

ЕСЛИ РАССМАТРИВАТЬ деятельность Росатома за рубежом, то в самом грубом приближении, — это продажа ядерного топлива и какого-то комплекта всяческих железзяк, которые позволяют это топливо использовать для производства электроэнергии. Мы все знаем, что строительство новых АЭС — это очень дорого, что подразделения Росатома, вовлечённые в эту работу, получают весьма значительную прибыль.

Для тех, кто не может избавиться от желания спеть песню с припевом "Пропали полимеры, Юра, прости нас", где куплетами они желают слова о том, что Росатом строит за государственный счёт, за государственные кредиты под низкие проценты, а потому строительство АЭС за рубежом России ни разу не выгодно, вынужден объяснять просто, на пальцах, без теории, на живом примере: Росатом строит АЭС "Руппур" в Бангладеш, в деле фигурирует государственный кредит в размере 11 млрд долларов что-то там под 3% годовых на 20 лет. Вооружаемся калькулятором, господа плакальщики. Уровень локализации — 80%. Это значит, что 8,8 млрд долларов предприятия Росатома получат сразу, пока идёт стройка. Получат без банковских кредитов, без каих-бы то ни было фондов и прочих налоговых льгот. Получат, чтобы запустить всю производственную цепочку от добычи каменного угля и железной руды до приборостроения включительно. Компаниям в Бангладеш достанутся 2,2 млрд долларов — обычно столько и стоят подготовительные и общестроительные работы при возведении АЭС. Все предприятия, все компании в России, задействованные в проекте, аккуратно отчислят Государству Российскому всё, что полагается — налоги на прибыль, НДС, на заработную плату и далее по списку. Бангладеш, если не вдаваться в систему сложных процентов и прочих банковских чудес, 20 лет после ввода в эксплуатацию будет возвращать кредит, выплачивая те самые 3%, то есть по 330 млн долларов в год, за двадцать лет наберётся дополнительная сумма в 6,6 млрд долларов.

Достаточно большое количество наших, российских, независимых аналитиков-экономистов на полном основании говорят о том, что промышленности России необходимы дешёвые кредиты, и я с этим тезисом совершенно согласен. Но понять тех, кто недоволен вот таким вливанием в нашу экономику внушительных сумм не то что с минимальными процентами, а с процентами, которые платят иностранные государства, у меня не получается. Напоминаю, что Росатом — корпорация на 100% государственная, как и все подразделения, входящие в его состав. Всем тем, кто намерен и дальше сопротивляться фактам, которые им не нравятся, — моё искреннее сочувствие и сожаление по поводу запрета на принудительное психиатрическое лечение.

Возвращаемся к теме. Именно ядерное топливо российско-го производства — одна из основных статей прибыли после того, как строительство АЭС для иностранных заказчиков завершено. Понятно, что есть и другие источники прибыли: проведение планово-предупредительных ремонтов, сервисное обслуживание, поставка расходных запчастей, переработка ОЯТ, но именно свежее ядерное топливо — основа основ. Не случайно все компании, обладающие хоть каким-то опытом и знаниями в атомной энергетике, вкладываются в разработку его новых, более совершