а в миллионы раз лучше. Мы имеем инструменты в виде суперкомпьютеров и в виде перехода к так называемым CFD-кодам, которые позволяют очень детально все считать. Мы имеем совершенно другие знания по нейтронной кинетике и по теплофизическим свойствам, имеем другие материалы и знания о них.

Идея, которая звучала уже в 1980-х,— попробовать перейти к тому, чтобы регулировать процессы в ядерном реакторе изменением спектра,— была правильной. В чем ее суть? В изменении при работе реактора уран-водного соотношения, то есть в переходе с теплового спектра на более жесткий. Преимущества этого подхода и тогда были понятны: продление топливной кампании, возможность использования в ВВЭРах уранплутониевого топлива на 100%, возможность ухода от борного регулирования. Сегодня мы регулируем реактивность за счет борной кислоты, когда начинаем маневрировать на мощности, добавляем борную кислоту — начинается огромный водообмен, а это в том числе лишние радиоактивные отходы. У нас даже есть мысли, может быть, в будущем уйти от циркония, чтобы избежать пароциркониевой реакции в случае тяжелых аварий. Спектр более жесткий, поэтому есть возможность использования другого конструкционного материала вместо циркония. Так что идея спектрального регулирования очень перспективная. И мы решили, что сегодня готовы эту идею реализовать на основании всего накопленного нами знания.

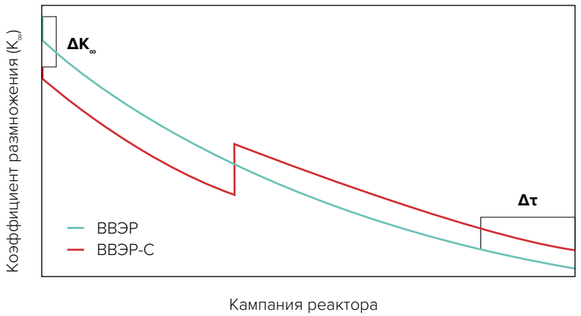
— Как спектральное регулирование должно осуществляться технически?

— Это можно делать по-разному, способов много. Можно, допустим, работать с использованием тяжелой воды, но на тяжелую воду мы не собираемся переходить, это совершенно другая технология. Можно использовать замену воды паром. Можно использовать вытеснители. Суть этого подхода в том, что кроме системы СУЗов, которые управляют реактивностью, появляются еще некие системы, благодаря которым уран-водное соотношение можно изменить, а значит, изменить спектр нейтронов. Еще один вариант — это использование дополнительных поглощающих стержней внутри ТВС, которые тоже дают нужный эффект.

— Какой вариант выбран для проекта ВВЭР-С и почему?

Принцип и эффекты спектрального регулирования (использование вытеснителей)

Эффекты работы вытеснителей (условный сценарий)

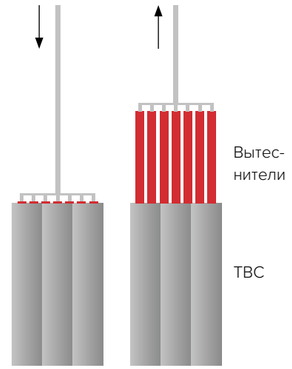


Топливо реакторов
ВВЭР: ^{235}U
ВВЭР-С: $^{235}U+^{239}Pu$ (из $^{238}U(n,\gamma)$).

ΔK_∞ — экономия топлива
$\Delta\tau$ — выигрыш в длительности кампании
γH_2O / γU — уран-водное соотношение

- Снижение сечения деления нечетных делящихся изотопов в начале кампании;
- Увеличение захвата ^{238}U в начале кампании: $^{238}U(n,\gamma) \rightarrow {}^{239}Np(\beta-) \rightarrow {}^{239}Pu$

Принцип работы вытеснителей



$\frac{\gamma H_2O}{\gamma U}$ 1,5 → 2,0 (как у ВВЭР)

— Есть инженерный прагматизм, поэтому мы на сегодняшний день ведем разработку двух вариантов. Вариант с использованием вытеснителей, скорее всего, пойдет на каком-нибудь блоке большой мощности, 1200 МВт, там он будет наиболее эффективен.

На данный момент мы выбрали блок средней мощности, 600 МВт. Почему? Это тоже абсолютный прагматизм. Весь мой опыт показывает, что, не имея площадки, невозможно проектировать станцию, потому что у каждой площадки своя климатика, своя сейсмика, другие особенности. Лет пять назад, когда мы пришли к пониманию, что готовы воплотить введение спектрального регулирования, площадка была только одна, на Кольской станции. Блок большой мощности в силу ряда причин там нецелесообразен, поэтому появился шестисотник. Работы по вытеснителям на тот момент еще не были закончены, поэтому мы пошли на второй вариант, более простой — с дополнительными поглощающими стержнями, это прекрасная кассета, которую мы называем ТВС+. Для начала выбран именно этот подход: мы с экономической точки зрения не сильно переделываем активную зону, но такой подход даст нам возможность опробовать технологию — за счет дополнительных поглощающих стержней, увеличив их число с 17 до 22 в каждой ТВС. Картина изменения спектра становится плавной, но нужной эффективности. Кроме того, вводятся так называемые «серые» стержни. Появляется возможность маневрирования в диапазоне 100–50–100% без изменения концентрации борной кислоты. Эту программу ведет «ТВЭЛ», с точки зрения разработки топлива — это тоже проект эволюционный, и на сегодняшний день мы в этом не видим никаких проблем. Естественно, будут эксперименты, испытания сборок на критстенде в ФЭИ.

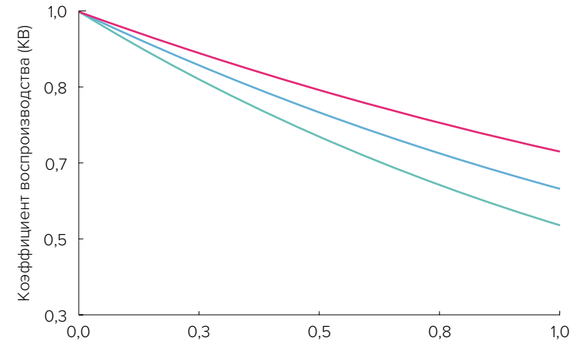
Самое важное, что если в обычный ВВЭР оптимально больше 30% уранплутониевого топлива загружать нецелесообразно с точки зрения нейтронной физики, то для ВВЭР-С, и это опять подготовка к будущему, возможна 100-процентная загрузка такого топлива. Мы пустим ВВЭР-С на обычном оксидном урановом топливе, но, когда уран будет настолько дорог, что использование уранплутониевого МОКС-топлива станет экономически целесообразным, блок будет готов к работе на 100-процентной загрузке МОКСом.

— За последний год цены на уран значительно выросли, это как-то повлияло на перспективы перехода на МОКС?

— Они еще не значительно выросли. Я лично считаю, это моя оценка, что с точки зрения экономической целесообразности переход на МОКС на обычных ВВЭРах (на проектах АЭС-2006, ТОИ) не нужен. А вот на ВВЭР-С, я думаю, где-то за 2040 годом это будет уже целесообразно. В данном случае все будет решать экономика, но энергоблок будет к этому готов.

— Конструкция ВВЭР-С будет сложнее обычных ВВЭР? Это будет влиять на стоимость проекта?

Повышение топливной эффективности при спектральном регулировании



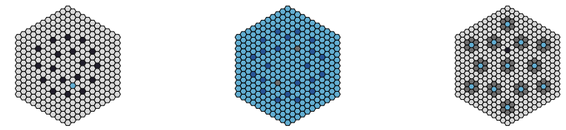
— АЭС-2006 (50% МОКС)
— ТВС+ (100% МОКС)
— ТВС-С (100% МОКС)

КВ — отношение массы оставшегося делящегося материала к загруженному

ТВС+ — активная зона с увеличенным количеством поглощающих элементов

ТВС-С — активная зона с подвижными вытеснителями

АЭС-2006 **ТВС+** **ТВС-С**



— Конструкция — то, что мы делаем на Кольской,— сегодня не сложнее. Вот когда мы пойдем на вытеснители, она будет посложнее. Но, опять же, это инженерные вещи. Например, при использовании вытеснителей будет два верхних привода, а не один, но это все не токамак, не термояд, никаких новых физических открытий здесь нет. По сути дела, повторюсь, мы используем огромный накопленный уровень знаний, опыт эксплуатации и разработанный расчетный инструмент для решения этой инженерной задачи.

— На какой стадии сейчас находится решение этой задачи?

— На сегодняшний день у нас есть дорожная карта по сооружению двух блоков с ВВЭР-С на Кольской АЭС. Площадка выбрана, изыскание на площадке проведено. Есть финансирование — и проектных, и конструкторских работ, и НИОКР. Все деньги выделены, все организации задействованы. Во главе работы стоит технический комитет под моим

руководством. Каждую неделю комитет собирается, решаем вопросы всей командой разработчиков. Это «Гидропресс», Курчатовский институт — научный руководитель, АЭП — проектант, ВНИИАЭС, ОКБМ, «ТВЭЛ». Мы собрали все лучшее, что мы имеем, и те решения, которые мы внедряем в традиционные ВВЭРы, они тоже все будут здесь учтены, в новом энергоблоке с ВВЭР-С. Идет постоянная экспертиза проделанных работ — внутренний кросс-аудит. Идут конкурентные предложения по системам безопасности. Что еще очень важно, эти работы идут параллельно с разработкой подходов для блока большой мощности.

Кроме того, в разработке принимает активное участие специальная команда, созданная из сотрудников Кольской станции, то есть из людей, которые заинтересованы в этом блоке и которые смотрят на все, что мы хотим сделать, на все наши улучшения именно с точки зрения будущей эксплуатации.

В этом году мы должны по нашему плану выйти на техпроект, который будет вынесен на научно-технический совет Росатома и который мы должны защитить в конце 2025 года. Промежуточные этапы работ рассматриваются на научно-технических советах предприятий. Дальше пойдет лицензирование, на это — год минимум. А дальше — лицензия на размещение, лицензия на сооружение и так далее. Дорожная карта полностью прописана со всеми этими нюансами и очень хорошо работает. У нас исключительно жесткий контроль, так как проект включен в программу «РТТН», абсолютно жесткие сроки и отчетность по каждому этапу работы. Есть ключевые события, точки, пока мы ни одной ключевой точки еще не пропустили (и не дай нам бог пропустить), идем абсолютно в графике, в соответствии с дорожной картой. И сейчас перед нами поставлена задача: попробовать сэкономить год и в 2034-м запустить блок. Пробуем.

Я честно могу сказать, что я очень доволен и командой, и тем, как идет работа. Это последнее дерево, которое я хочу вырастить, поэтому для меня это очень важно.

— А как обстоят дела с выращиванием сверхкритического дерева?

— ВВЭР-СКД — это тоже идея довольно древняя, в ней ничего нового нет. Нужно повысить КПД: перейти с наших 38% где-то на 45% за счет перехода на сверхкритические параметры теплоносителя. Но это уже следующая задача, для решения которой на сегодняшний день нет необходимой базы знаний. Отсутствует необходимая база данных по нейтронной физике, по теплофизическим свойствам. Эти базы знаний должны быть созданы. Ну и самое главное — у нас пока нет материалов, которые будут работать при этих температурах.

Все эти работы начаты. Они велись нами в рамках Gen4 (международной организации Generation IV International Forum.— *Прим. ред.*) вместе с нашими зарубежными коллегами, но два года назад наше взаимодействие с Gen4 практически прекратилось. Мы имеем финансирование по этим работам, но его недостаточно для того, чтобы быстро продвинуться в разработке. Мы рассчитывали, что, имея опыт всех стран, мы сможем приблизить сроки реализации ВВЭР-СКД. Я считал, что этот блок может появиться к 2040-м годам, но сегодня я уже не такой оптимист.

Но работа идет, недавно в Курчатовском институте прошел семинар по этой теме. Нам важно сейчас выбрать, каким будет СКД, одноконтурным или двухконтурным. Есть предложение ФЭИ, там Павел Леонидович Кириллов, выдающийся ученый в области теплофизики, был апологетом этого блока. Есть предложения Курчатовского института, «Гидропресса». Но пока это некие дороги вперед, по которым пройдены только первые километры.

— За счет каких характеристик сверхкритические реакторы относят к поколению IV?

— Четвертое поколение реакторов или энергоблоков — это очень условное понятие, на мой взгляд. Мы должны иметь ядерную энергетическую систему, эффективную и безопасную. Если говорить о безопасности сегодняшних аппаратов, которые мы (опять же условно) относим к поколению III+, то я считаю, что степень остаточного риска, который мы имеем по этим блокам, есть, но она пренебрежимо мала. В ВВЭР-ТОИ, это мое мнение, мы даже перешагнули через оптимум «вложения в безопасность — отклик/эффект» и вкладываем в безопасность гораздо больше, чем с точки зрения техники нужно в нее вкладывать. Но говоря о блоках поколения III+ я могу произнести такие слова: мы имеем гарантированную безопасность. То есть я могу сказать вам, кому угодно — своей семье, жене, детям, что на этих блоках никаких три-майлов, фукусим и тем более чернобылей не будет. Никогда. Хотя остаточный риск все равно есть.

Стратегические цели развития технологии ВВЭР

Целевые показатели	ВВЭР-1200	ВВЭР-ТОИ	ВВЭР-С-СМ	ВВЭР-СКД
Мощность эл./тепл.	1170 / 3200	1255 / 3300	600 / 1600	550 / 1250
Удельный CAPEX, %	118%	100%	120%*	-
Время сооружения, лет	6	6	5	<5
Внедрение, год	2017	2025	2035	>2045

* Более высокий удельный CAPEX обусловлен более низкой мощностью, при равной мощности удельный CAPEX был бы в диапазоне 80–85%.

Теперь мы должны создать именно ядерную энергетическую систему четвертого поколения, а это не только реактор. Один реактор не может работать: реактор находится в энергоблоке, энергоблок работает в топливном цикле. Мы написали требования к энергетической системе. Первые два требования тривиальные — это эффективность и безопасность. Дальше мы должны показать, что атомная энергетика является возобновляемым источником энергии. Мы должны уран-238, которого в природном уране 99%, включить в цикл, получить плутоний, получить новое топливо из плутония, и мы тогда можем говорить: «Наш источник такой же, как солнце и ветер,— возобновляемый, и топлива у нас хватает на тысячелетия: мы сами будем для себя его воспроизводить». Дальше мы должны сказать всем людям, что ничего плохого после нас не остается: мы знаем, как обращаться с отработавшим ядерным топливом, и умеем с ним обращаться. Мы должны построить всю эту ядерную энергетическую систему — с коэффициентом воспроизводства топлива, равным единице, чтобы и ВВЭРы могли работать на этом топливе, и РБНы его производили.

Существуют разные подходы к этому. Например, я считаю, что для производства энергии ВВЭРы как были, так и будут оставаться дешевле быстрых реакторов. И главной целью ВВЭРов будет производство электроэнергии, а может быть, и чего-то другого, тепла например. Для быстрых реакторов будет другая ниша. Они будут реакторными производителями топлива, это будет их первая цель, а уже во вторую очередь производителями электрической энергии. Понадобится нам в будущем высокотемпературная энергия — у нас уже есть к этому готовность, мы знаем, как делать ВТГРы. Нужны нам будут жидкосолевые реакторы как дожигатели минорных актинидов — если мы найдем им нишу, то и они у нас пойдут. То есть каждый раз готовность определить ключевое направление, развить и выбрать правильный путь в этом переборе решений будет зависеть от требований, которые мы выставляем к системе, которую хотим иметь. Эти требования на сегодняшний день сформулированы в стратегии развития атомной энергетики России до 2050 года и до 2100 года. Это очень серьезная работа, она утверждена на президиуме НТС в госкорпорации. Там есть и конкретные цели увеличения генерации за счет атомных энергоисточников к 2045 году — до 25% по стране в среднем и более 50% по европейской части России. Но если говорить о моем личном мнении, я считаю, что нам нужно с атомной энергетикой более активно идти за Урал. Чтобы развивалась страна, росла промышленность, нужны дороги и мощные источники надежной энергии.

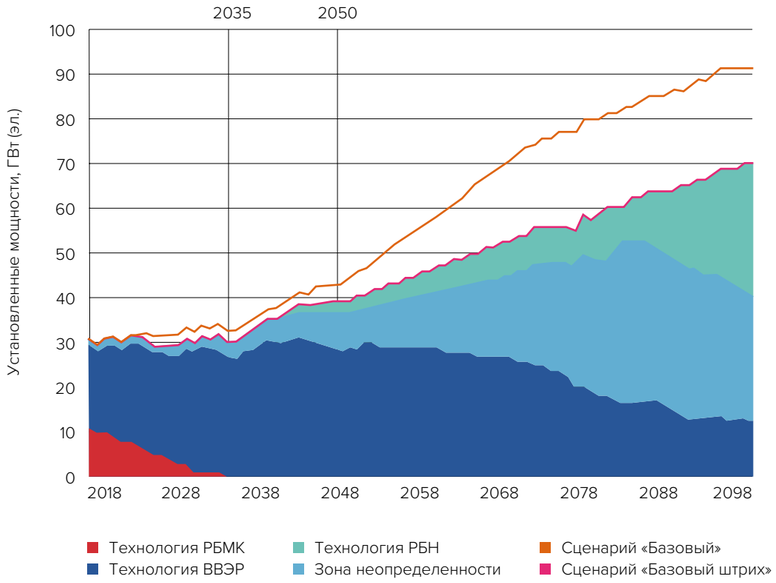
Сценарий формирования двухкомпонентной ядерной энергетики России

— Есть ли в этой стратегии конкретное описание будущей структуры двухкомпонентной атомной энергетики? То есть можно ли сегодня говорить о том, сколько, например, через 50 лет должно быть ВВЭРов, сколько быстрых реакторов — свинцовых и натриевых?

— Там есть некая картина развития, в которой есть так называемая линия неопределенности. И она будет зависеть от потребительских качеств тех аппаратов, которые мы сделаем. ВВЭР-С — это, будем говорить, хеджирующий вариант на тот случай, если с быстрыми реакторами не все пойдет так хорошо, как предполагается. С ними все обязательно пойдет в итоге, но, возможно, медленнее, чем это видится сегодня. До сегодняшнего дня все наши реакторы, которые мы пытаемся делать, которые должны иметь другие свойства (лучше, чем у ВВЭР), пока все они дороже. Без сомнения, работать в этом направлении надо, мы дальше будем делать БН-1200, его проект удешевляется, на бумаге БН-1200 сопоставим по экономике с ВВЭР-1200. Но давайте вспомним адмирала Риковера, одного из «отцов» американского атомного проекта, который еще в начале 1950-х годов сказал: «Любой бумажный проект безопасен, легко сооружается, прост и дешев, а когда мы переходим к реальности, мы получаем совсем другие результаты».

Поэтому мы и говорим, что до конца века мы обречены на двухкомпонентную атомную энергетику, которая будет состоять из тепловых реакторов и быстрых. А сколько, каких и когда, будет зависеть от того, какими мы их сделаем. Если Евгений Олегович Адамов со товарищи прав и они сделают и быстрый свинцовый аппарат, и быстрый натриевый аппарат по потребительским качествам дешевле и лучше ВВЭРа, тогда ВВЭРы пойдут на спад. Я и моя команда со своей стороны тоже делаем все, чтобы выиграть. Вот это здоровое соревнование — оно и даст результат!

Направления развития технологии ВВЭР: проекты ВВЭР-С и ВВЭР-СКД



- Повышение коэффициента воспроизводства топлива
- Снижение расхода природного урана
- Отказ от борного регулирования (как минимум при работе на мощности)
- Повышение КПД

Развитие технологии ВВЭР хеджирует возможные отставания темпов/масштаба ввода АЭС с РБН

— В мире кто-то озвучивает похожий системный подход к развитию двухкомпонентной атомной энергетики? Или это наша уникальная стратегия?

— Почему уникальная? Все понимают, что у атомной энергетики нет другого выхода, а, скорее всего, нет другого выхода и у человечества. Я лично на сегодняшний день другого источника энергии, кроме ядерного, не вижу. А для того чтобы он был надолго, он должен быть неограниченным по сырьевым показателям, то есть возобновляемым, сделать это без замыкания ядерного топливного цикла по урану и плутонию невозможно. Уровень технологического развития человечества сегодня говорит о том, что пока есть только энергия деления, которая способна вот это делать. Есть люди, которые занимаются термоядерным синтезом. С моей точки зрения, до конца века практического применения термояда не будет. Если у них будет скачок — слава богу. Но пока все работы по термоядру в основном идут на идеологии токамаков, а у них есть свои ограничения. Это, конечно, дорога в будущее. Но может оказаться, что она тупиковая.

— А как вы сейчас в целом оцениваете глобальные перспективы развития атомной энергетики? Часто звучит мнение, что западные страны утратили компетенции в проектировании и строительстве АЭС. Вы с этим согласны?

— Я 20 лет был членом INSAG (International Nuclear Safety Advisory Group.— *Прим. ред.*), это группа советников по ядерной безопасности при генеральном директоре МАГАТЭ. За свою жизнь и в Америке успел поработать — в комиссии по ядерному регулированию. Очень хорошо знаю американских инженеров и ученых, французских, немецких, японских и других. И вижу определенную деградацию: приходят люди с какими-то другими мозгами. Сегодня атомной энергетикой занимаются менеджеры, а не ученые и не инженеры. Куча обещаний, куча новых компаний. Вот, например, американская компания NuScale, которая занималась одной из перспективных разработок реакторов малой мощности. Контракты заключили, обещали. В итоге проект закрыт, потому что цены с момента обещаний стали несусветными. А энергетическая политика, которую ведет, например, Евросоюз? Для меня это бы был кошмар, если бы такое было у нас: упор на ветровую и солнечную энергетику, хотя их КИУМ много ниже, чем 90%, который имеют АЭС. Вот китайцы просто молодцы: имеют дешевые кредиты, со всего мира все взяли, на этой основе сделали свое, и очень неплохо. Но они все виды энергетики развивают, и в том числе очень активно атомную. Конечно, у каждой энергии есть своя ниша. Но глобальное обеспечение человечества энергией на сегодняшний день возможно только в супердлинной перспективе. И только за счет ядерной энергии.

Текст: Юлия Долгова
Фото: Курская АЭС
Инфографика: Росатом

Андрей Кучумов, вице-президент — первый заместитель директора Объединенного проектного института по технической политике:

«Созданные технические решения могут и должны быть использованы не только в рамках проекта ВВЭР-ТОИ»

На Курской АЭС близ города Курчатова происходит смена поколений: здесь по новому проекту ВВЭР-ТОИ идет сооружение двух энергоблоков станции замещения — Курской АЭС-2. Об особенностях проекта, обладающего улучшенными технико-экономическими характеристиками, «Вестнику атомпрома» рассказал Андрей Кучумов, вице-президент — первый заместитель директора Объединенного проектного института по технической политике (Инжиниринговый дивизион Росатома).

— Андрей Юрьевич, расскажите, когда и чем была вызвана необходимость разработки ВВЭР-ТОИ. Как ставились основные задачи проекта?

— К 2009 году, когда началась работа над проектом ВВЭР-ТОИ, в отрасли имелась следующая стратегическая проблема: отсутствовал типовой серийный проект АЭС, отвечающий современным конкурентным требованиям мирового рынка. Последний типовой серийный проект был разработан в 1980 году, он реализован на девяти многоблочных АЭС в нашей стране и за рубежом — Балаковской, Ростовской, Калининской, Запорожской, АЭС «Темелин» в Чехии и других. Проекты же АЭС «Куданкулам», Тяньваньской АЭС, Нововоронежской АЭС-2, Ленинградской АЭС-2 являются не типовыми, а уникальными, что, соответственно, влечет за собой более высокую стоимость и длительные сроки сооружения. Кроме того, имея высочайшие стандарты безопасности, признанные мировым сообществом, перечисленные проекты значительно уступали конкурентам в части применения современных средств проектирования и управления данными.

Стратегической проблемой того времени можно назвать и отсутствие в нашей новейшей истории опыта консолидации кадрового потенциала отрасли для реализации одного проекта. Поэтому важно, что в ходе работы над ВВЭР-ТОИ была создана команда, состоящая из лучших сил московского и нижегородского «Атомэнергопроектов», ОКБ «Гидропресс», Курчатовского института, ВНИИАЭС, структур концерна «Росэнергоатом», общей численностью более двух тысяч специалистов. Среди них были и «старики», обладающие всеми необходимыми знаниями и опытом, и молодежь, в совершенстве владеющая цифровыми технологиями. Всем вместе удалось создать атмосферу коллективной работы, направленной на единую цель, единый результат.

Нами был сформирован перечень качественных и количественных характеристик, способных обеспечить конкурентоспособность проекта с учетом динамики развития мирового рынка. Прежде всего, это совокупная безопасность, стоимость, сроки сооружения, типизация и серийность, применение современных информационных технологий. Всего было выделено 24 критерия конкурентоспособности,

на основании которых определены основные технико-экономические требования к создаваемому типовому проекту АЭС.

Для достижения этих требований была проведена масштабная оптимизация проектных решений референтных АЭС по всем направлениям: генеральный план и транспорт, технологические решения основных зданий и сооружений, архитектурно-строительные и планировочные решения, электротехнические решения и АСУ ТП, а также концепция безопасности АЭС, в том числе с учетом опыта событий на АЭС «Фукусима». Наряду с использованием основных технических решений АЭС-2006 в проекте ВВЭР-ТОИ применяются новые оптимизационные решения эволюционного характера, позволяющие еще более развить эксплуатационные характеристики реакторной установки и энергоблока в целом при обеспечении необходимого уровня безопасности.

— С буквами «Т» — типовой и «О» — оптимизированный в аббревиатуре «ТОИ» мы разобрались. А что скажете о букве «И»? Почему проект называется информатизированным?

— Создание новых решений, которые дадут возможность и разработать проект в современной информационной среде, и управлять информацией на протяжении всего жизненного цикла энергоблока, было одним из наших приоритетов. Анализ опыта крупнейших мировых проектных и инжиниринговых компаний показал, что на тот момент не существовало комплексных решений, которые позволяли объединить в единое целое данные из различных САПР, а также систем управления информацией по энергоблоку на стадиях проектирования и сооружения. Перед командой разработчиков, отвечающих за ИТ-часть проекта, была поставлена амбициозная задача создания именно такой комплексной системы, которая стала бы одним из конкурентных преимуществ нового проекта. Для решения этой задачи пришлось изменить стереотипы проектирования и перейти от «бумаги» к 3D, гармонизировать ИТ-решения с действующими нормативными документами и буквально переучить проектировщиков и конструкторов, чтобы они начали работать в новой информационной среде.

Итогом стала разработка системы, которая позволяет не только выполнять проектирование и конструирование объекта с использованием самых современных информационных технологий, но и осуществлять комплексное управление информацией по всем составляющим энергоблока АЭС: от непосредственно проекта в формате 3D, закупки и поставки оборудования, управления сроками, ресурсами, стоимостью при сооружении АЭС до верификации данных и управления требованиями к проекту. Аккумуляция всей информации по проекту в единой среде позволила значительно повысить качество проектных работ, разработать типовые технические и компоновочные решения и создать комплексную информационную модель неизменяемой части проекта, готовую к тиражированию на различных площадках сооружения АЭС.

Если говорить о примерах практического применения, то в результате моделирования в информационной системе можно найти самые эффективные решения для оптимизации хода строительно-монтажных работ по заданным параметрам: точно определить опасные и рабочие зоны, выбрать оптимальные

Коротко

Информационная модель ВВЭР-ТОИ представляет собой единый источник данных об изделии, включая зафиксированные в электронном виде результаты деятельности по разработке РУ в составе трехмерных моделей оборудования с атрибутивной информацией, чертежей и документов. Использование информационной модели обеспечивает совместную и согласованную работу отдельных сотрудников и подразделений, дает возможность получить доступ к точным данным о структуре изделия, стадии разработки, этапе выпуска отдельных узлов оборудования.

ВВЭР-ТОИ в цифрах

1255 МВт

мощность энергоблока электрическая (брутто, гарантийный режим)

93%

коэффициент готовности (при топливном цикле 18 месяцев)

100–50–100%

возможный диапазон изменения мощности (маневренный режим)

72 часа

время обеспечения автономности работы энергоблока в случае запроектных аварий

На фото

Установка фермы-консоли устройства локализации расплава — элемента пассивных систем безопасности атомной станции (блок №2 Курской АЭС-2, 2020 г.)

площадки складирования, задать условия совместной безопасной работы нескольких механизмов. Созданы инструменты, которые дают возможность визуализировать, как развиваются строительно-монтажные процессы при сооружении объекта во времени. Так можно более точно спланировать предстоящие работы и, соответственно, более точно определить предстоящие затраты материальных и трудовых ресурсов, распределить их по времени, повысить качество оценки рисков. Можно моделировать несколько вариантов сценариев сооружения энергоблока, в том числе с применением различных схем и средств механизации, при этом есть возможность не просто спланировать, а детально промоделировать процессы особо сложных монтажных операций, что повышает качество и точность выполняемых работ.

— Безопасность — это безусловный приоритет атомной отрасли. Расскажите о характеристиках безопасности ВВЭР-ТОИ. Как в проекте учтены постфукусимские требования?

— Повышению безопасности энергоблока в рамках реализации проекта отведено особое внимание. Показатели безопасности ВВЭР-ТОИ подготовлены всем предшествующим опытом разработок АЭС с реакторами типа ВВЭР и соответствуют международно признаваемому уровню и ожиданиям мирового рынка.

Последствия событий на АЭС в Три-Майл-Айленде, Чернобыле и Фукусиме сосредоточили внимание мирового сообщества атомщиков на необходимости нейтрализации тяжелых аварий. Действующие в нашей стране требования к безопасности атомных станций также предусматривают обязательные меры и средства управления тяжелыми авариями. В то же время международные рекомендации, формулируемые в том числе МАГАТЭ, подчеркивают необходимость сбалансированных сочетаний активных и пассивных систем безопасности. В проекте ВВЭР-ТОИ, в отличие от подходов ближайших зарубежных конкурентов — разработчиков реакторов типа PWR, достоинства активных и пассивных систем безопасности сочетаются оптимальным образом. Построение систем безопасности ВВЭР-ТОИ проводится исходя из двухканальной структуры активных систем (без внутреннего резервирования элементов) и четырехканальной структуры пассивных систем.

Наличие активных систем безопасности, среди которых системы аварийного и планового расхолаживания и охлаждения бассейна выдержки, аварийного ввода бора, аварийного расхолаживания парогенераторов, аварийного газоудаления, аварийного электропитания (дизель-генераторы и аккумуляторы), позволяет значительно упростить поставарийные меры по переводу реакторной установки в безопасное состояние и вместе с тем дает возможность избежать избыточных требований к пассивным системам.

В свою очередь, наличие пассивных систем (таких как системы гидроемкостей первой, второй и третьей ступени, система пассивного отвода тепла, предохранительные устройства первого и второго контура), диверсифицирующих выполнение функций безопасности активными системами, позволяет оптимизировать количество оборудования в активных системах без ущерба для безопасности энергоблока.

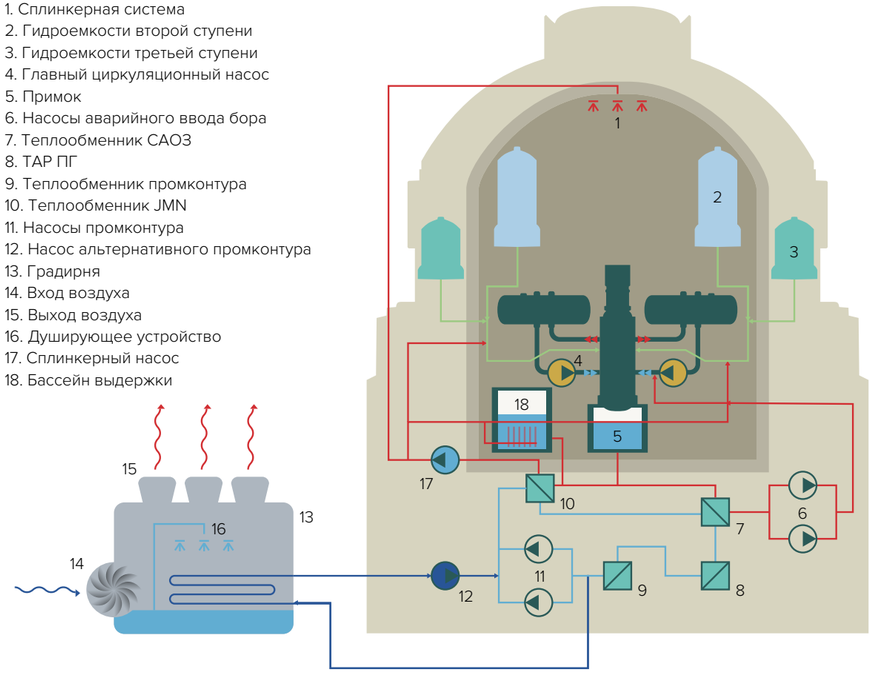
Более высокий уровень безопасности ВВЭР-ТОИ по сравнению с другими проектами достигается за счет эффективного сочетания активных и пассивных систем, обеспечивающих функциональное резервирование, длительную автономность блока в условиях аварий (не менее 72 часов), защиту от отказов общего вида, снижение влияния человеческого фактора. Кроме того, с учетом результатов анализа причин и последствий аварии на АЭС «Фукусима» в проекте предусмотрены технические средства для преодоления такого рода маловероятных запроектных

Коротко

В проекте ВВЭР-ТОИ реализован полный комплекс технических решений, позволяющих обеспечить безопасность АЭС и исключить сверхнормативный выход радиоактивных сред в окружающую среду в условиях внешних (природных и техногенных) воздействий в сочетании с внутренними исходными событиями и дополнительными отказами. В проекте обеспечено выполнение всех основных инженерных принципов современной концепции глубокоэшелонированной защиты.

Организация отвода тепла с использованием альтернативного промконтура

1. Сплинкерная система
2. Гидроемкости второй ступени
3. Гидроемкости третьей ступени
4. Главный циркуляционный насос
5. Примок
6. Насосы аварийного ввода бора
7. Теплообменник САОЗ
8. ТАР ПГ
9. Теплообменник промконтура
10. Теплообменник JMN
11. Насосы промконтура
12. Насос альтернативного промконтура
13. Градирня
14. Вход воздуха
15. Выход воздуха
16. Душирующее устройство
17. Сплинкерный насос
18. Бассейн выдержки



событий, в том числе в условиях разрывов трубопроводов первого контура, за пределами 72 часов.

В первую очередь дополнительные технические меры по обеспечению безопасности АЭС с ВВЭР-ТОИ направлены на отвод тепла от бассейна выдержки и ограничение роста давления внутри защитной оболочки, поскольку при наиболее вероятных исходных событиях с потерей электропитания и конечного поглотителя (без течи первого контура) отвод тепла от активной зоны может быть потенциально неограниченно длительным — за счет работы системы пассивного отвода тепла, а отвод тепла от бассейна выдержки и исключение переопрессовки защитной оболочки ограничены по времени. Для увеличения длительности автономности АЭС при исходных событиях, связанных с потерей плотности первого контура, приняты меры по обеспечению подпитки реактора для отвода тепла от активной зоны. Также обеспечен в длительной перспективе контроль параметров безопасности и других параметров, позволяющих иметь объективную информацию о состоянии энергоблока.

Ужесточение требований к безопасности энергоблоков привело к необходимости реализации ряда других новых технических решений, в том числе обеспечивающих устойчивость АЭС к падению тяжелого самолета (20 тонн — базовый вариант, 400 тонн — опция), а также к другим экстремальным внешним воздействиям (ураганы, смерчи, наводнения).

Кроме того, с учетом перспектив реализации проекта ВВЭР-ТОИ на площадках с повышенной сейсмичностью значительное внимание уделено повышению сейсмостойкости АЭС. В качестве базового условия обеспечения сейсмостойкости определено максимальное расчетное землетрясение — 7 баллов по шкале MSK-64, а для конструкций и узлов, выполняющих функции безопасности,— 8–9 баллов. Без существенного изменения объемно-планировочных и принципиальных конструктивных решений в проекте предполагается возможность восприятия сейсмических воздействий до 9 баллов. При размещении АЭС с ВВЭР-ТОИ на площадках с высоким уровнем сейсмичности должно выполняться окончательное обоснование сейсмостойкости с учетом конкретных сейсмологических и геологических условий.

— Есть ли в проекте новые решения, касающиеся топливного цикла?

Коротко

Организация европейских энергопроизводителей в 2019 году признала проект ВВЭР-ТОИ соответствующим Требованиям европейских эксплуатирующих организаций (European Utility Requirement, EUR). Выводы о соответствии проектных решений требованиям EUR были сделаны европейскими экспертами на основе рассмотрения проектно-конструкторской документации и информации, представленной в документах по референтному проекту Курской АЭС-2: анализ предусматривал изучение ответов на 4332 вопроса, касающихся всего комплекса атомной станции. В результате европейские эксперты пришли к выводу о соответствии проекта ВВЭР-ТОИ современным представлениям о безопасности и экономичности АЭС.

— Для ВВЭР-ТОИ проведена работа по оптимизации нейтронно-физических характеристик активной зоны, в качестве базового разработан 18-месячный топливный цикл. Для обеспечения рыночной привлекательности проекта выполнены оценки возможности работы энергоблока в маневренном режиме по графику с ежесуточной разгрузкой до уровня мощности 50% от номинальной, для этого разработаны алгоритмы управления полем энерговыделения с использованием температурного регулирования. Температурное регулирование обеспечивается за счет применения в проекте нового парогенератора, позволяющего работать при изменении давления пара в диапазоне от 6,55 до 7,0 МПа. В конечном итоге это позволяет обеспечить работу энергоблока в суточном графике изменения мощности практически в течение всей продолжительности работы топливной загрузки с минимальным использованием системы борного регулирования, что, в свою очередь, снизит объем водообмена и переработки борсодержащего теплоносителя.

Для снижения радиоактивных отходов при эксплуатации АЭС в проекте ВВЭР-ТОИ разработан новый водно-химический режим (ВХР) теплоносителя первого контура без использования аммиака, с дозированием водорода в теплоноситель. Таким образом достигается существенное снижение активных технологических отходов за счет сокращения объема регенерационных растворов в системах переработки теплоносителя. Отсутствие аммиака приведет к упрощению технологии поддержания ВХР, особенно в периоды пуска и расхолаживания реактора, при этом снижается объем лабораторного контроля и упрощается внедрение системы автоматизированного контроля.

В проекте рассмотрена в качестве опции возможность использования МОКС-топлива. Выполненные расчеты показали, что основные нейтронно-физические характеристики активной зоны при доле МОКС-топлива порядка 40% находятся в пределах значений, используемых в анализе безопасности.

— Расскажите об особенностях компоновочных решений, которые применены для энергоблоков с ВВЭР-ТОИ.

— Если говорить о компоновочных решениях, то нужно не просто перечислять их, а пояснить, для чего они нужны. Приведу несколько примеров.

В проекте ВВЭР-ТОИ применена новая, «зеркальная» компоновка реакторной установки, которая отличается от всех предыдущих параллельным расположением парогенераторов с побоксовым расположением петель, что позволяет исключить влияние аварийных ситуаций на соседние петли, а также выровнять длины трасс паропроводов до турбины. Это, в свою очередь, дало возможность обеспечить следующие направления оптимизации компоновочных решений: сокращение транзитных потоков кабелей и воздуховодов через технологические помещения, уменьшение так называемых паразитных объемов здания (коридоры, тамбуры), сокращение трубопроводных связей между технологическим оборудованием, сокращение общего количества систем, которые выполняют сходные функции, и др.

В числе принципиальных положений, на основании которых выполнена компоновка здания реактора,— физическое разделение каналов систем безопасности, обеспечивающее защиту элементов этих систем от отказов по общей причине. Основным условием, обеспечивающим разделение каналов, трубопроводов и оборудования систем безопасности в здании реактора, является расположение трубопроводов и оборудования в отдельных помещениях, разделенных стенами с огнестойкостью не менее 3 часов. Помещения трубопроводов аварийного расхолаживания первого контура отделены от трубопроводов аварийного расхолаживания второго контура стенами, тамбурами, герметичными дверями. Это позволяет максимально защитить каналы, важные для безопасности, от пожара, летящих предметов, ударной

Коротко

Компоновочные решения генерального плана ВВЭР-ТОИ основаны на традиционной схеме размещения основных зданий и сооружений АЭС, но применение нового подхода по организации вспомогательных зданий, технологических связей и объектов транспортного хозяйства позволило уменьшить площадь промплощадки на 23%, сократить периметр физзащиты на 26%, протяженность технологических тоннелей — на 40%, а внутриплощадочных автодорог — на 12%.

волны, внешних воздействий, несанкционированного доступа и вывода из строя нескольких каналов системы безопасности.

При проектировании вспомогательного реакторного здания принят принцип компактного размещения оборудования и коммуникаций, учтены такие дополнительные аспекты, как доступ к оборудованию, требующему периодических инспекций и ремонтов, возможность его демонтажа, замены и транспортировки, достаточное пространство для передвижения персонала и материалов.

Помещения зоны контролируемого доступа скомпонованы с учетом расположения необслуживаемых помещений и периодически обслуживаемых помещений в едином пространстве. Это позволило упорядочить компоновку технологических трубопроводов, разделив потоки трубопроводов и воздуховодов по «чистому» и «грязному» трубопроводным коридорам и шахтам. Трубопроводы с радиоактивными жидкостями прокладываются изолированно от других коммуникаций для локализации возможных аварий и ликвидации их без нарушения нормальной эксплуатации.

Все помещения по своему расположению, как правило, объединены так, чтобы активность сред размещенного в них технологического оборудования была одного порядка. Компактное размещение оборудования, сгруппированного таким образом, приводит к снижению объемов радиационной защиты, а также к сокращению технологических коммуникаций (трубопроводов с активными средами, каналов трапных вод и спецвентиляции), то есть к снижению количества радиоактивных источников, требующих индивидуальной защиты.

— За счет чего снижены проектные сроки сооружения энергоблоков с ВВЭР-ТОИ?

— Сокращение сроков строительства головного энергоблока до 48 месяцев и серийного до 40 месяцев (от начала укладки бетона в фундаментную плиту здания реактора до начала физпуска при вводе энергоблока в промышленную эксплуатацию) являлось одним из основных требований к проекту ВВЭР-ТОИ. В процессе разработки проекта были определены оптимальные строительно-монтажные технологии, необходимые грузоподъемные механизмы, а также организационные мероприятия, которые дают возможность достичь необходимых сроков сооружения и сократить трудоемкость строительства.

В проекте организации строительства детально описаны все варианты строительно-монтажных технологий основного периода строительства АЭС, а также приводятся решения по организации работ подготовительного периода, выполнение которых вносит весомый вклад в сокращение сроков возведения АЭС. Так, решения по организации работ подготовительного периода включают опережающую прокладку подземных коммуникаций в зоне строительства, наличие всех внутриплощадочных автомобильных дорог, реализованный проект по энергоснабжению территории строительной площадки для организации строительно-монтажных работ в две-три смены.

Можно также отметить решения по сооружению строительно-монтажной базы в объеме, необходимом для первого года строительства: она должна быть мобильной, состоящей из зданий и сооружений максимальной заводской готовности в комплектно-блочном исполнении. Предусмотрена подготовка необходимого запаса готовых строительных конструкций, материалов, деталей для сооружения фундаментной плиты и вышерасположенных строительных конструкций здания реактора. Также в подготовительный период должно быть выполнено строительство постоянных зданий и сооружений, необходимых в период основного строительства: периметра защищенной зоны, комплекса очистных сооружений, пускорезервной котельной, внеплощадочных подъездных дорог и т. д. Правильно организованный и своевременно выполненный подготовительный период позволит оперативно развернуть и вести строительно-монтажные работы основного периода сооружения энергоблоков.

Если говорить об основных принципах, на которых базируется единая технология возведения АЭС с энергоблоками ВВЭР-ТОИ, то можно отметить следующие: перенос большой части трудозатрат при строительстве АЭС в заводские условия (минимальное изготовление элементов на стройплощадке); поставка на стройплощадку блоков и изделий полной заводской готовности; использование автоматической и роботизированной сварки; применение самоуплотняющихся бетонов, которые практически исключают трудозатраты на виброуплотнение свежеуложенного бетона; выпуск рабочей документации в полном объеме до начала производства соответствующих работ. И, разумеется, необходимо своевременное обеспечение объекта материалами, конструкциями и оборудованием, а также наличие высококвалифицированных кадров и высокая производственная культура и дисциплина.

— Подтверждается ли расчетная стоимость сооружения на практике — при строительстве первых энергоблоков с ВВЭР-ТОИ на Курской АЭС?

— Скажем так, конечно, расчеты по стоимости сооружения АЭС с ВВЭР-ТОИ носили идеальный характер для идеальных условий. Базовый проект ВВЭР-ТОИ мы делали для условий площадки Нововоронежской АЭС-2. Строительство реальных блоков на конкретной площадке Курской АЭС-2 оказалось дороже, потому что привязка к площадке, естественно, потребовала дополнительных проектных решений. Конъюнктура рынка, в том числе подорожание определенных материалов, дефицит персонала для производства строительно-монтажных работ, стоимость самих денег (кредиты, инфляция) — все это вносит свой вклад. Да, в реальности проект Курской АЭС действительно получился дороже, чем предполагался. Но тем не менее я считаю, что полученные экономические результаты для нас в целом удовлетворительные.

— Отразились ли на проекте геополитические изменения последних двух лет?

— Действительно, определенные проблемы у нас возникли, потому что достаточно существенная часть оборудования, которое мы используем для ВВЭР-ТОИ, была ориентирована на зарубежные поставки. Это относится и к исходному сырью, материалам, например к металлу, из которого изготавливается и корпус реактора, и турбина. Часть металла шла по импорту из стран, с которыми у нас сейчас недружественные отношения. Но мы эти вопросы решили за счет расширения собственных производственных мощностей, в том числе по большей части оборудования, которое закупалось по импорту, мы разместили заказы на наших отечественных заводах, включая и те производственные мощности, которыми располагает Росатом. Некоторые проблемы до сих пор существуют, но есть программы по их решению, есть программы по созданию новых производств для того, чтобы эти проблемы были успешно решены. Импортозамещение уже вполне реально работает, и мы стараемся таким образом выходить из сложившейся ситуации.

— Как вы видите дальнейшую эволюцию технологии ВВЭР?

— Будет дальнейшая оптимизация базового проекта с использованием всего опыта как проектирования и сооружения, так и эксплуатации, который был накоплен за период реализации проектов АЭС-2006 и ВВЭР-ТОИ. В нем будут использованы самые лучшие, наиболее экономичные и наиболее лицензируемые решения по Ленинградской АЭС-2, Нововоронежской АЭС-2, Курской АЭС-2. Это будет в том числе дальнейшая эволюция решений, которые использовались в базовом проекте ВВЭР-ТОИ, и с точки зрения реакторной установки большей мощности, то есть использования корпуса реактора ВВЭР-ТОИ, и с точки зрения защиты от внешних экстремальных воздействий, таких как падение большого коммерческого самолета и высокая сейсмика,— весь этот опыт будет учтен при разработке нового базового проекта. Проект будет ориентирован на максимальное использование отечественного оборудования и обязательно будет обладать ключевым набором характеристик и решений, востребованных на внешнем рынке, таких как маневренность, использование МОКС-топлива, высокий уровень безопасности, экономичность. Такой проект АЭС будет нужен заказчикам и на территории России, и за рубежом.

Коротко

Применение унифицированных решений при разработке 3D-компоновки зданий и сооружений неизменяемой части проекта ВВЭР-ТОИ позволяет получить любую разбивку на блоки в зависимости от требований производства строительно-монтажных работ и транспортных возможностей, а также обеспечить:

— выпуск рабочей документации в полном объеме до начала основного этапа строительства;
— уникальные решения в части применения технологий крупноблочного (модульного) сооружения объектов;
— решения по увеличению заводской готовности строительных конструкций и сокращению монтажа на площадке (использование предприятий стройиндустрии);
— применение комплектно-блочного исполнения элементов оборудования и трубопроводов (максимальная заводская готовность);
— оптимизацию организации строительно-монтажных работ и применение поточного метода строительства.

Коротко

Площадка сооружения Курской АЭС-2 признана образцовой строительной площадкой госкорпорации «Росатом»: ей, пока единственной в отрасли, присвоен третий — наивысший — уровень строительного ПСР-образца. Строительный ПСР-образец — это площадка с максимально эффективной организацией строительного процесса. При оценке эффективности ПСР-образца принимаются во внимание как количественные, так и качественные показатели эффективности: организация строительных работ и сроки выполнения контрольных событий.

На фото

На стройплощадке энергоблока №1 Курской АЭС-2 раньше срока выполнена одна из ключевых операций года — постановка турбоагрегата на валоповоротное устройство (июнь 2024 г.)

Текст: «Вестник атомпрома»
Фото: газета «Страна Росатом» / Евгений Ворошилов

АЭС «Пакш-2»: первый ВВЭР-1200 в Евросоюзе

Металлурги Росатома начали изготовление реакторной установки для венгерской АЭС

Завод «АЭМ-Спецсталь» (Машиностроительный дивизион Росатома) в апреле 2024 года приступил к ковке партии заготовок для корпуса реактора первого энергоблока АЭС «Пакш-2». Старт изготовлению деталей в торжественной обстановке был дан в присутствии российской и венгерской делегаций, в которые вошли президент — генеральный директор АЭС «Пакш-2» Гергей Якли, мэр города Пакш Петер Сабо, вице-президент АО «Атомстройэкспорт» — директор проекта по сооружению АЭС «Пакш» Виталий Полянин, первый замглавы Машиностроительного дивизиона Росатома Андрей Синяков.

Для первой партии заготовок отлито 600 тонн металла. В дальнейшем из этих заготовок будут изготовлены обечайки РУ ВВЭР-1200. Обечайки — важный конструктивный элемент корпуса реактора. Они представляют собой пустые цилиндры, которые свариваются между собой. Детали изготавливают на одном из крупнейших в Европе автоматизированных кузнечных комплексов. Затем они будут направлены на специализированные крупногабаритные токарно-карусельные станки для механической обработки.

Начатая работа демонстрирует активное развитие атомной отрасли по широкому спектру направлений: осваиваются передовые технологии и продукты и расширяется география присутствия, несмотря на международную конъюнктуру. «В настоящее время на строительной площадке двух новейших энергоблоков ВВЭР-1200 АЭС «Пакш» завершено сооружение противофильтрационной завесы, продолжаются работы по укреплению грунтов в зоне энергоблока № 5, предшествующие разработке котлована. До конца 2024 года планируем выход на «первый бетон» — ключевое событие при сооружении АЭС. Параллельно с этим сегодня проводится большая работа по изготовлению основного оборудования для будущей АЭС — уже произведено устройство локализации расплава, сегодня началось производство заготовок для корпуса реактора энергоблока № 5, впереди — заготовки для парогенераторов, компенсаторов давления, емкостей систем безопасности и других изделий первого контура ядерного острова АЭС. Изготовление оборудования первого контура ядерного острова запланировано в 2028 и 2029 годах, и к тому времени уже будут выполнены основные строительные работы»,— отметил вице-президент АО «Атомстройэкспорт» — директор проекта по сооружению АЭС «Пакш» Виталий Полянин.

Справка

Главная тема

Сооружение АЭС «Пакш-2» — первый современный проект АЭС российского дизайна с реакторами ВВЭР-1200 поколения III+, реализуемый на территории Евросоюза на основе российско-венгерского межправительственного соглашения от 14 января 2014 года и трех базовых контрактов о сооружении новой станции. Основная лицензия на строительство АЭС «Пакш-2» была выдана венгерским регулятором в августе 2022 года, что подтвердило соответствие проекта венгерским и европейским нормам безопасности. В России успешно эксплуатируются уже четыре блока с реакторами ВВЭР-1200 и два аналогичных блока за пределами страны — на Белорусской АЭС.

Текст: Екатерина Каткова
Фото: «Русатом Сервис», газета «Страна Росатом» / Никита Барей

Евгений Сальков, генеральный директор «Русатом Сервис»:

«Каждая модернизация направлена на повышение уровня безопасности»

Атомная энергетика остается одним из ключевых видов генерации в энергобалансе Армении. Специалисты готовят второй энергоблок АЭС близ города Мецамора к продлению срока эксплуатации до 2036 года и уверены, что это не предел: современные технологии и мероприятия по модернизации основного оборудования позволяют продлевать жизнь советским реакторам типа ВВЭР на десятилетия. Как проходила первая модернизация Армянской АЭС, чем от нее принципиально будет отличаться вторая и как ремонты отражаются на сейсмостойкости АЭС, рассказал генеральный директор «Русатом Сервис» Евгений Сальков.

— Премьер-министр Никол Пашинян недавно назвал Армянскую АЭС символом суверенитета страны. Какую долю в энергобалансе Армении ААЭС занимает сегодня и почему, на ваш взгляд, за столько лет альтернативы ей не появилось?

— На сегодняшний день в общей генерации энергии в стране второй блок Армянской атомной станции занимает 35–40%. И альтернативу ей сложно создать в первую очередь по экономическим причинам. В Армении много установленных мощностей, их, может быть, даже избыток по сравнению с энергопотреблением, но важен вопрос себестоимости.

Тепловые станции используют в качестве топлива газ, волатильность цены на газ гораздо выше, чем на ядерное топливо. Это отражается на себестоимости произведенной на ТЭЦ энергии и ее цене на рынке. В силу того, что Армения — горная страна, здесь достаточное количество гидроэлектростанций. Но есть сезонный фактор: горные реки полноводны в осенний и весенний период, когда идут дожди или тает снег, а например, летом генерация энергии на малых ГЭС значительно снижается. В Армении очень много солнечной генерации, это солнечная страна, но даже здесь бывает облачно, порой идут дожди, следовательно, выработка на солнечных станциях тоже не постоянна. В этой общей картине АЭС — логичная и выгодная составляющая энергобаланса. Атомная станция — это стабильная, экологичная, зеленая электроэнергия. И во многом она помогает социально-экономическому развитию страны, потому что это еще и дешевый источник энергии, а также создание достойных рабочих мест, развитой инфраструктуры пристанционного города.

— Сколько раз в общей сложности продлевался срок службы второго энергоблока?

— Совместно с армянскими специалистами мы пока реализовали один этап, то есть продление срока эксплуатации Армянской АЭС осуществлялось единожды. В конце 2014 года в Москве было подписано межправительственное соглашение о сотрудничестве в продлении срока эксплуатации энергоблока № 2 в присутствии тогда гендиректора госкорпорации «Росатом» Сергея Кириенко и министра энергетики Армении Ерванда Захаряна. И уже в 2015 году мы приступили к практическим работам и реализовали

проект в течение пяти лет. В 2021 году на основании подготовленных документов надзорный орган Армении принимал решение о продлении срока эксплуатации энергоблока и выдал лицензию, которая позволяет армянским специалистам эксплуатировать атомную станцию до 2026 года.

Сейчас речь идет о втором продлении срока эксплуатации АЭС — с 2026 до 2036 года. В прошлом году правительство Армении запустило этот процесс, в декабре 2023-го «Русатом Сервис» подписал контракт о продлении срока эксплуатации второго энергоблока с ЗАО «Армянская АЭС». Чтобы получить новую лицензию на дальнейшую эксплуатацию АЭС от Комитета по регулированию ядерной безопасности Армении, необходимо в период с 2023 по 2026 год провести ряд мероприятий, в том числе по проверке, возможному ремонту и модернизации оборудования.

— Модернизация и продление срока эксплуатации — это разные процессы или одно логично следует из другого?

— Я бы ответил следующим образом: продление срока эксплуатации подразумевает обязательную модернизацию разных систем атомной станции и систем безопасности, связанных как с реакторным отделением, так и с машинным залом и любой другой инфраструктурой АЭС.

Важно при этом понимать, что проекты модернизации отдельных систем осуществляются всегда, на всем жизненном цикле атомных станций. Есть планово-предупредительные ремонты, проверки со стороны контрольно-надзорных органов. Если в ходе планового ремонта или проверки оборудования специалисты установили, что какая-либо система уже выработала свой ресурс, то она либо модернизируется, либо заменяется.

Продление срока эксплуатации зависит от решения регулирующего органа, в данном случае это Комитет по регулированию ядерной безопасности Армении. На основании данных о проведенной модернизации и замене оборудования регулятор определяет дальнейший срок службы энергоблока и выдает лицензию на эксплуатацию на соответствующий период. И продолжает контролировать безопасность станции и оборудования, осуществляя плановые и внеплановые проверки.

— Насколько серьезная и комплексная замена оборудования была проведена в ходе модернизации Армянской АЭС в 2015–2021 годах?

— Работа была проделана колоссальная. Если мы возьмемся измерять ее, например, в железнодорожных составах, то это не один и не два состава оборудования, а намного больше.

Раз уж мы заговорили о составах: в рамках модернизации ААЭС пришлось также ремонтировать железнодорожное полотно, которое позволяло бы подвезти крупногабаритное оборудование к станции — к тому

времени дорога находилась в неудовлетворительном состоянии. Здесь большую работу проделали наши коллеги из РЖД: помимо восстановления колеи им пришлось восстанавливать железнодорожные мосты, усиливать их конструкцию, чтобы обеспечить пропускную способность для безопасной доставки массивного и тяжелого оборудования.

Если говорить про реакторное отделение, то мы заменили и модернизировали практически все ключевые системы безопасности. Машинный зал у ААЭС по итогам первого продления срока эксплуатации абсолютно новый: мы заменили и турбину, и генератор, обновили всю систему. Оборудование стало более современным, во многом более компактным, в машинном зале даже освободилось много места.

Всего на модернизацию в рамках продления срока эксплуатации было потрачено 300 млн долларов. Были задействованы несколько сотен специалистов из разных подрядных организаций: в пиковые периоды на площадке Армянской АЭС работали до 700 специалистов из России. Это специалисты и структур Росатома, и организаций, не входящих в состав госкорпорации, но имеющих опыт работы в атомной отрасли.

На станцию было поставлено ключевое оборудование преимущественно российского производства. За исключением нескольких позиций, которые мы приобретали за рубежом по желанию армянского заказчика.

— Как была организована эта работа?

— Первый этап всегда документарный, расчетный: происходит обследование разных систем конструкций атомной станции, готовится заключение о том, как эти системы могут эксплуатироваться: либо в рамках обычного режима поддерживать их за счет планового технического обследования и ремонта, либо система или оборудование уже выработали свой ресурс и, соответственно, нуждаются в замене.

На основании сделанных заключений специалисты приступают к практической работе: это подготовка проектных документов, изыскательские работы, поставка оборудования, а следом строительно-монтажные, наладочные работы. По итогам проведения всех работ подтверждающая документация предоставляется в надзорный орган,— напомню, это Комитет по регулированию ядерной безопасности Армении,— который в течение довольно продолжительного периода времени рассматривает отчеты, выдает свои замечания. Эти замечания и мы, как агент-подрядчик, и эксплуатирующая организация последовательно устранили. И в итоге была выдана лицензия на продление эксплуатации

станции. Естественно, дальше станция работает, обслуживается, проходит проверки и ППР (планово-предупредительные ремонты).

— Одним из важных элементов этой работы стал отжиг корпуса реактора. Как проходила эта процедура и в чем ее уникальность?

— Это очень сложная техническая операция и очень ответственная: если отжиг корпуса произойдет некачественно, то можно потерять реактор. У Росатома есть и технологии, и специалисты, которые могут эту работу выполнять.

В целом отжиг реактора, включая подготовительный этап, занял год. Сначала была подготовлена необходимая документация, ее согласовали с надзорным органом, далее на трех огромных фурах в Армению было доставлено специальное оборудование. Процесс осложнялся еще и тем, что мы работали во время пандемии, это создало дополнительные трудности при транспортировке оборудования и перемещении персонала.

Квалифицированные специалисты «Атомэнергоремонта» на площадке собрали печь высотой с двухэтажный дом, далее эта печь была вмонтирована в корпус реактора, который, как вы догадываетесь, на это время был остановлен, выведен из сети. Сама процедура, если совсем упрощать, проходила так: в течение нескольких дней температура в печи постепенно поднималась до 475 °С, потом в течение 15 суток корпус отжигался, после чего температура очень плавно — градиент за градиентом — постепенно понижалась. Смысл этого действа в том, чтобы в результате воздействия на металл высоких температур максимально восстановить его проектные характеристики.

Процедура прошла успешно: по итогам отжига корпуса реактора его первоначальные характеристики были восстановлены на 80%. Это очень хороший результат.

В общем-то, это одна из ключевых операций, которая послужила основанием для принятия решения, что блок может эксплуатироваться еще 10 лет. И есть основания говорить о возможном повторном продлении срока эксплуатации.

— Мы как раз плавно переходим к разговору о следующем продлении срока эксплуатации Армянской АЭС и мероприятиях, которые запланированы на 2023–2026 годы. Потребуется ли проводить повторную процедуру отжига реактора в этот раз?

— В ближайшее время нет. Возможно, если после второго продления — до 2036 года — зайдет речь о том, чтобы продлевать работу второго энергоблока еще дальше, а технические возможности для этого есть, то повторный отжиг реактора понадобится. Но не факт. Решение будет основываться на расчетах ОКБ «Гидропресс» и мнении регулятора.

А если в целом подводить итоги предыдущей модернизации, то важно отметить: Армянская АЭС на текущий момент — современная атомная станция, многие системы которой заменены, а безопасность повышена. Помимо того что Армения получила дополнительные 10 лет эксплуатации АЭС с дешевой и стабильной в производстве электроэнергией за несколько сотен миллионов долларов (в то время как строительство новой стоит миллиарды), в процессе модернизации была также повышена ее мощность — на 10–15%. Теперь АЭС, которая ранее работала на мощности примерно 380 МВт, пришла к своим номинальным параметрам в 440 МВт. Это дополнительный экономический эффект как для самой станции, которая вырабатывает и продает электроэнергию, так и в целом для страны, предприятия и граждане которой получают больше дешевой электроэнергии.

— Насколько новый этап продления эксплуатации Армянской АЭС будет отличаться от предыдущего с учетом того, что он по плану займет четыре года, а не пять, как ранее? Какие мероприятия запланированы по контракту между АО «Русатом Сервис» и ЗАО «Армянская АЭС», подписанному в конце 2023 года?

— С коллегами с армянской стороны мы выработали совместное техническое задание, на базе этого было принято несколько постановлений правительства республики и утверждены финансово-экономические параметры проектов и работы, которые необходимо будет выполнять для продления на дополнительный период. «Русатом Сервис» одним из постановлений был утвержден как подрядчик по определенным объемам работ.

Особенности проекта повторного продления срока эксплуатации для нас в том, что мы с коллегами по обоюдному согласию иначе распределили роли: если раньше — при первом продлении — «Русатом Сервис» был генеральным подрядчиком, отвечающим за весь объем работ, то теперь на нашу долю приходится порядка трети работ, две трети будет

На фото

В рамках XIII Международного форума «Атомэкспо-2024» Россия и Армения расширили сотрудничество по направлению модернизации энергоблока №2 ААСЭ. Контракт подписали гендиректор АО «Русатом Сервис» Евгений Сальков и гендиректор ЗАО «Армянская АЭС» Эдуард Мартиросян в присутствии первого заместителя генерального директора — директора блока по развитию и международному бизнесу госкорпорации «Росатом» Кирилла Комарова и председателя Комиссии по регулированию общественных услуг Республики Армения Гареги-на Баграмяна

самостоятельно выполнять ЗАО «Армянская АЭС», которое также, по сути, будет генподрядчиком. Уже сама станция будет привлекать дополнительно субподрядчиков, в том числе российские организации. Во время первого продления эту функцию выполняли мы.

— С чем связаны такие перемены?

— Это было ожидаемым и логичным пожеланием армянской стороны. В рамках первого продления срока эксплуатации мы были максимально открыты для коллег, и они действительно переняли от нас серьезный опыт, в том числе и методический, и практический, увидели, как подобные масштабные проекты правильно и эффективно реализуются. Теперь они имеют все основания, чтобы самостоятельно успешно справиться с таким объемом работ.

При этом понимая, что задача важная, межгосударственная, с учетом отношений между Россией и Арменией, мы по поручению гендиректора госкорпорации «Росатом» Алексея Лихачева реализуем формат совместного Координационного комитета, который периодически будет собираться и рассматривать ход реализации проекта по продлению срока эксплуатации АЭС. Сопредседателями Координационного комитета будут: с российской стороны — первый заместитель генерального директора — директор блока по развитию и международному бизнесу госкорпорации «Росатом» Кирилл Комаров, с армянской — заместитель министра территориального управления и инфраструктур Акоб Варданян. Обе стороны будут докладывать, как реализуются их задачи, делиться своими победами, обсуждать трудности, оказывать помощь друг другу.

— По вашей оценке, для повторного продления потребуется столь же масштабная модернизация?

— Нет, масштаб будет скромнее. Серьезный задел был создан в прошлый раз, теперь упор будет сделан в основном на дальнейшее повышение безопасности, обоснование продления срока службы реакторной установки: важно определить, сколько она еще сможет эксплуатироваться, потому что реактор — это сердце АЭС, без него станция не может работать.

За пределами реакторного отделения работ будет существенно меньше. Но при этом, конечно же, в работу будут, как и на первом этапе, вовлечены генеральный конструктор атомной станции — ОКБ «Гидропресс», главный проектировщик — «Атомэнергопроект», научный руководитель — Курчатовский институт, ЦНИИТМАШ, организации, которые выполняют работы в части технического обслуживания ремонта, в том числе «Атомэнергоремонт» и другие. В качестве консультанта будет привлечен концерн «Росэнергоатом» — как эксплуатирующая организация, у которой есть и опыт эксплуатации подобных блоков, и бесценный опыт реализации проектов продления срока их эксплуатации (в частности, на Кольской и Нововоронежской АЭС).

Общий объем работ по продлению срока эксплуатации ААЭС в этот раз оценивается в 150 млн долларов.

— Что конкретно в этот раз в зоне ответственности «Русатом Сервис»?

— Как я уже говорил, мы фокусируемся в основном на реакторном отделении, на системах безопасности, на системе аварийного охлаждения зоны реактора. Вне реакторного отделения мы скорее будем субподрядчиком у армянской стороны. При этом ключевым моментом будет обследование и расчеты относительно того, сколько реактор сможет еще прослужить.

— Думаете, можно будет говорить о продлении срока эксплуатации на более длительный срок? О третьем этапе модернизации?

— Я думаю, да. Опыт эксплуатации и продления жизни росатомовских энергоблоков говорит о том, что это возможно. Но это, естественно, основывается на анализе, исследованиях, расчетах и решениях надзорного органа. Практика такая есть, в том числе и за рубежом. В Венгрии эксплуатирующая организация АЭС «Пакш-1» тоже работает над продлением срока эксплуатации имеющихся четырех блоков. А они того же дизайна и той же мощности, что и в Армении.

Думаю, что по итогам второго продления срока эксплуатации до 2036 года будет начата работа по определению возможностей эксплуатации блока Армянской АЭС еще на дополнительный период.

— Армянская АЭС в 1988 году выдержала землетрясение силой 6 баллов. Эти риски были заложены в конструкцию изначально? Повышается ли сейсмостойкость станции в процессе ее модернизации?

— Армянская АЭС была действительно очень грамотно и эффективно спроектирована, она выстояла в землетрясение: если большинство тепловых станций в стране тогда вынужденно остановились, то АЭС продолжала работать.

Инженеры-проектировщики станции учли возможное землетрясение, и их расчеты сработали. Решение об остановке АЭС уже позже принял Совет Министров Армянской ССР, после чего она около шести лет просто стояла. В 1993 году Армения столкнулась с серьезным энергетическим кризисом, и встал вопрос о необходимости перезапуска АЭС в Мецаморе. К тому времени из двух построенных блоков можно было перезапустить только второй, на первом для исследований были вырезаны образцы оборудования, что сделало его восстановление невозможным по независящим от нас причинам.

Российские и армянские специалисты в кратчайшие сроки подготовили второй блок к перезапуску, и, собственно, он успешно эксплуатируется до сих пор.

Что касается повышения сейсмобезопасности, то работы по этому направлению ведутся постоянно, а опыт в том числе Армянской АЭС учитывается и в международной практике. С участием специалистов МАГАТЭ была принята программа по повышению сейсмобезопасности, разработаны соответствующие технологические решения: сейсмостойкость АЭС уже была повышена с 0,2g (порядка 6–7 баллов) до 0,36g (около 7 баллов). Цель дойти до 0,42g (порядка 8 баллов).

Я еще раз подчеркну: каждая модернизация направлена на то, чтобы повышать уровень безопасности. В первую очередь. Это приоритет.

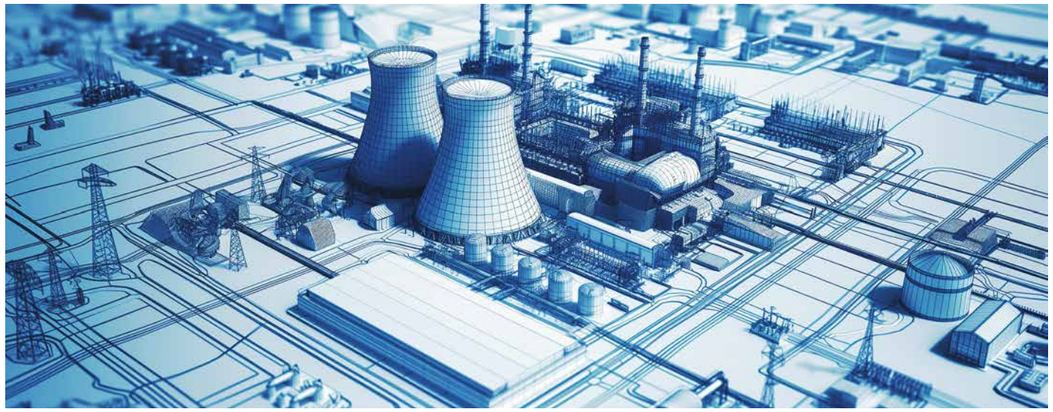
— Ведет ли или планирует «Русатом Сервис» работы по ремонту, модернизации, продлению срока эксплуатации на других АЭС?

— Одно из направлений нашей работы — это энергосервис, мы обязаны быть представлены в странах, которые эксплуатируют АЭС российского дизайна. И в разном объеме у нас появляются новые задачи по техническому обслуживанию и ремонту, по поставкам запасных частей, по обучению персонала, по модернизации разных систем, по продлению срока эксплуатации. Мы все эти работы выполняем. География нашего присутствия — это Армения, Чехия, Словакия, Болгария, уже и Турция, где мы готовимся к ППР. В ближайшем будущем добавятся Бангладеш, Египет…

В целом мы начинаем присутствовать на объекте уже на стадии сооружения АЭС, потому что работаем над заключением сервисного контракта. Первый ППР начинается уже буквально в первый год эксплуатации, и мы, конечно, заранее должны подготовиться и проверить, насколько станция и персонал готовы к ремонту, есть ли в наличии запасные части и т. п., должны определить объем выполняемых работ, просчитать сроки.

Так что мы своего рода продолжение «Атомстройэкспорта» — они отвечают за сооружение атомной станции, а мы перенимаем эстафету на этапе эксплуатации, только начинаем это делать очень заранее, чтобы успеть подготовиться. В дальнейшем мы продолжаем присутствовать на протяжении всего срока жизни АЭС, а у новых современных блоков это — 60 лет.

Текст: Ирина Дорохова
Иллюстрация: Midjourney



ВВЭР в цифровом измерении

Энергоблоки с ВВЭР не раз становились площадками для пилотных проектов в сфере цифровизации, нацеленных на улучшение эксплуатации. Рассказываем, как виртуальная реальность, предиктивная аналитика и нейросети помогают снизить число поломок оборудования и травм сотрудников.

Умная видеоаналитика

Где: Кольская АЭС.

Когда: в 2019 году.

Цели:
— снижение травматизма, вызванного несоблюдением техники безопасности и промышленной безопасности, в первую очередь из-за неиспользования или неправильного использования средств индивидуальной защиты при работе на электроустановках;
— снижение расходов, вызванных травмами, внеплановыми ремонтами и простоем оборудования;
— повышение трудовой дисциплины, изменение поведения работников.

Суть проекта:
В производственных помещениях были установлены камеры наблюдения. Видеопоток с них обрабатывала искусственная нейронная сеть. Она автоматически обнаруживала нарушения в использовании средств индивидуальной защиты, регистрируя в режиме реального времени 95–98% таких нарушений и тем самым предупреждая несчастные случаи. Система заменила работников-диспетчеров, которые быстро уставали и теряли концентрацию, просматривая однообразный видеоряд.

Эффекты:
— снижение числа нарушений техники безопасности и промышленной эксплуатации в 10 раз;
— снижение трудозатрат на обработку данных с камер видеонаблюдения;
— повышение частоты правильного применения СИЗ;
— нулевой травматизм из-за неправильного применения СИЗ в контролируемых помещениях.

Развитие:
— в 2021 году система была включена в реестр российского программного обеспечения;
— в 2022 году был запущен дополнительный функционал по распознаванию начальных признаков возгорания и задымления и обнаружению оставленных предметов.

Тиражирование:
Умная видеоаналитика тиражируется на восьми АЭС: Балаковской, Калининской, Ростовской, Белоярской, Курской, Ленинградской, Нововоронежской и Смоленской.

VR-тренажер

Где: Ленинградская АЭС, блоки № 5 и 6.

Когда: в 2021 году.

Цель:
— повышение безопасности эксплуатации электротехнического оборудования АЭС за счет повышения качества профессиональной подготовки персонала.

Суть проекта:
До внедрения VR-тренажера для обучения оперативного и ремонтного персонала, эксплуатирующего электротехническое оборудование, надо было приобрести физический полномасштабный тренажер или проходить обучение по презентации. Это было крайне неудобно, поскольку полномасштабный тренажер — это выведенное из эксплуатации модифицированное оборудование, а презентации малоэффективны. Виртуальный тренажер, имитирующий работу реального комплектного распределительного устройства напряжением 10 кВ, который используется на блоках № 5 и 6 Ленинградской АЭС, позволяет отрабатывать разные виды сценариев и фиксировать ошибки, совершенные сотрудником, и визуализировать их последствия. В такой тренажер можно вносить любые корректировки в сценарии и визуализацию, если, например, изменилась нормативная документация или было установлено новое оборудование. Новый тренажер уже покупать не надо. На VR-тренажере можно безопасно отрабатывать более широкий спектр ситуаций, чем на реальном оборудовании, что позволяет снизить количество ошибок при эксплуатации оборудования и повысить качество подготовки.

Эффекты:
— нулевой травматизм при работе на электротехнических установках;
— сокращение затрат на обучение, так как VR-тренажер примерно на 65% дешевле физического;
— повышение безопасности эксплуатации АЭС;
— повышение личной безопасности сотрудников;
— повышение качества процесса подготовки персонала.

Развитие:
— внесение дополнительных сценариев в уже разработанные VR-тренажеры;
— создание VR-тренажеров для отработки последовательности действий на разных типах оборудования по запросу каждой АЭС;
— создание единой VR-платформы Электроэнергетического дивизиона Росатома.

Тиражирование:
На Смоленской, Курской, Кольской, Калининской, Белоярской, Билибинской, Нововоронежской АЭС и ПАТЭС идет внедрение VR-тренажеров для различных типов оборудования.

Предиктивная аналитика

Где: Нововоронежская АЭС, блок № 6.

Когда: в 2022 году.

Цели:
— заблаговременное обнаружение отклонений в работе оборудования для предупреждения его поломок;
— снижение расходов, вызванных внеплановыми ремонтами и простоем оборудования.

Суть проекта:
Для системы предиктивной аналитики (СПА) были разработаны 49 предиктивных моделей нескольких видов оборудования — турбогенератора, паротурбинной установки и циркуляционных насосов энергоблока. Модели были верифицированы на исторических данных и запущены в работу для анализа текущего состояния оборудования. СПА ищет отклонения в эксплуатации оборудования, автоматически анализируя изменения параметров работы оборудования, регистрируемые системами контроля и диагностики; автоматически локализует обнаруженные отклонения и оценивает их возможные причины. Получив из СПА информацию, персонал проверяет ее и в случае подтверждения устраняет отклонения или вносит данные в журнал дефектов для их устранения в ремонтный период.

Эффект:
За период опытной и опытно-промышленной эксплуатации в СПА было сформировано 24 записи об обнаружении потенциальных отклонений в работе турбогенератора, турбины и циркуляционных насосов (в том числе отклонения в работе контрольно-измерительных приборов).

Развитие:
— идут работы по автоматизации оценки времени до выхода параметров оборудования за допустимые пределы;
— формируются рекомендации для персонала при обнаружении отклонений;
— планируется внедрение методики экономической оценки эффективности СПА.

Тиражирование:
СПА тиражируется на блоках № 7 Нововоронежской АЭС, № 5 и 6 Ленинградской АЭС, № 4 Белоярской АЭС.

Текст: Ирина Дорохова
Фото: Ленинградская АЭС, Калининская АЭС, Нововоронежская АЭС / Роман Пышкин

Безопасность в кубе

Как ученые работают над дальнейшим повышением надежности работы АЭС

ВНИИАЭС занимается научным сопровождением работ по усовершенствованию действующих блоков и улучшению проектов новых. О том, что делает институт для улучшения энергоблоков с ВВЭР, «Вестнику атомпрома» рассказал главный эксперт института Александр Михальчук, который всю жизнь, работая на атомных станциях, а затем во ВНИИАЭС, занимается вопросами надежной эксплуатации.

Моделирование процессов в виртуальной среде

Во ВНИИАЭС получило развитие моделирование с помощью цифровых решений. Мы создали полноценный цифровой двойник атомной станции — виртуально-цифровую АЭС с ВВЭР (ВЦ АЭС). Расчеты для него выполняет суперЭВМ. В ВЦ АЭС хорошо видно, как на работе блока отражаются изменения расходов воды и пара, так можно проверить нормальные и аварийные режимы эксплуатации, управление с помощью АСУ ТП. В нашу ВЦ АЭС заложены всевозможные защиты, блокировки, уставки, характеристики органов регулирования активной зоны. Можно провести аналогию с тренажером для самолета, где моделируются все атмосферные воздействия на подкрылки, закрылки и прочие системы. ВЦ АЭС используют проектанты, чтобы посмотреть, насколько удачен их проект, и эксплуатирующие организации, которые хотят проверить, насколько эффективен тот или иной режим.

В частности, была задача от концерна «Росэнергоатом» проверить для Нововоронежской АЭС эффективность процедур и инструкций в руководстве по управлению запроектными авариями. Такие руководства существуют для всех блоков, в них обозначены критерии безопасности, при нарушении которых операторам предлагается принимать те или иные управляющие действия, чтобы авария не становилась более тяжелой. Критерии и методы руководства по управлению авариями рекомендованы МАГАТЭ, в настоящее время концерн решил их проверить расчетным путем, и эта работа продолжается.

Кроме того, наша ВЦ АЭС применяется для отладки тренажеров, которые мы делаем для действующих и строящихся за рубежом АЭС. С разработкой ВЦ АЭС эта задача упростилась. Проще стало доказать, что модель отображает реальные процессы, и потому тренажер качественный. Также наша модель помогает аттестовывать в Ростехнадзоре тренажеры для аварийных режимов.

Пусконаладочные работы

Еще одно важное направление работ, которым занимается ВНИИАЭС,— это пусконаладка блоков АЭС при их вводе в эксплуатацию. Наши специалисты сопровождают пуски, составляют программы пусконаладочных работ — на мощности, на минимально контролируемом уровне мощности реактора, пишут методики проведения испытаний. Например, по отключению основного оборудования — когда отключают главный циркуляционный насос или питательные насосы первого и второго контуров и проверяют, в какой мере наблюдаемые параметры соответствуют обоснованиям, заложенным в проекте.

Испытания для разных станций отличаются, потому что проекты и оборудование разные. Например, на шестом и седьмом блоках Нововоронежской АЭС с ВВЭР-1200 система пассивного отвода тепла отличается от блоков с такими реакторами на Ленинградской АЭС. На Нововоронежской АЭС реализовано пассивное воздушное охлаждение, охладители подняты на крышу блока. А на Ленинградской АЭС — водяное, для отвода тепла установлены специальные баки. На НВАЭС и ЛАЭС отличаются насосы охлаждения активной зоны. На НВАЭС они эжекторные, а на ЛАЭС — типичные насосы с крыльчаткой. Поэтому и испытания отличаются. Но даже если проекты системы одинаковые, оборудование в них, а значит, и характеристики, могут чуть-чуть отличаться (из-за возможных отличий в изготовлении различными поставщиками оборудования). Чтобы гарантировать, что все системы реагируют должным образом при ручном или автоматическом управлении, нужно проводить испытания, это предусмотрено нормами и правилами по безопасности эксплуатации АЭС. В этой работе кроме нас участвуют Курчатовский институт, «Атомтехэнерго», ОКБ «Гидропресс».

Недостаток больших блоков с ВВЭР — перенасыщение активными системами безопасности, зависящими от электричества, сжатого воздуха, воды. На ВВЭР-1200 есть 30 систем формирования сигналов аварийной защиты, и все это в двух и более комплектах. Это просто огромное количество всевозможных средств контроля и автоматики. Поэтому идет тенденция перехода к малым АЭС со значительным сокращением систем безопасности и защит, такие уже разрабатываются и у нас, и на Западе.

Водородный код

Большой объем работ мы выполняем по обоснованию и анализу обоснования водородной безопасности. В прошлом году мы аттестовали программу STAR-CCM. Это расчетные коды класса CFD (методов вычислительной гидродинамики, Computational Fluid Dynamics.— *Прим. ред.*), они позволяют нам рассчитывать поведение парогазовой среды в герметичном объеме (ГО) при запроектных авариях. Расчетный код изначально американский, но мы его аттестовали для целей математического моделирования аварийных процессов в ГО, и это заняло года четыре. Особенность нашего кода в том, что мы ведем расчеты по 4 млн расчетных ячеек, а раньше их считали всего по 60–100 расчетных объемов. Что это значит: объем гермооболочки делится на 60 «кубиков» или на 4 млн. И по каждому «кубику» идет расчет: как перемешиваются газы, как меняется атмосфера. Очевидно, что чем меньше ячейка, тем результат точнее. Внутренний объем герметичной оболочки составляет 65 тыс. м^3.

Профиль

Александр Михальчук на Балаковской и Нововоронежской АЭС работал контролирующим физиком (отвечал за работы с ядерным топливом, в том числе перемещение и пусковые операции), затем работал в отделе ядерной безопасности, занимал должность заместителя главного инженера по безопасности и надежности. С 2006 года работает во ВНИИАЭС.

На фото

Ленинградская АЭС. Специалисты ВНИИАЭС сопровождают пуски энергоблоков, составляют программы пусконаладочных работ и методики проведения испытаний, которые различаются для разных станций

Если разделить его на 60, получается, грубо, «кубик» со стороной 10 м. А если на 4 млн — то 25 см.

В настоящее время мы усовершенствуем действующие руководства по управлению запроектными авариями. Для действующих блоков ЛАЭС заново рассчитываем расстановку рекомбинаторов. Также наши коды позволяют считать кризис теплообмена в активной зоне на оболочках твэлов. Мы сделали экспертизу проекта БН-1200, обратили внимание проектировщиков на водородную безопасность, теперь этому уделяют больше внимания.

Кроме того, мы занимаемся дополнительным анализом аварийных расчетов, которые были выполнены ранее для АЭС, но уже с большей расчетной точностью. Наши коды позволяют получать более точные данные (где-то это может нас успокоить, а где-то наоборот, дать знать, что надо что-то улучшить). Например, мы с помощью наших кодов рассчитывали аварийные процессы с распространением водорода в ГО на одном из блоков Калининской АЭС. И оказалось, что важно не только количество пассивных рекомбинаторов водорода в помещениях ГО, но и наличие или отсутствие перегородок. Для водородной безопасности нужно, чтобы водород не концентрировался в одном месте, а быстро распределялся по всему объему. Тогда меньше опасность взрыва и горения, как это случилось на АЭС «Фукусима». И если точно посчитать, то, во-первых, можно правильно расставлять рекомбинаторы, а во-вторых, потребуется убрать лишние перегородки.

Еще один интересный момент обнаружился: казалось бы, разрыв большого трубопровода диаметром 850 мм — это очень плохо. Но водорода при таком разрыве выделится в два-три раза меньше по сравнению с тем, если бы разорвался трубопровод диаметром, скажем, 40 мм. Водород образуется в результате пароциркониевой реакции, и, чтобы она шла, надо, чтобы потеря теплоносителя происходила медленно. А на большом трубопроводе через 15 минут в реакторе уже воды не будет. Но и водорода тоже выделится максимум 500 кг. При малых же течах, если ничего не делать, образуется до 1,5 тонн водорода. А 1 тонна водорода — это 30 тонн тротила. Для понимания — полвагона.

Мы ведем системную работу по водородной безопасности после аварии на АЭС «Фукусима», до нее водородной безопасностью в мире почти не занимались. До этого, конечно, ставили рекомбинаторы водорода, системы контроля водорода в герметичной оболочке, делали первые расчеты для проектных аварий. Но многое было неизвестно. Теперь разрабатываем перечень запроектных аварий, совершенствуем инструкции с помощью выполненных расчетов, благо, инструмент есть. Правда, расчеты сложные, их скорость зависит от наличия суперкомпьютера. Пока мы арендуем мощности в Саровском ядерном центре, но планируется поставка более мощной ЭВМ.

При оценке водородной безопасности мы учитываем радиолиз воды: под воздействием радиации вода

На фото

Калининская АЭС. С помощью расчетных кодов класса CFD специалисты ВНИИАЭС рассчитали аварийные процессы с распространением водорода в герметичном объеме на одном из блоков этой станции и нашли возможности для улучшения параметров безопасности

На фото

Нововоронежские атомщики первыми отработали перевод энергоблока с ВВЭР-1200 на 18-месячный топливный цикл

в первом контуре и в бассейне выдержки может разлагаться. Поэтому российская наука занялась изучением поведения водорода, и ВНИИАЭС здесь на передней линии. Мы определяем, что испытывать, что исследовать.

Есть еще способ улучшить водородную безопасность — форточки в боксах для оборудования внутри гермооболочки. Стены в боксах защищают ГО от летящих элементов оборудования, если произойдет авария. А форточки позволят водороду выйти в основной объем гермооболочки. Сделать их несложно: есть плазменная резка и другие прогрессивные и современные методы реконструкции. Это, например, просто дырки в потолке, метр на метр, их надо штуки четыре. Герметичность оболочки не нарушится, ведь основная гермооболочка останется целой.

Американцы, кстати, вообще поступили проще: они стали устанавливать платиновые пластины — катализаторы, и, когда датчики фиксируют определенную концентрацию водорода, они подают искру и сжигают водород на этих рекомбинаторах. Наши правила тоже допускают поджиг, но не взрыв. А водорода в одном месте может быть меньше, в другом больше, пламя может дотянуться до большого объема, и все взорвется. Поэтому в России была принята проектная стратегия не допускать горения. А для этого надо, чтобы водород нигде не скапливался и хорошо перемешивался.

Контроль металлов

Также мы предлагаем перейти на восьми- или десятилетние циклы контроля металла энергетического оборудования. Практика контроля металла раз в год перешла в атомную энергетику из тепловой. Почему у них так, понятно: зимой нужно отапливать, и энергии требуется много, а летом можно не отапливать и половину мощностей вывести в ремонт, это удобно. В атомной энергетике ежегодный ремонт тоже был удобен, пока действовали 12-месячные топливные циклы: перегрузка топлива происходила одновременно с ремонтом. Но затем стали переходить на более экономичный 18-месячный топливный цикл, в рамках которого топливо работает в активной зоне не 3 года, как раньше, а уже 4,5 года, а контроль металла остался ежегодным. На Западе же давно многие перешли на восьми- или десятилетний цикл контроля металла. Это значит, что все «железо» контролируется с определенной периодичностью. Все оборудование делится на четыре группы: в один год проверяется одно, в другой — другое, через восемь-десять лет все проверили, пошли на следующий круг. Чем длиннее цикл, тем меньше надо проверять за один ремонт, тем быстрее его проводишь. Если раньше на той же Балаковской АЭС длительность ремонта составляла 65 суток, то теперь — не больше 45 суток. На восьмилетнем цикле этот срок сократился бы еще больше, вырос бы КИУМ.

Мы начали продвигать идею длинных циклов контроля металла, когда стали участвовать в проектировании ВВЭР-ТОИ. Нас привлекли в проект, чтобы выявлять слабые места, которые мы видим благодаря богатому опыту эксплуатации. Сначала идею не одобрили, но в конце концов с ней согласились и нам отдали часть работы по второму контуру, а «Гидропрессу» — по первому. Эта задача наконец-то решается.

Участие в проектировании

Благодаря нашим знаниям в химии, в частности в водно-химическом регулировании, наши специалисты участвуют в расчетах для ВВЭР со спектральным регулированием. Они, например, анализируют объем жидких радиоактивных отходов для реакторов ВВЭР-С. Предполагается, что ЖРО там будут образовываться вдвое меньше, чем на ныне действующих, поскольку борное регулирование будет применяться только на этапах пуска и останова, а в процессе регулирования в течение всей кампании борного регулирования не будет.

У нас работают хорошие экономисты, которые оценивают целесообразность того или иного решения по бетону или комплектации оборудованием. ВВЭР-С, конечно, будет гораздо более прогрессивным реактором по сравнению с классическим ВВЭР.

Фото: пресс-служба НГТУ, СПбПУ, Медиацентр ИГЭУ

На десятилетия вперед

Как готовят будущих специалистов, которым предстоит эксплуатировать и совершенствовать РУ ВВЭР

Ядерные реакторы, использующие в качестве замедлителя и теплоносителя легкую воду, сегодня составляют основу действующего мирового парка АЭС и продолжают строиться в России и за рубежом. «Вестник атомпрома» узнал, насколько обучение будущих атомщиков «ВВЭРоцентрично» и практикоориентированно, находит ли отражение в учебных программах постоянное совершенствование РУ ВВЭР, знакомятся ли студенты с новыми типами водо-водяных реакторов (со спектральным регулированием и сверхкритическим давлением), которые разрабатывают в Росатоме, и ведется ли в вузах научная работа, направленная на дальнейшее развитие технологии ВВЭР.

Максим Легчанов

Директор Института ядерной энергетики и технической физики (ИЯЭиТФ) им. академика Ф. М. Митенкова Нижегородского государственного технического университета им. Р. Е. Алексеева

— В ИЯЭиТФ в процессе обучения студенты рассматривают конструкции и особенности работы всех основных видов реакторных установок, в том числе транспортных, с широким спектром теплоносителей, включая водяные, газовые и тяжелые жидкометаллические. В образовательных программах нет принципиального акцента на технологии ядерных реакторов типа ВВЭР, преподаватели института предоставляют максимальную информацию обо всех существующих современных и перспективных реакторах. Выполняя выпускную квалификационную работу, студенты производят расчеты реакторных установок типа ВВЭР, БН, РБМК, СВБР, БРЕСТ, ВТГР, ГТ-МГР, КЛТ-40 и др. Занимаясь подготовкой инженеров, конструкторов и проектировщиков, институт дает фундаментальные знания и компетенции по устройству реакторных установок всех типов.

Совершенствуются не только реакторные установки типа ВВЭР, но и многие другие. Проектируются и вводятся в эксплуатацию новые объекты атомной отрасли, например новые универсальные ледоколы, атомные станции на основе реакторов малой мощности, энергоблок с быстрым реактором естественной безопасности БРЕСТ-ОД-300, атомная энерготехнологическая станция с высокотемпературным газоохлаждаемым ядерным реактором и пр. В изучение процессов модернизации существующих реакторных установок и их воплощение в реальные объекты энергетики на постоянной основе вовлечены студенты института, что может говорить об их полноценном практикоориентированном обучении.

Преподаватели ИЯЭиТФ регулярно проходят стажировки на предприятиях госкорпорации «Росатом», а образовательные программы реализуются в тесном партнерстве с ведущими предприятиями — конструкторами и разработчиками реакторных установок. Студенты принимают непосредственное участие в совершенствовании реакторных установок, занимаясь исследованиями с научными наставниками в лабораториях ИЯЭиТФ. Институт проводит экспериментальные исследования для реакторных установок типов ВВЭР, БРЕСТ, РИТМ, ВТГР. Вуз обладает уникальной научно-исследовательской базой, которая включает в себя стенды с тяжелым жидкометаллическим, водяным теплоносителями, работающими при штатных параметрах, а также аэродинамическим стендом, позволяющим воспроизвести картину течения теплоносителя в активной зоне ВВЭР.

В НГТУ, ключевым партнером которого является госкорпорация «Росатом», с 2022 года работает Передовая инженерная школа атомного машиностроения и систем высокой плотности энергии. В научно-исследовательских лабораториях ИЯЭиТФ появилась первая топливная сборка ВТГР и ее отдельные элементы. Именно здесь студенты старших курсов и магистранты принимают участие в передовых исследованиях и готовят свои выпускные квалификационные работы и магистерские диссертации.

В учебном процессе ИЯЭиТФ рассматривается широкий спектр реакторных установок для атомных станций, в том числе и перспективные направления реакторов ВВЭР. Стремясь обогатить знаниями студентов в ограниченное время преподаватели не акцентируют внимание на всем разнообразии отдельных конструкций реакторов. Углубленное освоение особенностей всех возможных вариантов реакторных установок будет занимать значительное время. Исходя из этого, новые типы реакторов ВВЭР, несомненно, освещаются и разбирается их устройство, однако основательное изучение каждого связано с избыточными временными затратами и в ущерб другим.

В Институте ядерной энергетики и технической физики им. академика Ф. М. Митенкова НГТУ проводятся непрерывные научные изыскания и экспериментальные исследования для совершенствования реакторов ВВЭР, получено несколько патентов в предметной области. В университете на протяжении нескольких лет проводится экспериментальное обоснование эффективности применения дистанционирующих решеток с разными вариантами дефлекторов в тепловыделяющих сборках, отработка конструкций комбинированных решеток, оценка их влияния на межкассетные потоки теплоносителя. В последнее время в НГТУ широко используются и программы вычислительной гидродинамики, а в 2024 году установлен интерактивный полномасштабный макет «Виртуальный энергоблок» — математическая модель реактора АЭС-2006.

Максим Конюшин

Старший преподаватель Высшей школы атомной и тепловой энергетики (ВШАиТЭ) Института энергетики (ИЭ) СПбПУ

— В образовательных программах по ядерной энергетике, реализуемых в СПбПУ, идет ориентация на технологию ВВЭР — с учетом ее доминирования. Многие студенты проходят преддипломную практику в АО «Атомэнергопроект» и на Ленинградской АЭС, где идет разработка и эксплуатация АЭС с ядерными реакторами ВВЭР-1200, и, соответственно, студенты выполняют выпускные квалификационные работы, направленные на использование технологии ВВЭР.

При реализации образовательных программ по ядерной энергетике в СПбПУ привлекаются специалисты АО «Атомэнергопроект», которые рассказывают студентам о современных требованиях к проектам АЭС и о том, какие изменения происходят в новых проектах. В СПбПУ мы придерживаемся практико-ориентированного обучения, стараемся дать студентам современные знания по проектам ВВЭР и приветствуем практикоориентированность их выпускных работ.

Мы следим за изменением технологий в ядерной энергетике и рассказываем студентам о перспективных конструкциях ядерных реакторов. В образовательные программы по ядерной энергетике включено обязательное изучение новых конструкций ядерных реакторов. Мы считаем это необходимым, потому что наши студенты должны понимать, какие изменения ждут отрасль в ближайшие десятилетия. Традиционно часть студентов при выполнении своих работ рассматривают использование реакторов типа ВВЭР-С и ВВЭР-СКД.

Проводимые в нашем вузе исследования направлены на разработку и использование теплогидравлических кодов улучшенной оценки, без которых невозможно будет обосновать теплогидравлические процессы, которые происходят в перспективных конструкциях ядерных реакторов, например в ядерном реакторе типа ВВЭР-СКД.

Мария Вольман

Доцент кафедры «Атомные электрические станции» Ивановского государственного энергетического университета, заместитель директора Научно-образовательного центра высоких технологий в сфере тепловой и атомной энергетики

— «ВВЭРоцентричность» при обучении студентов наблюдается однозначно. Обойти вниманием при формировании учебных программ тот факт, что это наиболее распространенная технология, просто невозможно. Значимое место в образовательном процессе занимает использование различных моделирующих комплексов и тренажеров. Объектами применяемых моделей по большей части являются оборудование и системы блоков с реакторами ВВЭР и такие энергоблоки в целом. В частности, вуз располагает полномасштабным тренажером ВВЭР-1000. Его внедрение также потребовало в свое время некоторой «ВВЭРизации» целого ряда дисциплин.

В выборе тем курсовых и дипломных работ студентам во многом помогает прохождение ими производственной и преддипломной практики. А доминирование технологии ВВЭР является логичной причиной того, что среди мест для прохождения практики также преобладают АЭС с этим типом реакторов либо предприятия, так или иначе связанные с этой технологией.

Практикоориентированность — одна из основных целей при реализации учебного процесса. Достичь ее во многом удается благодаря тесному контакту с предприятиями отрасли. Мы благодарны нашим отраслевым партнерам и в первую очередь концерну «Росэнергоатом». Благодаря сотрудничеству на различных уровнях появляется возможность непрерывно совершенствовать программы. Не менее важной в этом вопросе является обратная связь от работодателей в части уровня подготовки выпускников и его соответствия производственным задачам.

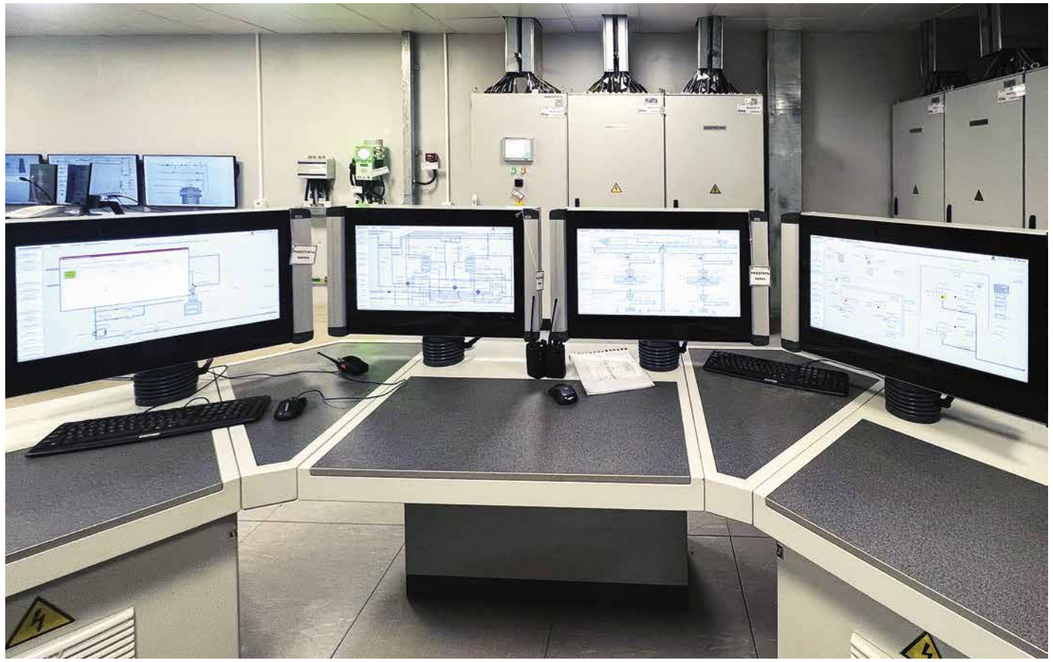
Справедливым будет признать, что в большей степени в учебных программах освещены прикладные вопросы, касающиеся существующих проектов, эксплуатируемых и вновь вводимых. Если говорить о перспективных разработках, в какой-то мере новым запросам может отвечать получение студентами фундаментальных знаний по физике и математике. Также нельзя не отметить интерес к перспективным реакторам со стороны обучающихся, темами студенческой исследовательской работы они становятся нередко. Поэтому разработку новых курсов и учебных материалов можно считать актуальной задачей для высшей школы.

Вузом ведется научная работа в части разработки цифровых двойников и использования нейросетевых технологий для повышения энергетической эффективности установок. Данные направления рассматриваются нами как один из шагов в развитии технологий ВВЭР.

Текст: Александр Жукавин, советник генерального директора, «Русатом Сервис»;
Александр Зинин, начальник отдела НИОКР, Инжиниринговый дивизион Росатома
Фото: Инжиниринговый дивизион Росатома

С высокой точностью

Математические модели для комплексов переработки РАО



На фото

Автоматизированное рабочее место оператора системы пиролиза (комплекс по переработке РАО Курской АЭС-1)

Пилотный комплекс переработки твердых радиоактивных отходов (КП ТРО), который готовится к вводу в полномасштабную эксплуатацию на площадке Курской АЭС-1,— проект с высоким потенциалом для тиражирования в составе атомных станций, возводящихся как в России, так и за рубежом. Отраслевой подход к созданию объектов такой сложности, с приоритетом безопасности, требует использования современного цифрового инструментария в виде качественно строгой математической модели объекта. Такая представляемая математическая модель, инициативно созданная в частичном объеме в настоящее время, после актуализации должна стать основой создания цифрового двойника систем обращения с РАО и ядром аналитического и тренажерного комплексов для организации, эксплуатирующей КП РАО.

Источники и методы переработки ионообменных смол

Одна из нетривиальных задач эффективной переработки отходов АЭС, как накопленных за время существования отрасли, так и образующихся в процессе эксплуатации,— переработка отработавших ионообменных смол (ОИОС), применяющихся для водоочистки теплоносителя первого контура и других радиоактивных вод энергоблоков атомных станций. На АЭС ежегодно образуется определенный, иногда значительный, объем ОИОС, который необходимо переработать и подготовить к окончательной изоляции как РАО. В силу различия проектов энергоблоков и специфики эксплуатации эти ОИОС загрязнены различными радионуклидами — высокоактивными компонентами, образовавшимися в результате деления ядерного топлива, продуктами их распада, а также продуктами активации конструкционных материалов.

В емкостях-хранилищах этих смол содержатся вода, высокосолевые растворы и органические вещества, которые при длительном хранении могут вступать в агрессивные реакции с материалами емкостей временного хранения жидких радиоактивных отходов. Чтобы обезопасить эти отходы, применяется ряд методов. Так, например, возможно включение ОИОС в цементную либо полимерную матрицу, применяется сушка с последующим хранением ОИОС в контейнерах, в проработках — метод сверхкритического водного окисления, рассматриваются и иные подходы. Но из перечисленных способов одни приводят к увеличению физического объема отходов, другие технологически сложны, недостаточно исследованы или неэффективны по экономическим параметрам. Ряд преимуществ на этом фоне имеет метод пиролиза. Однако обычный высокотемпературный процесс, который проходит при температурах от 800 до 1200 °С, для переработки радиоактивных ОИОС не подходит — вероятен значительный унос радиоактивных элементов с отходящими пиролизными газами. Более предпочтительной видится технология, реализованная на пилотном КП ТРО,— низкотемпературный пиролиз ОИОС.

Что такое объект моделирования

В 2023 году комплексные испытания всех систем КП ТРО завершились, в апреле 2024 года получена лицензия на начало опытно-промышленной эксплуатации, завершаются пусконаладочные работы на отдельных элементах комплекса. В настоящее время, кроме пилотного на первой очереди Курской АЭС, готовятся другие проекты аналогичных КП ТРО, в том числе на Курской АЭС-2. Серия не будет на этом исчерпана, поскольку переработка радиоактивных отходов, в том числе ОИОС, актуальна как для российских, так и для зарубежных АЭС российского дизайна.

В интересах атомной отрасли — с пониманием перспективы разработки цифрового двойника как востребованного продукта, необходимого для безопасного функционирования объектов использования атомной энергии,— обеспечить процессы постоянного совершенствования и повышения уровня безопасной эксплуатации, оценки нештатных ситуаций, противоаварийного реагирования, обучения персонала. В данном случае необходимо уметь реагировать на неоднозначный состав перерабатываемой пульпы ОИОС, наличие различных загрязнений, отсутствие опыта эксплуатации подобных установок в РФ. На раннем этапе подготовки проектной документации КП ТРО был частично использован опыт зарубежных партнеров, в первую очередь NUKEM Technologies — российско-немецкой инжиниринговой компании, специализирующейся на оказании услуг в области обращения с РАО и ОЯТ, выводе из эксплуатации объектов использования ядерной энергии. В настоящее время опираться на опыт зарубежных коллег затруднительно в связи с санкционными ограничениями.

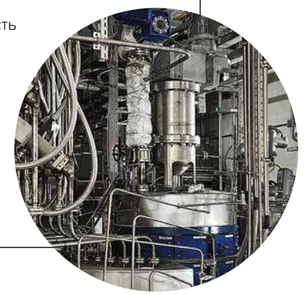
Для детальной отработки технологии, с доведением типового проекта КП ТРО до уровня конкурентоспособного предложения на внешний рынок, необходимо наработать и учесть собственный опыт эксплуатации.

Технология пиролиза

Суть технологии, реализованной на участке пиролиза в составе КП ТРО, такова. После предварительного отделения транспортной воды и сушки влажной ОИОС в коническом смесителе проводится термическая обработка ОИОС в пиролизном реакторе. Процесс происходит при температуре 450 °С в среде инертного газа (азота) с перемешиванием поступивших перерабатываемых продуктов. Пиролизные газы и аэрозоли очищаются в системе газоочистки — в скрубберах и фильтрах тонкой очистки.

Установка пиролиза включает также участки размыва осадков в емкостях хранения ОИОС, подачи пульпы смол от емкостей хранения и приема пульпы на КП ТРО с последующей передачей материала на переработку.

Проведенные эксперименты показали, что после этих процедур объем твердого остатка реальных ОИОС может быть уменьшен до восьми раз. И хотя этот продукт (коксовый остаток) при уменьшении объема станет кратно более радиоактивен, его главное преимущество — стабильность физического и химического состояния (химическая инертность), а следовательно, возможность безопасного длительного хранения/захоронения в специальных контейнерах.



Проект создания КП ТРО Курской АЭС-1 с нуля и под ключ осуществляет Инжиниринговый дивизион Росатома. При реализации этого проекта дивизион значительно нарастил к имевшимся и приобрел новые, наиболее значимые компетенции в области как научных, так и практических знаний в сфере обращения с РАО, подтвержденных патентами на изобретения. Эти компетенции распространяются на деятельность в области проектирования, выполнения строительно-монтажных работ, изготовления и поставки оборудования, в том числе используя процессы импортозамещения, проведения пусконаладочных работ.

Что такое модель объекта

Однако далеко не весь опыт (особенно это касается кризисных ситуаций) можно получить на практике. Для сложных объектов целесообразно использовать цифровой аналитический инструментарий, основанный на математическом моделировании объектов. Компьютеризованные расчеты позволяют, избегая возможных рисков, наработать значительный объем знаний через моделирование различных режимов работы установки. Созданием такой модели установки

пиролиза ОИОС занялись специалисты Инжинирингового дивизиона Росатома и ИТЦ «ДЖЭТ».

Опыт ИТЦ «ДЖЭТ», компании — разработчика ядра математической модели установки пиролиза ОИОС пилотного проекта КП ТРО Курской АЭС-1, в разработке подобных решений для объектов атомной и тепловой энергетики, нефтехимии составляет более 30 лет. Одна из важнейших наработок — код для моделирования течений двухфазной смеси в установках произвольной геометрии в присутствии неконденсирующихся газов и примесей. Также хорошо проработано моделирование процессов осушения, гидро- и газодинамики потоков, расчетов материальных балансов. Эти и другие наработки компании ИТЦ «ДЖЭТ» использованы для формирования математической модели установки пиролиза.

Предложенная математическая модель на данном этапе разработки охватывает основной блок переработки ОИОС на установке. В разработанной модели используется доступный на данный момент набор исходных данных — какие-то получены экспериментально, некоторые пополняются по результатам пусконаладочных работ, некоторые взяты из зарубежных источников или аналогичных технологических решений.

Модель может корректироваться и дополняться по исходным данным, получаемым в ходе опытной эксплуатации установки и связанных с ней систем. В части получения уточненных реальных параметров и характеристик основная роль отводится специалистам Инжинирингового дивизиона Росатома, ведущим пусконаладочные работы и опытно-промышленную эксплуатацию. Для более точного моделирования и последующей верификации модели требуется проведение дополнительных научно-исследовательских работ, например таких, как исследование кинетики химических преобразований, термодинамических констант по всем участкам установки и т. п. При дальнейшем развитии модели, кроме уже реализованных расчетов процессов теплопередачи, термо- и гидродинамики, математическую модель будет необходимо дополнить комплексом расчетов химических процессов (деструкция ОИОС в азотной среде, затем окисление газов в камере дожигания, оценка состава образующихся твердых и газообразных составляющих, вовлечение в химические процессы радионуклидов). Предстоит выполнить моделирование работы систем газоочистки.

Перспектива дальнейшего развития модели — учет всех процессов, начиная с изъятия ОИОС из емкостей временного хранения, размыва, транспортировки, возможного засорения коммуникаций и т. д. Это в конечном итоге позволит максимально оптимизировать процессы переработки ОИОС и других отходов, учитывая внешние производственные факторы.

Первые результаты и векторы применения

Развитая математическая модель реального/ускоренного времени и программные продукты на ее основе будут востребованы на всех этапах жизненного цикла объекта. Они позволяют осуществлять комплексный анализ режимов работы установки. Модель актуальна на этапе ПНР и уточнения проектных решений установки пиролиза пилотного КП ТРО, создания проектов последующих аналогичных комплексов, для анализа нештатных ситуаций. На этапе эксплуатации она дает ряд возможностей совершенствования эксплуатационных характеристик проекта, повышения безопасности.

Наличие цифрового двойника на основе математической модели объекта предоставляет для проектирования и эксплуатации установки КП РАО широкие возможности.

Первая — возможность использовать математическую модель и информационные продукты на ее основе для повышения безопасности установки. При наличии в составе установки пиролиза КП ТРО нескольких сотен взаимосвязанных элементов (датчики, исполнительные устройства и др.), при сочетании вероятных отказов устройств гипотетически возможны несколько сотен тысяч сценариев нештатных ситуаций. Исследовать всю совокупность таких сценариев для выработки решений по предотвращению развития аварий невозможно ни на действующей установке, ни на физических моделях, ни даже аналитическим путем. Лишь цифровой двойник, построенный на основе качественной математической модели, позволяет безопасно и незатратно проводить моделирование как штатных технологических операций, так и сложных аварийных ситуаций с сочетанием отказов и отрабатывать правильные действия оператора.

Вторая возможность, которую получают эксплуатирующие организации, а также противоаварийные службы,— это использование цифрового двойника при реальных нарушениях нормальной эксплуатации и авариях для онлайн-моделирования возможного развития событий и выработки противоаварийных мер. В действующей модели, которую сегодня демонстрируют разработчики, уже сейчас просчитываются последствия простых отказов, в частности ситуации с внезапным отключением электронагревателей в процессах разогрева, сушки и разложения смолы, отказ механического миксера, самопроизвольное открытие/закрытие задвижек, засорение трубопроводных коммуникаций. Хотя КП ТРО и не является ядерно опасным объектом, категория радиационно опасного производства требует принятия исчерпывающих мер по обеспечению безопасности, поскольку какие-либо аварийные инциденты на объекте, входящем в состав АЭС, могут отражаться на репутации отрасли в целом.

Третья возможность, также имеющая непосредственное отношение к безопасности и которую тоже предоставит проработанная математическая модель,— это создание как виртуального, так и полномасштабного тренажеров для обучения операторов комплексов обращения с РАО. В основе таких тренажеров, хорошо известных операторам энергоблоков, также лежит математическая модель. На таких тренажерах отрабатываются штатные процессы, проводятся экзаменационные проверки, отрабатываются противоаварийные тренировки. Трудно переоценить и маркетинговое значение полномасштабных тренажеров: именно они демонстрируют будущим заказчикам, как будет действовать их АЭС и ее вспомогательные системы. Вся совокупность этого инструментария дополнит, «упакует» для клиента из эксплуатации этот «продукт» КП РАО подобно тому, как это стало с тренажерами экспортных энергоблоков АЭС российского дизайна.

Следует отметить еще одну существенную возможность цифрового двойника. В состав комплексов обращения с РАО входят (могут входить в разных сочетаниях) различные участки, взаимосвязанные между собой. Для переработки ТРО это участки прессования, дезактивации, сжигания и другие. Для переработки ЖРО могут использоваться установки концентрирования, ионоселективной очистки, фильтрации, отверждения и т. п. Все эти участки связаны между собой транспортными системами, системами радиационного контроля. Участки могут иметь локальные или централизованные системы управления. Существенную роль играют системы энергоснабжения и снабжения инженерными средами. Для оптимизации последовательности выполняемых процессов и обеспечения планирования функционирования системы обращения с РАО в целом в перспективе есть возможность создать цифровые двойники всех технологических участков и интегрировать их в единую информационно-аналитическую модель — цифровой двойник КП РАО для каждого проекта АЭС. Кроме того, такой верифицированный цифровой двойник будет являться востребованным инструментом при формировании обоснования безопасности АЭС.

Для АЭС и не только

После детальной разработки КП РАО математическая модель и продукты на ее основе (цифровой двойник, тренажерные комплексы) могут включаться в комплексное предложение Росатома по строительству энергоблоков, в том числе для зарубежных заказчиков. Наличие цифрового двойника продемонстрирует потенциальным приобретателям современность подхода к качественной проработке проекта КП РАО. В конечном итоге КП РАО, его конфигурация и цифровой двойник должны стать опцией и неотъемлемой частью любой АЭС, которую Росатом возводит в России или за рубежом.

Развитие компетенций и подходов, которые будут наработаны совместно Инжиниринговым дивизионом Росатома и ИТЦ «ДЖЭТ» в ходе создания комплексной математической модели КП РАО и продуктов на ее основе, позволит в дальнейшем формировать аналогичные продукты как для атомной, так и для других отраслей. Например, применение данной технологии пиролиза в переработке трибутилфосфата — органического вещества, которое широко используется при фабрикации ядерного топлива. Активный интерес к производству МОКС-топлива, масштабирование этих процессов в Росатоме уже в ближайшей перспективе поставит вопрос о безопасной переработке и изоляции подобных химических сред. Также актуально направление вне атомной отрасли — создание цифровых двойников для сложных производственных процессов, например таких, как выпуск полимеров. Известно, что с уходом вендоров из стран с недружественными правительствами информационная поддержка ряда высокотехнологических производств и комплексов прекращена. Зачастую такие производственные комплексы поставлялись без тренажеров, обучение персонала и практика проходили за рубежом и теперь недоступны по политическим причинам. Все это открывает актуальную рыночную нишу и мотивирует на дальнейшее развитие компетенций Инжинирингового дивизиона Росатома и ИТЦ «ДЖЭТ» в сотрудничестве с другими компаниями Росатома по математическому моделированию технологических комплексов, созданию цифровых двойников, тренажеростроению.

Разработчики надеются, что их инициатива будет востребована и поддержана дальнейшим финансированием и математическая модель КП ТРО вместе с информационными продуктами на ее основе послужит как повышению безопасности, так и коммерческой эффективности комплексного предложения Росатома.

Подробности

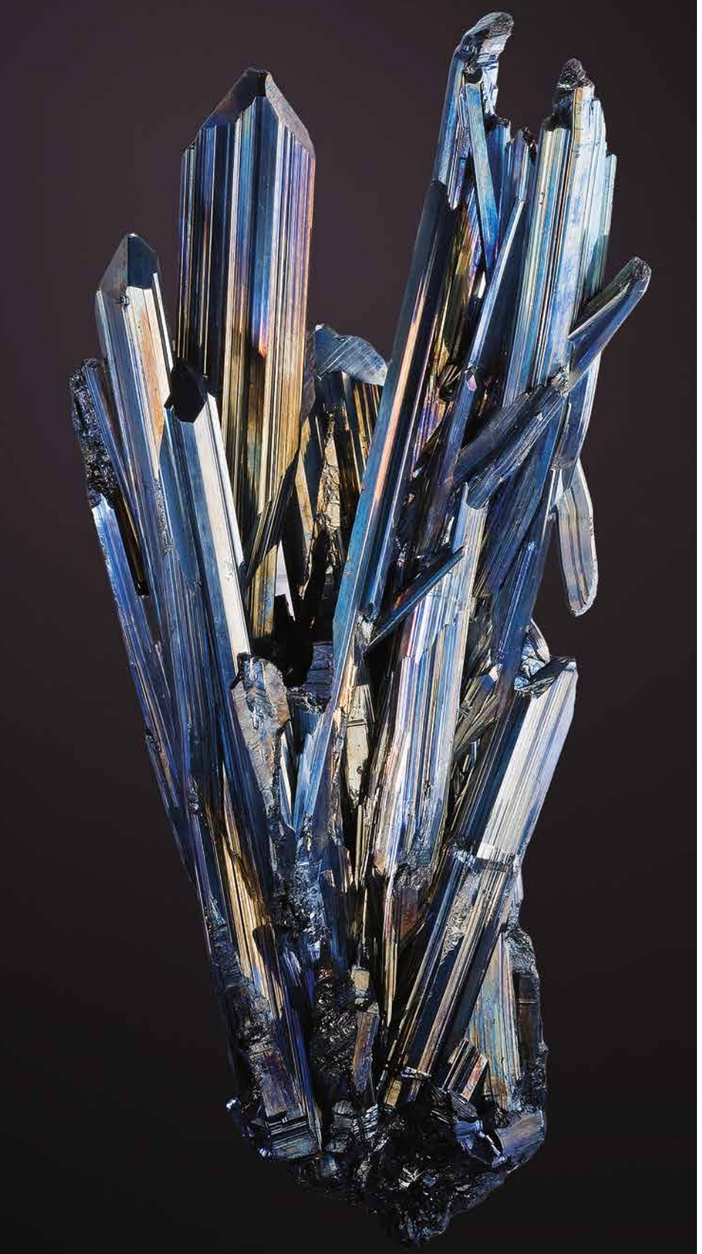
Безопасность в приоритете

В настоящее время разработана упрощенная демонстрационная модель ДИСПИРС (демонстрационный инженерный симулятор пиролиза ионообменных смол), которая описывает основные физические процессы переработки ОИОС. По мере ее доработки и дополнения могут быть учтены более тонкие эффекты, специфические для процесса переработки радиоактивных отходов,— например, конкретные особенности разложения смол на газы, последующие процессы при их дожигании и очистке. Разработчики отмечают, что в целом химические процессы разложения смол, особенно с радиоактивным загрязнением, слабо изучены и в России, и за рубежом. Восполнение этих знаний, которые будут получены в том числе при пусконаладке пилотного КП ТРО и в начальный период эксплуатации, позволит детально учесть все аспекты безопасности на последующих комплексах.

Текст: Ирина Дорохова
Фото: Wikipedia / Robert M. Lavinsky, ТАСС / Владимир Коротаев

Сурьма на пробу

Положение дел на рынках сурьмы в России и в мире



На фото

Антимонит — природный минерал сурьмы

Горнодобывающий дивизион Росатома развивает проект «Сурьма», который предполагает создание производства металлической сурьмы и ее соединений. Цель «Сурьмы» — импортонезависимость в этом сегменте. На успех проекта, по-видимому, будут влиять разнонаправленные факторы, связанные с нестабильностью объемов производства сырья, оценкой экологичности сурьмы, а также динамикой спроса в тех сегментах, где она применяется.

На форуме «Атомэкспо-2024» АО «Атомредметзолото» (АРМЗ, управляющая компания дивизиона, сейчас — «Росатом Недра») подписало соглашение о намерениях со «Строительным трестом-12». Стороны планируют построить предприятие по выпуску сурьмы и сурьмосодержащих продуктов. Предполагаемая мощность — 2,5 тыс. тонн готовой продукции. На эту мощность предприятие должно выйти к концу 2026 года.

Площадка размещения производства пока не определена, рассматриваются варианты в городах присутствия Росатома. В релизе АРМЗ были упомянуты Краснокаменск в Забайкальском крае, где расположено уранодобывающее Приаргунское производственное горно-химическое объединение (ППГХО), и Заречный в Свердловской области, вблизи которого размещена Белоярская АЭС.

Сырье

Россия находится на втором месте в мире (после Китая) по обеспеченности сурьмой в недрах. Согласно данным Геологической службы США, по итогам 2023 года объем запасов в Китае составлял 640 тыс. тонн, в России — 350 тыс. тонн. Данные Геологической службы США часто приводятся в различных аналитических отчетах и сообщениях, однако в случае с сурьмой они, вероятно, не во всем точны. Например, по оценкам Геологической службы США за 2022 и 2023 годы, запасы сурьмы в Таджикистане в 2021 и 2022 году составляли 50 тыс. тонн. У самого Таджикистана по сурьме другие данные. Так, в публикации посольства Таджикистана в ФРГ от 6 апреля 2021 года говорится, что объем запасов составляет 265 тыс. тонн. А в феврале 2023 года портал «Азия-Плюс» со ссылкой на Министерство промышленности и новых технологий сообщил, что подтвержденные запасы сурьмы составляют примерно 600 тыс. тонн.

Открытых актуальных официальных данных по запасам сурьмы в России нет. Сопоставление и экстраполяция открытых данных за 2019, 2020 и 2021 годы позволяет приблизительно предположить, что объем запасов составляет порядка 270–300 тыс. тонн.

По данным исследовательской группы «Инфомайн», в России в последние годы производится около 9–12 тыс. тонн сурьмы в сурьмяном концентрате. Ее выпускают Новоангарский ГОК (владелец лицензии на Удерейское месторождение в Красноярском крае), «Звезда» (входит в структуру компании «ГеоПроМайнинг», владеет правами недропользования на крупнейшее в стране Сентачанское золотосурьмяное месторождение) и «Сарылах-Сурьма» (также входит в «ГеоПроМайнинг», владеет правами недропользования на второе по величине в России золотосурьмяное месторождение Сарылах). Объемы производства сурьмы в концентрате на якутских месторождениях Сарылах и Сентачан варьируются в несколько раз. Так, в 2019 году было добыто около 7 тыс. тонн сурьмы, а разница между запасами 2020 и 2021 года составила порядка 24 тыс. тонн.

Кроме того, золотосурьмяный концентрат выпускают «Полюс Красноярск» (входит в структуру российского золотодобывающего холдинга «Полюс», данные учитываются в бизнес-единице «Олимпиада») и Новоангарский обогатительный комбинат. Производство золотосурьмяного флотоконцентрата «Полюсом Золото» также может в разы отличаться от года к году. Так, в 2021 году объем выпуска сурьмы во флотоконцентрате составил почти 2,5 тыс. тонн, в 2022 году — 4,39 тыс. тонн, а в 2023 году — 27 тыс. тонн, в шесть раз больше, чем годом ранее. В пресс-службе компании пояснили, что объем производства колеблется в связи с разным содержанием попутной сурьмы в руде на разных участках отрабатываемого месторождения.

Небольшие геологоразведочные компании пробуют вести геологоразведку сурьмяных месторождений для последующей перепродажи. Так, в июне 2023 года Юго-Западная горнопромышленная компания выставила на продажу серебряно-сурьмяное месторождение Утро в Магаданской области с запасами по категории С1 (средний уровень разведанности), содержащими 30 тыс. тонн металла, и прогнозными ресурсами по категории Р1 (низкий уровень разведанности), содержащими еще 20 тыс. тонн металла.

Добыча сурьмы в мире

По оценкам Геологической службы США, объем производства в 2023 году составил 83 тыс. тонн. Однако следует учитывать, что оценка по России в следующих выпусках будет скорректирована из-за резкого роста производства в «Полюсе». Также, возможно, будут скорректированы данные по Китаю. Так, если в отчете 2023 года объем добычи сурьмы в Китае по итогам 2022 года оценивался в 60 тыс. тонн, то годом позднее цифра была скорректирована до 40 тыс. тонн. Поэтому можно предположить, что в последние годы добыча сурьмы на рудниках мира варьируется в широком диапазоне от 80 тыс. тонн до 120 тыс. тонн, а реальное положение дел в ключевых юрисдикциях остается неизвестным или непубличным.

Таким образом, российская сырьевая база характеризуется разнородностью сырья (сурьмяные месторождения с попутным золотом, золотые месторождения с попутной сурьмой, серебряно-сурьмяное месторождение и проч.) и нестабильностью объемов производства, отличающихся в разы от года к году. В такой ситуации перед новым предприятием, нацеленным на производство металлической сурьмы и ее соединений, непростым может стать решение минимум двух задач. Первая — технологическая: получение стабильных по качеству готовых продуктов при потенциально разнородном сырье с различным содержанием золота, сурьмы и примесей. Вторая — хозяйственная: планирование загрузки производства в условиях, когда объемы поставки сырья могут различаться в несколько раз.

Любопытный момент: технология нового предприятия будет нацелена на производство сурьмы, однако его экономику будет определять золото, которое в техпроцессе становится «отходом». Цена на золото высока: с апреля она не опускалась ниже $2250 за тройскую унцию, в моменте превышая $2425.

Производство сурьмы и ее соединений

По данным «Инфомайна», в настоящее время мощности по переработке сурьмосодержащих концентратов в России незначительны, поэтому практически весь объем их экспортируется.

В России только одно стабильно выпускающее сурьмосодержащие продукты предприятие — новосибирский НПЦ «Электрум». Компания производит порядка 50 тонн металлической сурьмы и триоксида сурьмы в месяц, то есть не более 600 тонн в год.

По данным «Инфомайна», поставки на внешний рынок сурьмяного концентрата в последние годы составляют от 15 до 20 тыс. тонн. Основное направление российского экспорта — Китай (свыше 60%). Значимый объем поставок идет во Вьетнам.

Как отмечается в Обзоре состояния сурьмяной отрасли России, выпущенном в журнале «Известия Томского политехнического университета» в № 2 за 2022 год, «вывоз сурьмяного сырья превышает ввоз товарных сурьмяных продуктов в 1,9… 8,4 раза».

По данным «Инфомайна», на российском рынке в сегменте металлической сурьмы и ее соединений превалирует импорт, но динамика по разным сурьмосодержащим продуктам разнонаправленна. Так, импорт металлической сурьмы с 2020 по 2023 год сократился до минимума — с 100 до 5 тонн. Напротив, импорт трехокиси сурьмы за тот же период вырос с 1,3 тыс. до 2 тыс. тонн. Доля китайских поставок увеличилась с 45% до 71–72%.

Еще один сегмент — сурьмосодержащие сплавы для свинцово-кислотных аккумуляторов — обеспечивает свои потребности за счет рециклинга. Потребности в дополнительных поставках сурьмы для таких сплавов будут напрямую определяться стабильностью

Кадамжайский сурьмяный комбинат, Киргизская ССР, 1977 год

положения дел в сегменте, то есть тем, будут ли в России производиться новые свинцово-кислотные аккумуляторы из отработанных в России же аккумуляторов или нет.

Если в стране появится новое предприятие с объемом производства 2,5 тыс. тонн, оно закроет текущие отечественные потребности в сурьме, и останется небольшой объем продукции на экспорт, если не изменится объем российского рынка.

Одной из задач нового предприятия станет обеспечение безопасности сотрудников, так как пыль сурьмосодержащего концентрата и трехокиси сурьмы и аэрозоль металлической сурьмы относятся ко второму классу опасности. Сурьма раздражает кожу, слизистую оболочку глаз, верхних дыхательных путей и пищеварительного тракта, поражает центральную и периферическую нервную систему, сердечную мышцу.

Использование сурьмы

У сурьмы множество применений, обусловленных двумя ее ключевыми свойствами: она препятствует повышению температуры и повышает прочность сплавов и прочих материалов.

Огнезащитные свойства

Сурьма — антипирен, поэтому одно из ключевых применений сурьмы — производство огнестойких материалов и изделий. Однако отношение к сурьме как антипирену на мировом и российском рынке неоднозначное.

С одной стороны, у сурьмы есть свойство усиливать огнезащитные свойства галогенсодержащих органических соединений. Такая комбинация считается одной из самых эффективных. Так, в докладе Европейского химического агентства ECHA «Регуляторная стратегия в отношении антипиренов» (март 2023 года) отмечается, что на долю комбинации «галогены + триоксид сурьмы» приходится 25–30% от общего объема рынка антипиренов. «Использование бромированных антипиренов в сочетании с триоксидом сурьмы в качестве усиливающего компонента в некоторых случаях незаменимо», отмечается в докладе. В качестве примеров авторы приводят акрилонитрил-бутадиен-стирол и ударопрочный полистирол, которые используются для корпусов электротехники и электроники. «Альтернативы часто не выполняют ту же комбинацию функций, что и система бромированных антипиренов в сочетании с триоксидом сурьмы. Возможна замена полимерными сплавами, но это может привести к более высоким затратам и по-прежнему требует добавления до 0,5% галогена»,— отмечают авторы доклада. Они также признают комбинацию «галогены + триоксид сурьмы» предпочтительным материалом для термопластичных эластомеров, используемых в кабелях для электротехники.

Также трехокись используется при создании строительных материалов, например огнестойкого кровельного и гидроизоляционного покрытия конструкций, сооружений и трубопроводов, линолеума, искусственных кож и проч. Трехокись и пятиокись сурьмы в виде порошка нужны для производства синтетических волокон, используемых в изготовлении плохо горящих тканей для детской и рабочей одежды и объектов общественного пользования (торговых центров, концертных залов, салонов самолетов, морских и речных судов и проч.), для обивок, занавесов, кабелей и т. д. Требования к огнестойкой одежде устанавливаются страновыми и межстрановыми (например, в ЕС) регуляторами. Таков, например, стандарт 1910.269, установленный Управлением по охране труда и здоровья США. Также сурьму для повышения огнестойкости используют для производства резинотехнических изделий (шин, транспортерных лент и проч.) и электронных деталей (разъемы, рамки, трансформаторы, микродвигатели и проч.).

С другой стороны, у некоторых наиболее часто используемых бромсодержащих галогенов обнаружились токсичные свойства, они вызывают повышенное задымление. Поэтому такие антипирены стремятся если не ограничить, то хотя бы не давать им экологическую маркировку. Например, германский экологический знак «Голубой ангел» не может быть присвоен продукции, содержащей комбинацию «галогены + триоксид сурьмы».

История переработки

Кадамжайский сурьмяный комбинат был единственным в СССР предприятием по переработке сурьмяных руд и концентратов. Он производил до 20 тыс. тонн сурьмяной продукции в год. Изначально он работал на базе месторождений Киргизии и Таджикистана, затем золотосурьмяные руды начали привозить из Якутии. Для переработки использовали пиро- и гидрометаллургическую технологию. Оба метода были энергозатратны и не позволяли добиться высокого извлечения. Для пирометаллургического метода к тому же требовалась дорогая кальцинированная сода.

Справка

История использования сурьмы

Сурьма — относительно редкий элемент, его содержание в породах земной коры составляет в среднем всего 0,2 г/т. Тем не менее из-за широкого распространения природного минерала сурьмы антимонита и его обогащенных месторождений люди начали использовать сурьму тысячи лет назад. Археологические исследования показали, что фрагмент вазы, раскопанный в Телло (Халдея), представлял собой содержащую сурьму отливку, датируемую 4000 годом до н. э., а медные изделия, найденные в Египте, покрытые тонким слоем металлической сурьмы, предположительно были изготовлены в 2000–2500 годах до н. э.

Кайал (от аккадского, затем арабского — «сурьма, антимонит») известен с доисторических времен как средство для подводки глаз. Считалось, что таким образом их можно защитить от солнца. Кайал использовали в Южной Азии, Африке, на Ближнем Востоке, в некоторых регионах используют до сих пор.

Из-за хрупкости и недостаточной пластичности сурьма долгое время не находила широкого применения в промышленности. Положение дел изменило книгопечатание: сурьму использовали в сплавах со свинцом для изготовления типографских шрифтов. С начала 1800-х годов сурьма широко использовалась в качестве отвердителя свинца при изготовлении шрапнели. Сплав содержит 10% и более сурьмы, поэтому снаряд взрывается, не долетев до объекта, высвобождая ливень мелких свинцовых пуль, делая снаряд еще более мощным. Шрапнель сыграла важную роль в Первой мировой войне, поэтому сплав получил название «военный металл».

В 1839 году Исаак Бэббит из США изобрел антифрикционный сплав свинца и сурьмы, содержащий около 7,5% сурьмы. В 1850 году свинцово-сурьмяный сплав был впервые использован для изготовления аккумуляторных батарей.

По материалам книги Цзяо Тянь Коня «Металлургия сурьмы».

«Разработчики и производители полимерных материалов по всему миру максимально стараются отойти от использования неэкологичных галоген- и сурьмосодержащих антипиренов и создавать соответствующие требованиям «зеленой химии» огнестойкие материалы "без галогенов и сурьмы"»,— отмечает ведущий инженер Композитного дивизиона Росатома Наталия Панина. Для производства таких антипиренов используют соединения, содержащие фосфор, азот, кремнезем, переходные металлы, графит и т. д. Например, германский концерн BASF разработал линейку антипиренов, в позиционировании которой особо подчеркивается, что в них нет галогенов и триоксида сурьмы. Для поддержки и продвижения таких антипиренов была создана Ассоциация фосфорных, неорганических и азотных антипиренов (PINFA).

Отметим также, что оксиды сурьмы имеют высокую объемную плотность, что увеличивает вес изделий (это важно, например, в электронике), и это еще одна из причин поисков новых огнестойких материалов.

В России об использовании сурьмы в качестве антипирена известно очень немного. По-видимому, потому что ее почти не используют. Точных данных об объеме сурьмосодержащих антипиренов нет. Можно лишь предположить, что, исходя из соотношения трехокиси сурьмы с бромсодержащими галогенами 1:2…1:4, объем производства сурьмосодержащих антипиренов в России не превышает 8 тыс. тонн в год, а реальная цифра гораздо меньше.

В Российском союзе химиков посоветовали обратиться в узкопрофильные ассоциации. Однако в «Союзлегпроме» и ассоциации «Электрокабель» на запрос не ответили. Глава ассоциации производителей лакокрасочных материалов «Союзкраска» Геннадий Аверьянов сообщил, что ассоциации неизвестны рецептурные композиции лакокрасочных материалов: «Сурьма относится к канцерогенам. Возможно, некоторые предприятия применяют этот продукт в жаростойких красках, что является скорее исключением из общепринятой практики».

В коллективной монографии «Огнезащита текстильных материалов», вышедшей в 2020 году в Ивановской пожарно-спасательной академии Государственной противопожарной службы МЧС России, содержащие сурьму антипирены были рекомендованы к использованию, но не в виде добавок в волокно для ткани, а в качестве пропиток.

В строительной промышленности, авиации, судостроении и других отраслях действуют нормативы по огнестойкости используемых материалов и конструкций, детализированы методики их испытаний. В авиации, например, они указаны в Нормах летной годности самолетов транспортной категории, в строительстве — в Техническом регламенте ЕАЭС «О требованиях к средствам обеспечения пожарной безопасности и пожаротушения», Федеральном законе № 123 (Технический регламент о требованиях пожарной

безопасности), сборнике правил «Системы противопожарной защиты» и др.

Однако в реальности в отделке зданий и помещений далеко не всегда используются материалы, соответствующие правилам. Как отметили руководитель отдела развития компании «СтройЗащита» Анна Большакова и заместитель гендиректора по развитию компании «Тизол» Евгений Кузнецов в дискуссии на портале secutech.ru, российский рынок перенасыщен некачественными огнезащитными материалами, их используют большинство потребителей. Еще один участник дискуссии, директор по развитию компании «ОгнеХимЗащита» Андрей Ферулев, уверен: «Для современных огнезащитных материалов необходима российская сырьевая база со стабильными поставками и качеством». Правда, все три компании трехокись сурьмы в производстве огнезащитных материалов тоже не используют: первая работает с базальтовыми материалами, остальные две в технологическом процессе используют другие компоненты.

Использование в сплавах

Металлическая сурьма хрупка, поэтому самостоятельно практически не используется. Но она увеличивает твердость, износоустойчивость и коррозионную стойкость других металлов, поэтому часто применяется в составе сплавов.

Одно из ключевых применений свинцово-сурьмянистых сплавов — аккумуляторные пластины. Также сурьма нужна в сплавах для труб химической аппаратуры и даже орга́нов (музыкальных инструментов). Из баббитов — сплавов сурьмы, олова, свинца и меди (иногда с добавками цинка и висмута) — изготавливают вкладыши подшипников скольжения для станков, железнодорожного и автотранспорта. Сурьму вводят в состав припоев. Также в разных странах ее используют в сплавах, применяющихся для нужд ВПК. По-видимому, именно поэтому в США и Европе сурьма входит в число стратегических металлов. Учитывая последние тенденции, можно предположить, что этот сегмент тоже будет расти.

Другие применения

Сурьму применяют в стекольной промышленности: ее добавление позволяет убрать микропузырьки, увеличив прозрачность стекла. Поэтому сурьма идет в производство мониторов, экранов телевизоров, фотоэлектрических стекол (они способны генерировать электроэнергию, но выполняют и основную функцию, так как остаются прозрачными), приборов ночного видения и проч. Также сурьму используют в катализе политетрафторэтилена и смолы полиэтилентетрафталата, для спичек и фейерверков, производства пестицидов и в медицине.

Положение дел на мировом рынке сурьмы

Как минимум два игрока на рынке сурьмы, бельгийская Campine и американская United States Antimony Corporation (USAC), заявили о снижении спроса, объемов продаж и цен на свою сурьмяную продукцию.

Так, USAC в отчете за 2023 год сообщила, что продала почти 1,27 млн фунтов (немногим менее 575,7 тонн) против 1,39 млн фунтов (632,32 тонн) в 2022 году. Цена реализации снизилась с $5,47 за фунт ($12 059 за тонну) до $4,65 за фунт ($10 251 за тонну). Как следствие, выручка упала с $7,63 млн до $5,9 млн.

«Из-за слабой экономической ситуации в строительном секторе спрос на антипирены в подразделении специальной химии компании Campine упал. Объемы снизились в среднем на 16% по сравнению с предыдущим годом. Этот слабый спрос также привел к общему снижению цен на многие виды сырья, в том числе на металлическую сурьму: в I квартале 2023 года цена все еще составляла около $13 тыс. за тонну, но к концу года она снизилась примерно до $11,5 тыс. за тонну»,— говорится в отчете бельгийского производителя за 2023 год. Средняя цена сурьмы, по данным Metal Bulletin, в 2023 году составила $12,05 тыс. за тонну, что на 8,5% ниже, чем в 2022 году, когда средняя цена составляла $13,16 тыс. за тонну.

Campine в отчете отметила, что в I квартале 2024 года положение дел улучшилось. «Однако пока неясно, продолжится ли эта тенденция к росту. В любом случае цены на металлическую сурьму снова растут, что уже приводит к положительному эффекту оценки запасов и повышению рентабельности»,— говорится в сообщении.

События, происходящие в сурьмяных компаниях, показывают, что производство сурьмы — непростой бизнес. Так, USAC в отчете за 2023 год объявила о том, что свернула операции на рудниках в Мексике, уволила большую часть сотрудников, мексиканские активы будет продавать. У оманской компании SPMP, которая была основана в 2014 году и позиционировалась как первое предприятие по обжигу сурьмы (это ключевой метод ее переработки) за пределами Китая за последние 30 лет, тоже сложности. В 2020 году появилась информация о докапитализации проекта, который столкнулся с техническими проблемами, задержками финансирования и перерасходом средств. Последний релиз компании вышел в июле 2022 года. Британское издание Evening Standard пишет со ссылкой на одного из совладельцев SPMP Криспиана Оди, что завод работает на 40% от планируемой мощности (20 тыс. тонн продукции в год). Но, по информации от источника, завод остановился, сейчас изучаются возможности его перезапуска.

Перспективы

По мнению заместителя гендиректора Hunan Zhenqiang Antimony Co. Чен Линя, мировой спрос и цены на сурьму будут стабильно расти. Среди факторов роста — ограниченность предложения из-за сложностей, связанных с эксплуатацией рудников и длительными экологическими согласованиями у регулятора и снижение объема запасов у производителей сурьмяной продукции.

По оценкам экспертов консалтинговой компании Research and Markets, рынок сурьмы будет расти со средним темпом 7,63% в год и достигнет $3 млрд в 2028 году. По оценкам их коллег из Future Market Insights, мировой рынок в течение 10 лет до 2033 года будет расти со среднегодовым темпом в 5,4% и достигнет $2,44 млрд. Разница в прогнозах свидетельствует, по-видимому, о невозможности получить достоверную картину рынка и его развития.

По оценкам Чен Линя, подтолкнуть рост мирового сурьмяного рынка может расширение фотоэлектрического сегмента и увеличение объемов производства спецсталей. Также потребление сурьмы может вырасти в сегменте накопителей за счет использования в сурьмяно-кальциевых аккумуляторах. Чен Линь также упомянул сегмент полупроводников, где постепенно растет внедрение соединений сурьмы и металлической сурьмы высокой чистоты.

Как будет развиваться спрос на металлическую сурьму и ее трехокись в России, спрогнозировать сложно. Можно предположить рост военного потребления. Кроме того, если в России признают, что сурьма — подходящий антипирен для использования в тканях и кабельных пластиках для общественных помещений, то ее использование может вырасти. Напомним, большой резонанс вызвали трагедии в ТРЦ «Зимняя вишня» и «Крокусе», где одной из причин стремительного распространения огня и гибели людей называлось использование неподходящих материалов. «Потребление антипиренов в виде триоксида сурьмы на российском рынке должно иметь в перспективе однозначный тренд на рост»,— считает гендиректор «Инфомайна» Игорь Петров.

Однако итогом может стать и простой рост импорта материалов, обладающих огнезащитными свойствами. Еще один вариант развития событий с учетом неоднозначного отношения в российской экспертной среде к свойствам сурьмы — рост применения других типов антипиренов.

Кроме того, факторами, тормозящими рост сурьмяного рынка, могут стать опасения по поводу токсического воздействия сурьмы на человеческий организм и природу на всех стадиях производственной цепочки от добычи руды до утилизации или переработки готовых изделий.

Таким образом, прогноз динамики российского рынка, по-видимому, следует строить на сочетании регуляторной и геополитической ситуации: появится ли в России нормативная база, предписывающая использование антипиренов в строительстве, оснащении и отделке помещений, будет ли стабильным рециклинг свинцово-кислотных аккумуляторов внутри страны, насколько высоким будет спрос на сурьму со стороны ВПК и будет ли задействована сурьма в высоких технологиях: новых полупроводниках, накопителях и проч.

Текст: Сергей Петровский
Фото: Антон Глухоедов

Попадание в десятку

Энергетические технологии для ближайшего будущего

Ассоциация «Глобальная энергия» в рамках ПМЭФ-2024 представила пятый, юбилейный выпуск научно-делового доклада «10 прорывных идей в энергетике на следующие 10 лет». В докладе, который является своего рода проводником между исследованиями большой науки и современными практиками энергетического сектора, уделено внимание низкоуглеродным источникам генерации, в том числе атомным станциям малой мощности, способам использования водорода в качестве топлива для различных видов транспорта, перспективным технологиям для хранения энергии и новым материалам для энергетики.

1. Атомные станции малой мощности

В современном мире повышение энергетической эффективности и безопасности становится ключевым фактором устойчивого развития общества. Бесперебойное снабжение чистой энергией играет важную роль в обеспечении качества жизни людей, создании инфраструктуры, промышленности и различных благ цивилизации в самых разных уголках планеты. Однако до сих пор эта базовая потребность оказывается недоступной во многих регионах мира. Особенно уязвимыми остаются труднодоступные и малонаселенные территории, где нет стабильной местной генерации.

Для решения этой проблемы ведущие технологические лидеры развивают перспективное направление атомных станций малой мощности (АСММ), или, по международной терминологии, SMR (small modular reactors). Эти инновационные энергетические установки предлагают оптимальное решение для стабильного и экологически чистого энергообеспечения потребителей на отдаленных от центральных энергосетей территориях, а также для замены старых электростанций с повышенным объемом выбросов CO_2 в атмосферу. На протяжении последних лет технологии АСММ находятся под пристальным вниманием стран, ориентированных на инновации, экономический рост и достижение целей Парижского соглашения по климату.

У АСММ есть несколько ключевых отличий по сравнению с АЭС большой мощности: значительно меньшая площадь станции; модульность, то есть возможность заводской сборки и дальнейшей транспортировки реактора на площадку станции с его установкой; сокращенные сроки сооружения.

Благодаря своему опыту и компетенциям в области ядерной энергетики, Росатом играет ведущую роль в реализации проектов с использованием АСММ, демонстрируя технологические решения, конкурентоспособные на мировом рынке. Российские проекты АСММ прокладывают путь к устойчивой и экологически чистой энергетике, способствуя сокращению выбросов углекислого газа, повышению энергетической безопасности и обеспечению экономической эффективности. В 2020 году была запущена российская плавучая атомная теплоэлектростанция (ПАТЭС) «Академик Ломоносов» с двумя блоками водо-водяного реактора КЛТ-40С суммарной электрической мощностью 70 МВт. Референтная реакторная технология РИТМ-200 и проектируемая станция с реактором «Шельф-М» создают задел для расширения географии АСММ и продвижения российских технологий на зарубежных рынках.

Цифра

до 300 МВт

составляет электрическая мощность станций, которые по классификации МАГАТЭ относятся к АСММ

Цифра

50 000

водородных погрузчиков эксплуатировались в мире на начало 2024 года

2. Водородные топливные элементы

Водород привлекает внимание как топливо для транспортных средств и техники своей высокой энергоемкостью и экологичностью, поскольку при окислении водорода продуктом реакции является только вода. Большинство известных автопроизводителей к настоящему времени представили хотя бы опытные образцы транспорта на водороде, а некоторые модели стали серийными.

Топливные элементы — это электрохимические устройства, преобразующие химическую энергию реагентов непосредственно в электрическую энергию (постоянный ток). При работе топливного элемента пропускаются характерные для двигателей внутреннего сгорания промежуточные термомеханические процессы преобразования энергии, что повышает их КПД.

Водородные автомобили в сравнении с их чисто электрическими собратьями имеют ряд сильных преимуществ: в несколько раз больший пробег, быструю скорость заправки, меньшую зависимость от температуры (топливный элемент сам выделяет тепло и не теряет емкость на морозе, как аккумулятор), а также — как это ни удивительно — меньшую пожароопасность в сравнении как с бензиновыми, так и с аккумуляторными автомобилями. Широкому распространению и реальной конкуренции легковых водородных автомобилей мешает отсутствие развитой инфраструктуры — из-за очень высокой начальной стоимости создания заправочной станции.

Однако даже в таких условиях несколько типов водородного транспорта оказались экономически жизнеспособны. Во-первых, это водородные автобусы и другой коммунальный транспорт. Эффективность их использования объясняется тем, что в этом случае требуется всего одна заправочная станция на весь

автопарк: водоробусы заправляются ночью, а одной заправки обычно хватает на день работы. Во-вторых, это разнообразная складская техника, и в первую очередь погрузчики. В-третьих, это небольшие развозные грузовики «последней мили». В-четвертых, дальнемагистральные грузовики, но их широкая эксплуатация возможна только одновременно с реализацией проектов Hydrogen Highway — шоссе, оснащенных цепью водородных заправок на расстоянии до 200 км друг от друга.

Сейчас рынок водородного транспорта активно растет за счет Азиатского региона, в первую очередь Китая с его значительно более развитой по сравнению с другими странами водородной инфраструктурой. К 2030 году ожидается кратный рост объемов производства такого типа транспорта, что обеспечит снижение стоимости водородных энергоустановок и рост инфраструктуры. Эти факторы позволят расширить сферы применения водорода и энергоустановок на основе топливных элементов.

3. Водородные двигатели внутреннего сгорания

Водородные ДВС сжигают водород в процессе, аналогичном используемому традиционными двигателями внутреннего сгорания, производя механическую энергию для приведения автомобиля в движение. КПД водородных двигателей сопоставим с традиционными бензиновыми, составляя примерно 25–30%. Сейчас ведутся масштабные исследования по повышению КПД, снижению выбросов и улучшению общих эксплуатационных характеристик водородных двигателей. Несколько компаний работают над адаптацией существующих ДВС для работы на водороде, в частности путем некоторой конструкционной модификации двигателя. Побочными продуктами водородных двигателей являются в основном водяной пар и тепло, при этом CO_2 и другие парниковые газы не образуются. Однако водородные двигатели генерируют NO_x, который образуется при нагревании воздуха до высоких температур. Выброс NO_x необходимо контролировать с помощью систем очистки выхлопных газов.

Хотя водородные ДВС кажутся неподходящим решением для пассажирских автомобилей, они могут сыграть важную роль в замене дизельных двигателей в тяжелых транспортных средствах, к которым относятся миллионы грузовиков, автобусов, а также других машин, используемых в сельском хозяйстве, строительстве, горнодобывающей и цементной промышленности и прочих отраслях со сложными условиями эксплуатации. Водородные ДВС, при условии высокой критичности фактора стоимости, могут стать приемлемым выбором, по крайней мере в ближайшем будущем, используя существующую инфраструктуру с незначительными изменениями.

Водород также рассматривается как перспективное топливо для достижения нулевого уровня выбросов при авиаперевозках. Переоборудование газовой турбины для работы на водороде вместо реактивного углеводородного топлива не требует больших изменений, в основном они касаются изменения конструкции камеры сгорания. Например, Airbus в настоящее время работает над тремя концепциями, основанными на использовании водородных двигателей.

Цифра

~ 2,5%

мирового объема выбросов углекислого газа приходится сегодня на авиационную отрасль

4. Суперконденсаторы для накопления энергии

Существенным недостатком возобновляемой энергии является ее региональный, прерывистый и нестабильный характер. Следовательно, интеграция и развитие ВИЭ во многом зависят от достижений в технологиях хранения электроэнергии.

В настоящее время к наиболее широко исследуемым и применяемым устройствам хранения электроэнергии относятся вторичные батареи (свинцово-кислотные, никель-водородные, литийионные аккумуляторы и т. д.) и суперконденсаторы. Вторичные батареи используют окислительно-восстановительную реакцию между электродами и электролитами для преобразования электрической энергии в химическую. Суперконденсаторы же действуют по механизму обратимой адсорбции-десорбции ионов на границе между электродом и электролитом, образуя двойной электрический слой, или используют поверхностные окислительно-восстановительные реакции на поверхности электрода для создания псевдоемкости. Это наделяет суперконденсаторы превосходными энергетическими характеристиками и более длительным сроком службы по сравнению с аккумуляторными батареями. Хотя емкость суперконденсаторов ниже, чем у аккумуляторных батарей, их внедрение на рынок и промышленное производство могут получить дальнейшее развитие после увеличения зарядной емкости за счет оптимизации реакционной способности материалов и более эффективного использования двойного электрического слоя.

Современные суперконденсаторы уже находят применение в самых разных областях, например, служат в качестве вспомогательных источников энергии для электромобилей, железнодорожного и других видов транспорта. Они обеспечивают мгновенное выполнение таких функций, как разгон, рекуперативное торможение и запуск двигателя, повышая тем самым энергоэффективность и безопасность. Также суперконденсаторы могут использоваться в качестве резервных источников питания, обеспечивая нормальную работу видеорегистраторов и навигационных систем.

В сфере энергетики суперконденсаторы служат в качестве накопителей энергии, обеспечивая бесперебойную, стабильную и регулируемую подачу электричества. Эта способность повышает надежность и гибкость энергосистем. Кроме того, суперконденсаторы используются в качестве защитных устройств энергетического оборудования, помогая нивелировать такие проблемы, как флуктуации напряжения и кратковременные перебои в подаче электроэнергии. Эта защитная функция обеспечивает надежную работу энергетического оборудования.

Области применения суперконденсаторов обуславливают их значительный потенциал и преимущества. Ожидается, что с увеличением доли новых источников энергии и созданием интеллектуальных сетей спрос на суперконденсаторы будет постоянно расти. Эксперты предполагают, что в ближайшем будущем, с дальнейшим развитием механизмов накопления энергии, суперконденсаторы, преодолевающие ограничения по емкости, станут оптимальным решением в области хранения энергии.

5. Воздушно-цинковые батареи

С увеличением спроса на новые технологии хранения электроэнергии, вырабатываемой ВИЭ, в последние годы большое внимание привлекают и металл-воздушные батареи, в которых процессы разрядки и зарядки осуществляются за счет реакций восстановления и выделения кислорода и которые обладают более высокой плотностью энергии в сравнении с широко используемыми литийионными батареями. В частности, широко изучаются воздушно-цинковые батареи (ВЦБ). Аккумуляторные ВЦБ считаются перспективным вариантом для создания устройств хранения энергии нового поколения благодаря их высокой теоретической плотности энергии (1086 Вт·ч/кг), низкой стоимости и высокой безопасности. Широкомасштабному применению перезаряжаемых ВЦБ пока препятствует низкая кинетика реакций восстановления и выделения кислорода, при этом с целью достижения высокой каталитической эффективности для ВЦБ желательно применение бифункциональных катализаторов, не содержащих драгоценных металлов. Создание таких высокоэффективных, недорогих и долговечных электрокатализаторов снимет одно из основных препятствий для коммерциализации аккумуляторных ВЦБ.

6. Углеродные нанотрубки

Углеродные нанотрубки (УНТ) представляют собой одномерную трубчатую структуру, состоящую из sp^2-гибридизированных атомов углерода. Диаметр нанотрубки находится в диапазоне от субнанометра до 100 нанометров, а их длина обычно измеряется микронами, но может достигать десятков сантиметров. В зависимости от количества составляющих коаксиальных графитовых слоев, нанотрубки подразделяются на одностенные, двустенные и многостенные. Благодаря уникальной трубчатой структуре и прочным ковалентным связям C — C, УНТ обладают превосходными физико-химическими свойствами, включая сверхвысокую прочность на разрыв, высокую электропроводность и теплопроводность, отличную гибкость, хорошую химическую и термическую стабильность. Поэтому прогнозируется, что УНТ найдут широкое применение в электронике, оптоэлектронике, аэрокосмической промышленности, производстве усовершенствованных композитных материалов, автомобилестроении, технологиях преобразования энергии и других областях. Специалисты говорят, что свойства УНТ позволяют считать их идеальным материалом для использования в электродах литиевых аккумуляторов, где они могут обеспечить требуемые электрохимические свойства. Согласно прогнозам, в ближайшие 10 лет рынок УНТ будет стремительно расширяться.

7. Органические солнечные батареи

Ватт солнечного фотоэлектричества пока дороже «углеродного ватта», но его стоимость постепенно снижается. Глобальная установленная мощность солнечной фотовольтаики уже превысила 1 ТВт (5% глобального потребления электроэнергии) и показывает прирост около 25% в год.

В настоящее время подавляющая доля солнечной электроэнергии производится кремниевыми солнечными панелями, обладающими КПД выше 20% и сроком службы в десятки лет, но все еще слишком дорогими. В связи с этим внимание во всем мире сосредоточено на поиске более дешевых альтернатив солнечному кремнию, производство которого энергозатратно и дорого, так как требует высоких температур и вакуума. Такой альтернативой видятся дешевые тонкопленочные (~100 нм) полупроводниковые материалы, которые, например, можно быстро наносить из растворов на большие площади, используя, в частности, имеющиеся технологии полимерной и печатной индустрии.

В последние 10 лет наблюдался бурный рост исследований в области органической фотовольтаики. Значения КПД лабораторных образцов органических

Цифра

> 20%

ожидаемый ежегодный рост рынка архитектурно-интегрированной фотовольтаики

солнечных батарей (ОСБ) уже достигли уровня, вполне удовлетворительного для большого числа разнообразных практических применений, но наиболее узкими местами ОСБ остаются их недостаточный срок службы и высокая стоимость. При этом проведенные исследования по методике ускоренного старения показывают, что при качественной герметизации от атмосферных кислорода и воды срок службы ОСБ может достигать десятков лет. Высокая стоимость ОСБ прежде всего связана с дороговизной материалов для активного и вспомогательных слоев для них. Поэтому усилия исследователей будут также направлены на поиск более простых синтетических методик получения материалов для ОСБ.

Эксперты считают, что в ближайшие годы ОСБ не достигнут необходимой степени зрелости для конкуренции с кремниевыми батареями для промышленного производства электроэнергии. Но ожидается, что будут активно развиваться нишевые применения, где ОСБ имеют весомые преимущества.

ОСБ перспективны для архитектурно-интегрированной фотовольтаики в сравнении с традиционными кремниевыми солнечными панелями за счет их гибкости, малого веса, полупрозрачности и возможности получать различные цветовые оттенки. При этом не требуется выделения дополнительных территорий, необходимых для работы солнечных электростанций. Покрытые солнечными панелями внешние площади зданий могут улучшить их шумовую и термоизоляцию, а также электромагнитную защиту. Кроме того, ОСБ более эффективно преобразуют рассеянное и падающее под углом солнечное излучение. Недавние сравнительные натурные испытания кремниевых и гибких органических солнечных модулей, установленных наклонно (под углом 45°) и вертикально (под углом 90°), показали, что нормированное на максимальное значение КПД ОСБ может быть до 30% выше, чем КПД кремниевых. Также перспективным направлением представляется интеграция в окна зданий полупрозрачных ОСБ со спектром поглощения в ближнем ИК-диапазоне. В таком случае наличие ОСБ не будет визуально заметным, а оконные стекла могут служить отличной защитой от влияния окружающей среды, что будет способствовать длительному сроку службы ОСБ.

Пока ОСБ еще не вышли на рынок фотовольтаики для помещений, но также имеют здесь высокий потенциал. Во-первых, путем выбора материалов активного слоя спектр фоточувствительности ОСБ может быть сравнительно легко подстроен под спектр искусственного освещения. В настоящее время продемонстрированы лабораторные образцы различных типов ОСБ с КПД в диапазоне 20–30%, что превышает КПД кремниевых СБ при аналогичных условиях искусственного освещения. При этом предельный КПД ОСБ для работы на искусственном свете может достигать 60%, что существенно выше предела, рассчитанного для условий прямого солнечного освещения. Во-вторых, условия эксплуатации СБ в помещениях, как правило, намного менее жесткие, чем при работе на открытом воздухе, что делает менее острыми проблемы стабильности ОСБ.

Еще одним перспективным направлением развития органической фотовольтаики выступает космос, где нет главных «врагов» стабильности ОСБ — кислорода и воды.

8. Организмы для производства биотоплива

Биотопливо относят к возобновляемым источникам энергии, так как его производят на основе материалов, легко воспроизводимых путем выращивания. Современные виды биотоплива, такие как биоэтанол и биодизель, могут служить прямым и адекватным заменителем ископаемого топлива. Биоэтанол — наиболее распространенное жидкое биотопливо, получаемое главным образом из сахарного тростника в Бразилии и кукурузы в США. Биодизель, второй по объему потребления вид биотоплива, производится в основном на основе масличных растений и потребляется в Европе.

Биотопливо первого поколения получают из продовольственных культур, для этого необходимы значительные земельные ресурсы и большое количество удобрений. Биотопливо второго поколения производится из непродовольственного сырья, в том числе сельскохозяйственных отходов (кукурузной, рисовой и пшеничной соломы), энергетических культур (мискантуса, проса прутьевидного и других лигноцеллюлозных растений), лесосечных и иных отходов (твердых бытовых отходов и отработанного кулинарного жира). В отличие от первого поколения, биотопливо второго поколения в целом не оказывает негативного воздействия на продовольственную безопасность, окружающую среду и устойчивое развитие.

Биотопливо третьего поколения производится из таких субстратов, как макроводоросли, микроводоросли и цианобактерии, выращивание которых не требует пахотных земель. Культивирование водорослей или цианобактерий сопровождается потреблением CO_2, что также способствует достижению целей декарбонизации. Но экономические характеристики биотоплива третьего поколения во многом еще требуют улучшения. К ближайшим задачам относятся оптимизация систем культивирования и сбора, комбинированная выработка липидов и ценных соединений водорослями, накопление ценности благодаря связыванию углерода.

Перспективным направлением также является использование микроорганизмов: с помощью почкующихся дрожжей можно получать этанол из сахаросодержащего и крахмалосодержащего сырья, а липиды жирообразующих дрожжей можно перерабатывать в биодизель. Также в сфере синтетической биологии имеется большой потенциал создания новых штаммов и сообществ микроорганизмов, что позволит совершенствовать производство биогаза — экологически чистого биотоплива, применяемого уже несколько десятилетий. Основным горючим компонентом в составе биогаза является метан, получаемый при разложении органических материалов смешанными микробными сообществами в анаэробных условиях.

9. Умные материалы для энергетики

Из-за роста спроса на энергетическое оборудование повышенной надежности и долговечности повышается интерес к изоляционным материалам. Однако с повышением уровня напряжения проблемы с изоляцией становятся все более серьезными. Неравномерное распределение электрических полей в изоляционных материалах приводит к особо сложной конструкции изоляции. Даже малейший дефект, вызванный электрической деградацией диэлектрических полимеров, в конечном итоге может привести к пробою диэлектрика, что крайне затрудняет обнаружение потенциальных дефектов изоляции во многих видах энергетического оборудования. Длительная деградация твердых диэлектриков, постоянно работающих в жестких условиях, неизбежно приведет к их катастрофическому разрушению.

Умные диэлектрики имеют функции самостоятельной адаптации, индикации и восстановления, что позволяет избежать, ограничить и даже устранить электрическую деградацию. Самоадаптивные диэлектрики демонстрируют отличную способность к пространственному выравниванию неравномерных электрических полей и быстрому высвобождению зарядов высокой плотности, что позволяет избежать нарушений изоляции, вызванных локально усиленными полями. Диэлектрики со встроенной индикацией могут изменять цвет при поверхностной электрической деградации, что позволяет легко обнаружить микроскопическую электрическую деградацию невооруженным глазом. Самовосстанавливающиеся диэлектрики могут устранять электрические повреждения, восстанавливая утраченные функции и деградировавшие характеристики, в результате чего срок службы оборудования увеличивается. По сравнению с традиционными диэлектриками использование умных диэлектриков не только повышает стабильность и долговечность, но и снижает производственные затраты. Важно, что функции самоадаптации, индикации и самовосстановления могут быть интегрированы в один и тот же диэлектрик для автономного управления всем его жизненным циклом.

10. Искусственный интеллект в нефтегазовом секторе

Анализируя глобальные тренды потребления энергоресурсов, эксперты обращают внимание на стойкую тенденцию спроса на углеводороды, который, по прогнозам, будет оставаться на высоком уровне в течение ближайших 30 лет. В свете этого перед нефтегазовой отраслью стоит серьезный вызов: увеличение и поддержание объемов добычи нефти и газа, что особенно актуально в контексте растущего процента трудноизвлекаемых запасов. Ответом на этот вызов может стать применение инновационных техник и технологий на всех этапах, от разработки и эксплуатации месторождений до транспортировки и переработки углеводородов. Это, в свою очередь, позволит снизить общую себестоимость продукции.

Одно из перспективных направлений в развитии нефтегазового сектора — применение искусственного интеллекта в интерпретации геологоразведочных данных, что может существенно повысить точность анализа и привести к сокращению капитальных затрат на этапе геологоразведки и разработки месторождений. Так, согласно исследованиям, генеративный ИИ способен анализировать исторические данные обслуживания и сенсорные данные, что помогает в создании моделей прогностического технического обслуживания и оптимизации стратегий бурения, оценке запасов углеводородов и максимизации эффективности производства.

Цифра

до 13%

с нынешних 6% вырастет доля современной биоэнергетики в совокупном объеме предложения энергоресурсов в 2030 году, по оценкам МЭА (в рамках сценария «Нулевой нетто-уровень выбросов»)

Цитата

Александр Новак

Заместитель председателя правительства РФ:

“Масштабные сдвиги в мировой энергетике создают идеальные предпосылки для быстрого внедрения инноваций. Разработки, которые еще вчера были предметом стендовых испытаний, сегодня получают промышленное применение, а завтра будут определять тренды в отрасли. Именно поэтому чрезвычайно важно отслеживать инновации, позволяющие повысить эффективность использования традиционных и новых источников энергии”

Текст: Наталия Фельдман
Фото: ИЦАЭ

Клубки ДНК, ограничения Вселенной и АЭС в мемах

О чем узнали гости фестиваля науки на родине ВВЭРов

Где же еще рассказывать о реакторах ВВЭР, как не в Воронеже? Именно на Нововоронежской АЭС установлен практически полный модельный ряд реакторов этого типа — от ВВЭР-210, уже выведенного из эксплуатации, до инновационных реакторов поколения III+ ВВЭР-1200. Поэтому одним из спикеров фестиваля науки «КСТАТИ» в Воронеже стал начальник смены Нововоронежской АЭС Петр Поваров. Фестивали — от 5 до 10 в год — проводятся в регионах присутствия сети Информационных центров по атомной энергии (ИЦАЭ).

Наука с доставкой на дом

Фестиваль науки — это всегда праздник. У жителей региона есть возможность познакомиться с местными учеными и пообщаться с экспертами и популяризаторами науки федерального масштаба. На фестиваль науки «КСТАТИ» в Воронеже приехали доктор физико-математических наук Алексей Семихатов из Москвы, кандидат биологических наук Нариман Баттулин из Новосибирска и скрипач Никита Демин из Санкт-Петербурга.

Темой выступления Алексея Семихатова стали ограничения, действующие во Вселенной. По словам эксперта, только благодаря им стало возможным наше существование. «Запреты поддерживают устойчивость мира, они не дают происходить произвольным чудесам. Например, энергия электрона в атоме точно определена, и существуют два запрета — запрет на обладание точным расположением в пространстве и запрет на обладание определенным количеством движения. Они позволяют атомам, а значит, и нам с вами существовать»,— объяснил слушателям Алексей Семихатов.

Нариман Баттулин предложил воронежцам разобраться в запутанном «клубке» ДНК. «В микроскопическом ядре каждой клетки нашего организма упакована цепочка ДНК длиной в 1,5 м. Чтобы туда уместиться, она во много раз складывается и комкается. Раньше ученые не знали, по каким законам упаковывается ДНК, и считали, что это происходит хаотично, а конечный результат напоминает моток перепутанных проводов, в который превращаются наушники в кармане. Однако в последние пять лет с помощью новой технологии, которую назвали Hi-C, было показано, что на самом деле все гораздо более структурированно: ДНК в ядре разделена на отдельные «клубки», которые назвали топологическими доменами»,— отметил спикер.

А вечером Нариман Баттулин вместе со скрипачом и саунд-продюсером Никитой Деминым на научно-музыкальном ток-шоу «Квадрат эволюции» рассмотрели развитие музыки как жанра на примере саундтреков из комедийных фильмов разных эпох.

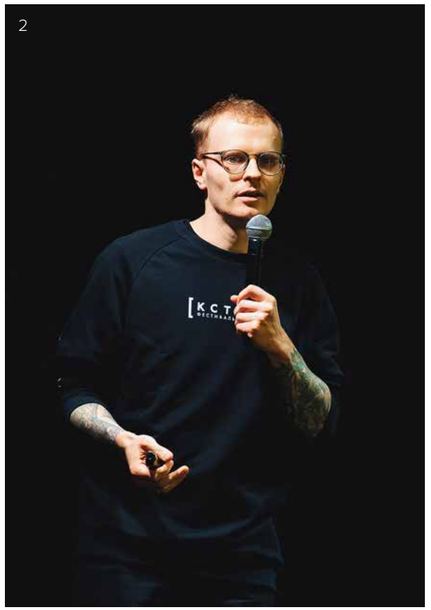
Это смешно: наука в мемах

Проанализировать мем, посвященный научному факту или технологии, а также объяснить, что здесь смешного,— перед спикерами comedy science show «Наука в мемах» была поставлена нетривиальная задача. Имеющиеся у них знания нужно сочетать с юмором, а сложные явления и термины объяснять понятным языком, не теряя при этом точности изложения.

На экране сначала появляется слайд с кадром из известного фильма с тремя очень похожими друг на друга мужчинами и подписями «Ростовка», «Калина», «Балаковка», а на соседней картинке выстроилась в ряд семья — от младенца до взрослого. «Все АЭС у нас разные. При этом серийные энергоблоки на АЭС очень похожи, как, например, на Ростовской, Калининской и Балаковской АЭС. Это и отражено в первом меме. А вот Нововоронежская АЭС уникальная. Ее можно назвать колыбелью ВВЭРов — водо-водяных энергетических реакторов. Поэтому этот «семейный ряд» образно демонстрирует, как росла мощность реакторов ВВЭР, которые последовательно запускали на Нововоронежской АЭС. Мы начали с мощности 210 МВт, а последние построенные реакторы — это модель поколения III+ с мощностью 1200 МВт. Сейчас я управляю вот этими двумя “взрослыми людьми”, а раньше работал на “старшем сыне”»,— шутит спикер, и зал реагирует дружным смехом.

Петр Поваров, начальник смены Нововоронежской АЭС, начинал свою деятельность на станции с рабочей профессии, и это распространенная практика. Управлять реактором и занимать инженерные и руководящие должности могут только люди, которые знают устройство АЭС не по учебникам, а изнутри. Это реализация главной ценности Росатома — безопасности.

1

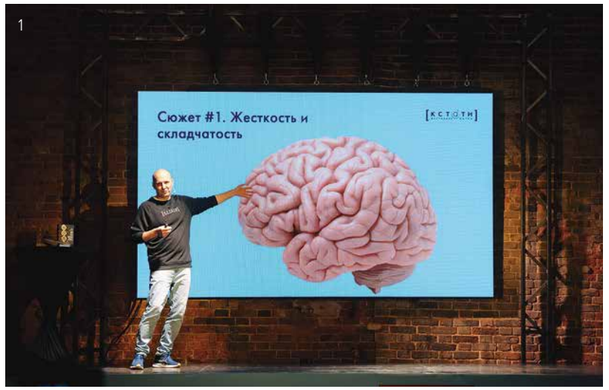


2

3

На фото

1. Алексей Семихатов, доктор физико-математических наук (Москва)
2. Никита Демин, скрипач и саунд-продюсер (Санкт-Петербург)
3. Андрей Дорофеев, математик, преподаватель, ведущий программ для родителей проекта «Умный Воронеж»



На фото

1. Нариман Баттулин, кандидат биологических наук (Новосибирск)
2. Петр Поваров, начальник смены Нововоронежской АЭС

«Когда ты приходишь на АЭС после института, тебе все кажется понятным, ты устраиваешься на рабочую должность, и человек в костюме тебе говорит: «Открой тут. Открыл? Молодец! А теперь закрой». И так всю смену. Я шучу, конечно, но на АЭС нужно много знать, и права на ошибку у нас нет, поэтому обучение всегда проходит с опытными наставниками»,— объяснил спикер.

Теме безопасности на АЭС были посвящены еще несколько мемов. «Как выглядят те люди, которые управляют АЭС? Наверное, они сидят с серьезными лицами и никогда не улыбаются. А еще они в абсолютно одинаковой одежде,— отметил Петр Поваров, комментируя мем, на котором изображены многочисленные агенты Смиты из «Матрицы», сидящие на блочных щитах управления.— И в этом тоже есть смысл. У агентов костюмы черные, а оперативный персонал АЭС, приходя на работу, переодевается в специальную форму белого цвета. Костюмы нужны некоторым образом для того, чтобы дисциплинировать человека: если ты в костюме, то тебе уже не до баловства».

Мем об увлажнителях воздуха помог спикеру разоблачить один распространенный миф о том, что от АЭС много выбросов. «Градирнями любят пугать тех, кто не разбирается в АЭС. Говорят, что из них выходит радиация и что они источник загрязнения воздуха. На самом деле это чистейший водяной пар. Разогретая вода с высоты градирни спускается вниз, омываясь струями воздуха, и охлаждается, а потом снова поступает в систему. Особенно красивы градирни зимой. Их часто называют фабриками по производству облаков, и плотные зимние облака шикарно смотрятся на морозном небе. Могу смело сказать, что АЭС — это не только безопасно, но и красиво. А еще градирня — это однополостный гиперболоид вращения»,— рассказал Петр Поваров. Реакторы ВВЭР-1200 могут строиться и без градирен, с использованием других систем охлаждения, но на Нововоронежской АЭС они есть, и сейчас градирни новых энергоблоков — вторые по высоте в России. Первое место не так давно заняли градирни Курской АЭС — там строятся реакторы ВВЭР-ТОИ.

«А что касается точности мема, то тут вопросов нет. Градирни действительно можно назвать тропосферными увлажнителями воздуха. Они побольше домашних, но увлажняют очень эффективно»,— пояснил спикер.

Пойми атомщика

Часть мемов про АЭС посвящена атомной лексике. В ней много профессионализмов и аббревиатур, для непосвященного беседа двух специалистов на АЭС может оказаться совершенно непонятной.

«Например, возьмем мем про бассейн. Что, казалось бы, страшного в том, что кто-то столкнул туда друга? Но единственный бассейн в центральном зале — это бассейн выдержки, где сразу после выгрузки из активной зоны реактора хранят отработавшее ядерное топливо, и плавать в нем категорически не рекомендуется. Зато, если заглянуть внутрь, то под толстым слоем воды можно увидеть вокруг топливных сборок свечение Вавилова — Черенкова»,— объяснил Петр Поваров.

Аббревиатуры для студента и начинающего специалиста — это беда, разобраться в них бывает непросто. «К ним нужно просто привыкнуть, — уверен Петр Поваров, — и со временем звукосочетания БЩУ, ГЦТ и МКУ станут понятными и родными».

Порой профессионализмы образуются от существующих слов, которые приобретают новое значение. «Пауком у атомщиков называется коллектор пара, который выходит из парогенератора, соединяется с паропроводами и отправляет пар на турбину. Издалека он действительно похож на паучка»,— комментирует Петр Поваров.

«ВВЭРный» путь

«Для меня это первый опыт публичного выступления, не связанный с профессиональной сферой,— делится спикер.— Но попробовать рассказать людям, не имеющим отношения к атомной энергетике, что смешного в атомных мемах,— это интересная задача, и мне кажется, что у меня это вполне получилось, если судить по реакции слушателей».

Работает Петр Поваров на Нововоронежской АЭС с 2011 года, 13 лет. Предыдущее место работы — «Атомэнергопроект». «Выбор профессии в какой-то степени был закономерен — вся моя семья работает на станции. Я учился на кафедре «Атомные электрические станции и установки», так что все выглядит вполне логично»,— рассказал спикер.

На АЭС российского дизайна сейчас функционируют реакторы трех типов — РБМК, ВВЭР и БН. Реакторы РБМК постепенно вырабатывают свой ресурс, и рядом с ними строят новые блоки с реакторами ВВЭР — у атомщиков такие «соседи» называются станциями замещения.

«ВВЭРы хороши тем, что их научились строить. Отработанная технология всегда лучше, чем что-то новое. Мы знаем все подводные камни, особенности строительства и эксплуатации, поэтому с уверенностью строим АЭС с реакторами ВВЭР за рубежом, срок службы которых — 60 лет с возможностью продления. Это не значит, что другие наши проекты хуже: у каждого есть свои плюсы и минусы. И я думаю, что эволюция ВВЭРов еще не закончилась, мы обязательно придумаем что-то новенькое!» — уверен Петр Поваров.

Как и на любой работе, у атомщиков есть свои розыгрыши, через которые проходят новички. Например, у новых сотрудников иногда спрашивают, из какого отбора в турбине пар идет на градирню. Любой ответ будет неправильным, так как пар с турбины на градирни не идет — в них остывает вода. Это ее мельчайшие частички могут подниматься над градирней и образовывать те самые красивые облака. Еще одна распространенная шутка — дать новичку ведра и отправить за вакуумом.

О науке в юмористическом ключе в Воронеже говорят уже не первый раз: в 2023 году фестиваль «КСТАТИ» проходил 1 апреля, в День смеха. Руководитель ИЦАЭ Воронежа Наталья Вальтер уверена, что это очень хороший пиар-способ, позволяющий познакомить совершенно разных людей с современной наукой и атомными технологиями.

«Синергия юмора и науки позволяет преодолеть барьер, возникающий вначале между интересующимися людьми и серьезными, непостижимыми на первый взгляд исследованиями ученых. Факты, поданные с эмоциональной окраской, тем более веселой, куда лучше запоминаются. Хороша в этом подходе и та свобода, которая появляется у ученых, рассказывающих о деле своей жизни», — подчеркнула Наталья Вальтер.

Безопасные, надежные, современные — именно такие ассоциации с реакторами ВВЭР сформировались у зрителей, посетивших фестиваль науки «КСТАТИ».

Текст: Федор Буйновский
Иллюстрация: Midjourney

Берегите бизнес

PR-трендом 2024 года стали бережные коммуникации

Бережные коммуникации — это стратегия взаимодействия, основанная на уважении, ответственности и осторожности по отношению к стейкхолдерам, используемым ресурсам. Это принципы, направленные на создание доверительных, гармоничных и долгосрочных коммуникаций с окружением и миром.

Ключевые слова этого тренда, если создавать облако смыслов, следующие: «честность», «осмотрительность», «аккуратность», «внимание», «уважение», «экономия», «бережливость», «искренность», «забота», «эмпатия».

В прошлом году особенно ярко проявилась ценность честной коммуникации: «важно говорить друг с другом внутри команд, с внешними аудиториями, даже когда тяжело. Важно понимать, о чем ты можешь говорить, когда лучше помолчать и не говорить вообще». Стали чаще звучать такие характеристики, как заботливый тон, внимательность к клиенту, максимальное участие в решении вопроса. А со стороны бизнеса — развитие эмоциональной ассертивности у сотрудников (то есть способности человека не зависеть от внешних влияний и оценок, самостоятельно регулировать собственное поведение и отвечать за него). Это формирует тренд на повышение уровня эмпатии в клиентских сервисах. Бережные коммуникации, или комфортный маркетинг — позитивная тональность сообщений, снижающая чувство нестабильности и неопределенности; без хайпа; фокус на социальную составляющую. Мировые тренды диктуют нам заботу об окружающем мире, людях, их ментальном здоровье.

Также среди трендов отмечены:

- инновационный PR — 55%;
- эффективный контент — 48%;
- этика ответственности — 34%;
- интегрированные коммуникации — 29%;
- инфлюенсеры — 29%;
- персонализация — 24%;
- антикризисный PR — 21%;
- исследования — 15%;
- персонализация бренда — 14%;
- развитие HR-бренда — 13%.

Остановимся на трендах, наиболее интересных в 2024 году.

COMTECH, или ИИнновационный PR

С точки зрения специалистов, скоро невозможно будет представить актуальную, отвечающую запросам бизнеса стратегию и рабочую стратегию без ИИ. Если ранее все обсуждали технический переход в digital мир, то 2023 год прошел под знаком интенсивного погружения в виртуальную реальность и общения с ИИ.

ChatGPT, нейросети, чат-боты стали привычными собеседниками, помощниками, прочно вошли в жизнь обывателей. Слова уже знакомые, но мнения о влиянии ИИ до сих пор неоднозначные: «либо мы его, либо он нас». Один из прогнозов: «маркировка «написано человеком» станет знаком качества, а корпорации начнут «стесняться» сгенерированного контента». С развитием VR- и AR-технологий создаются метавселенные — новое коммуникативное пространство для «уникального опыта взаимодействия с брендом».

Из интересного. В 2023 году по слову «нейросеть» было 37 млн запросов, что в пять раз больше, чем в 2024 году. 31% россиян в возрасте 18–45 лет используют нейросети. 20% крупных российских компаний используют в своей работе нейросети.

Эффективный контент

С одной стороны, месседжи становятся еще более емкими и короткими — на фоне вала информации времени на касание с аудиторией все меньше.

Из-за перенасыщения информационного поля количественные показатели стали второстепенными, в фокусе — качество. В условиях вала информации контент должен быть по-настоящему креативным, привлекательным и полезным для читателей.

Меняется потребление информации (запрос от потребителя): кратко, емко, быстро, просто, эмоционально. Из-за этих требований к контенту растет популярность shorts, reels, клипов, прямых трансляций, подкастов и т. д.

Потребители как авторы контента: UGC (User Generated Content) — это «сарафанка» в онлайне, и мощнее инструмента еще не придумано в маркетинге. Никакая дорогая фотосессия с моделью не вызовет столько доверия, сколько сторис с распаковкой посылки от магазина или видео с примерки со стилистом, довольный отзыв после удачного выхода в обновке.

Из интересного. 1,7 секунды — фокус внимания на экране смартфона во время просмотра информации. Экономика внимания — это инструмент, позволяющий конвертировать внимание зрителей в доход, используя цифровые технологии и интернет-среду.

Игровые петли (ludic loops) — механизмы, призванные заставить пользователя возвращаться в свою ленту как можно чаще. Использование повторяющихся циклов в коммуникации — триггер, действие и вознаграждение.

Этика ответственности

Современный тренд — доверие, которое нужно заработать.

Произошло «вордингозамещение». ESG-политика (Environment, Social, Governance) несколько лет была главным вектором развития многих компаний. В связи с внешними обстоятельствами те рынки, на которых она применялась, стали нам недоступны. Теперь мы возвращаемся к старой доброй КСО (корпоративная социальная ответственность).

Сохраняется и усиливается запрос на честные, открытые и искренние коммуникации. Пользователи устали от агрессивных продаж, наигранных офферов, фейковых новостей, скрытых условий, позитивной токсичности, давления и шаблонных отписок. Все это остается в прошлом для компаний, которые хотят построить с клиентами доверительные и долгосрочные отношения.

Бережное, экологичное (как буквально, так и в переносном значении) отношение становится must have для компании.

Из интересного. В топ-5 социально ответственных компаний за 2023 год, по мнению жителей РФ (ВЦИОМ), вошли «Газпром» (средний балл — 6,7 из 10), Росатом (6,5 баллов), РЖД (6,2 балла), «Аэрофлот» (6,0 баллов) и «Яндекс» (6,0 баллов). 71% жителей РФ готовы отказаться от бренда, для которого прибыль важнее заботы о людях.

Интегрированные коммуникации

Борьба за клиентов ужесточается. Бизнес не может диктовать пользователям, где будет проходить диалог.

Один из ключевых трендов — продолжается переход от мультиканальности к омниканальности, подразумевающей объединение всех каналов коммуникации в единую систему.

Компаниям важно присутствовать во всех каналах коммуникаций, которые удобны для аудитории. «К 2025 году любые компании в разных сферах, которые задействуют более четырех цифровых каналов коммуникации с потребителем, будут на 300% успешнее своих конкурентов, которые используют один или два канала коммуникации»,— считают эксперты.

Бренды используют не только уже существующие каналы, но и создают собственные платформы, где они сами могут устанавливать правила. У многих компаний появились собственные бренд-медиа, охваты которых легко конкурируют с авторитетными СМИ.

Из интересного. Успешный кейс применения новых коммуникационных инструментов. Фиджитал (англ.— phygital) — это интегрированные коммуникации на стыке физического и цифрового пространств. В частности, фиджитал-офисы некоторых банков — это сочетание современных технологий с физическим сервисом. Клиента на входе узнает Face ID, и сотрудники получают о нем необходимую информацию. В фиджитал-отделениях открытые пространства и нет «окошек», стоек и перегородок — банковский офис воспринимается как коворкинг или кафе.

Антикризисные коммуникации

Приходит конец неповоротливым коммуникационным стратегиям (да и не только), когда расписали некий документ на три года вперед и больше ничего не меняется. Современные стратегии должны быть адаптивными.

Несмотря на нестабильность, бренды возвращаются к долгосрочным стратегиям с учетом возможных перемен. Теперь выстраиваются долгосрочные стратегии с поправкой на то, что все в любой момент может измениться. Пандемия стала для многих компаний весьма поучительным событием.

Сейчас стала особенно важна гибкость и умение координировать работу в соответствии с обстановкой, нужно понимать, как действовать в случае форс-мажора.

Высокий уровень неопределенности, тревожные настроения и усталость аудитории приводят к появлению запроса на более бережный и позитивный контент.

Из интересного. Концепция «Черный лебедь» — это событие, которое изначально кажется редким и труднопрогнозируемым, но постфактум часто оказывается вполне логичным, исходя из сложившейся ситуации. Критерии «черного лебедя»:

1. событие является неожиданным (для эксперта);

2. событие имеет значительные последствия;

3. после наступления, в ретроспективе, событие имеет рационалистическое объяснение, как если бы событие было ожидаемым.

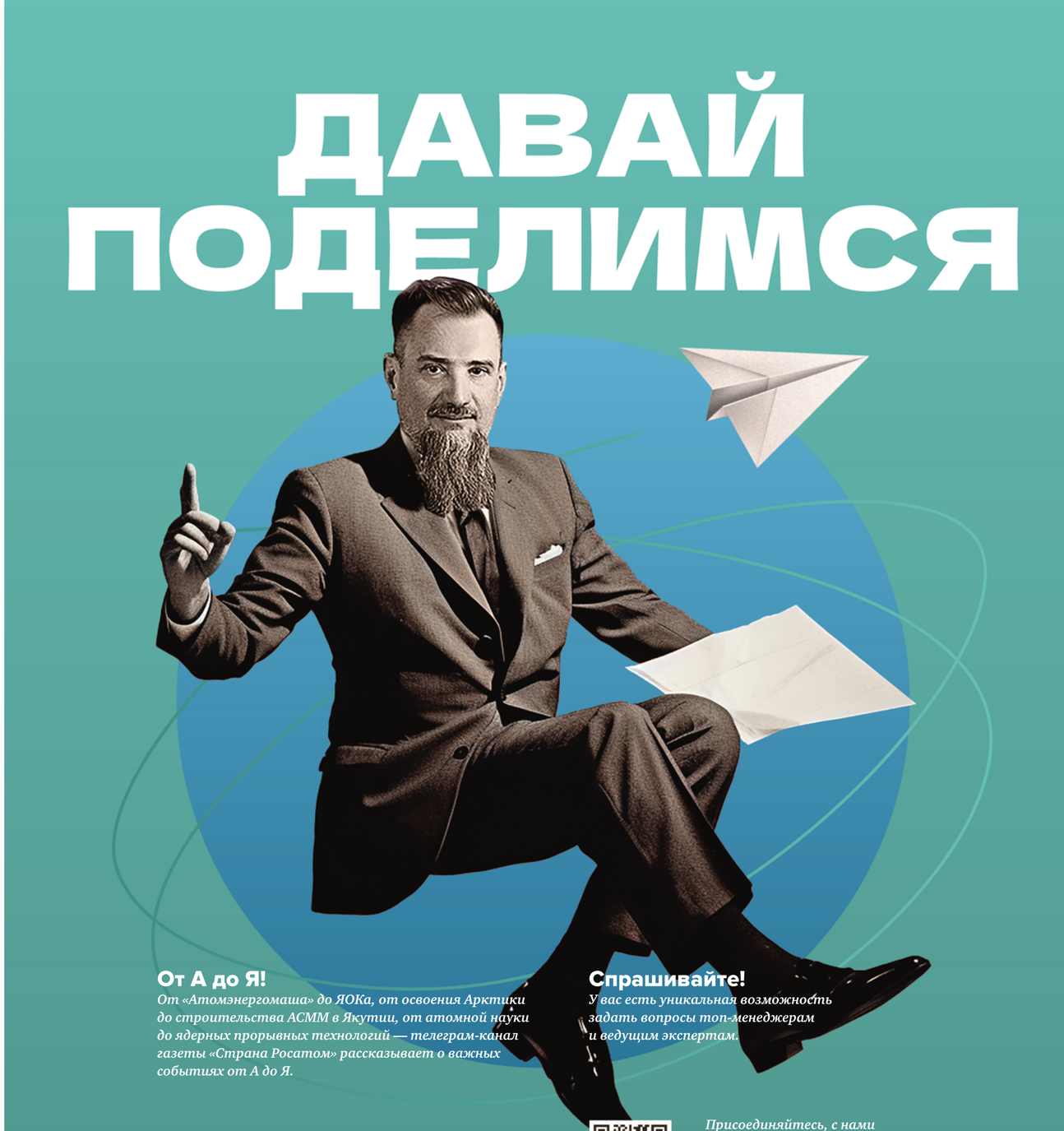
Концепция «Белый лебедь» — риск, который более вероятен, чем неожиданное событие («черный лебедь»), в связи с чем его можно предотвратить.

BANI-мир (Brittle Anxious Nonlinear Incomprehensible World) — концепция новой тревожной реальности, в которой может неожиданно сломаться все, даже самое надежное. Чем сильнее иллюзия стабильности, тем масштабнее предстоящая катастрофа. Идея принадлежит американскому футурологу Джамаису Кашио. BANI-мир хрупкий (brittle), тревожный (anxious), нелинейный (nonlinear), непостижимый (incomprehensible).

Для противостояния всем форс-мажорным обстоятельствам нужно уметь применять методологию, которую предложил экономист Нассим Талеб. Антихрупкость — методология подготовки к неожиданным событиям, которая не требует создания и анализа цепей причинно-следственных связей. Это способность личности или целой системы не просто выдерживать непредсказуемые и разрушительные события, но благодаря им становиться лучше и сильнее.

Мир современных коммуникаций 2024 года по своим ключевым направлениям выглядит таким образом. Нам необходимо продолжать занимать лидирующие позиции в мире по своим направлениям. Для этого нам нужно не просто не стоять на месте, но двигаться в два раза быстрее вперед. Поскольку неопределенность нарастает стремительно.

ДАВАЙ ПОДЕЛИМСЯ

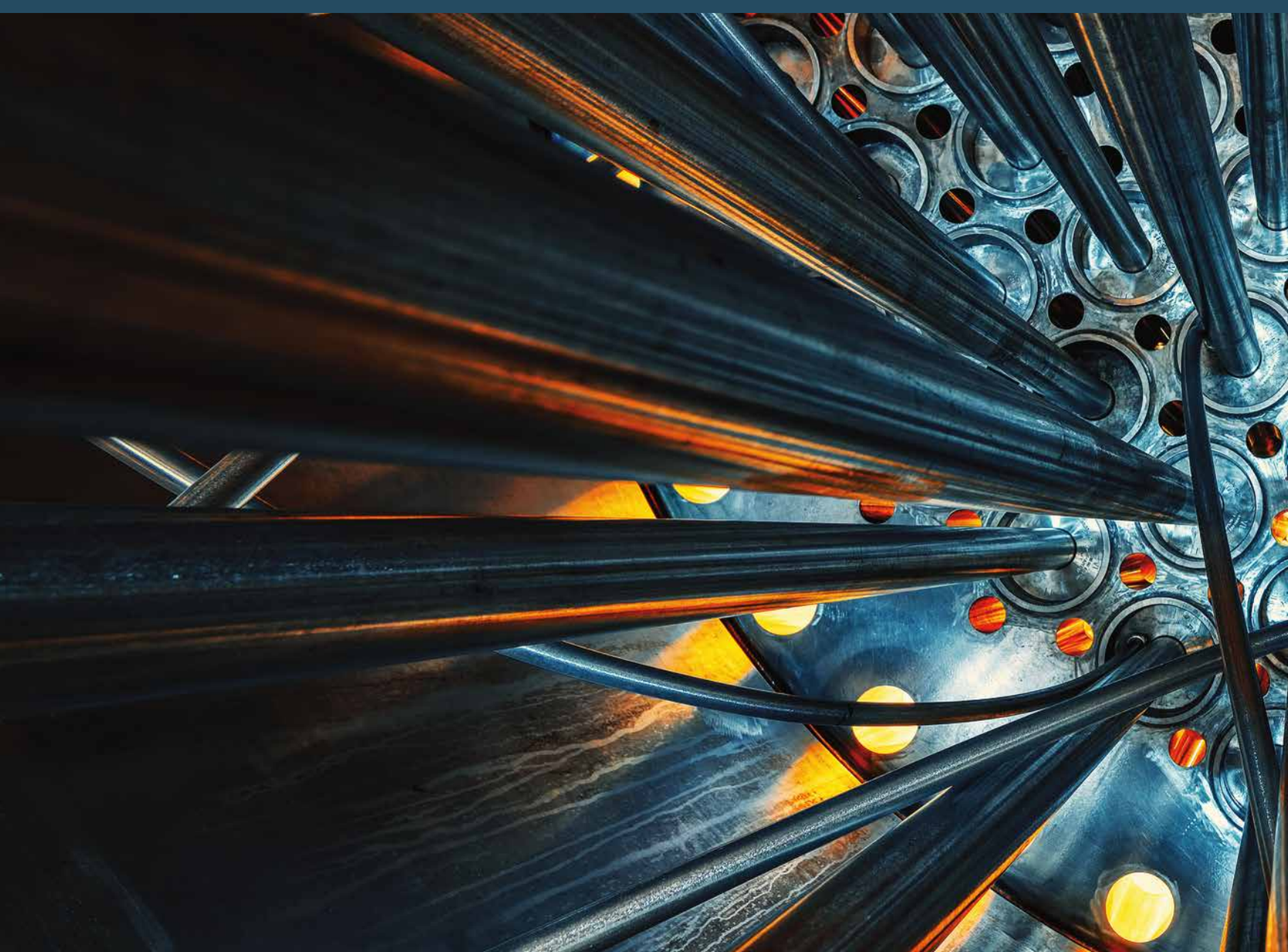


От А до Я!
От «Атомэнергомаша» до ЯОКа, от освоения Арктики до строительства АСММ в Якутии, от атомной науки до ядерных прорывных технологий — телеграм-канал газеты «Страна Росатом» рассказывает о важных событиях от А до Я.

Спрашивайте!
У вас есть уникальная возможность задать вопросы топ-менеджерам и ведущим экспертам.

Будьте в курсе!
В нашем телеграм-канале — горячие новостии оперативные комментарии, в том числе выходящие далеко за пределы отрасли.

Присоединяйтесь, с нами интересно! Чтобы подписаться, отсканируйте QR-код или ввейте в поиске StranaRosatom.

Выигрывайте призы!
Мы регулярно проводим конкурсы среди подписчиков.

Самое полное хранилище актуальных фотоматериалов атомной отрасли — в медиабанке газеты «Страна Росатом».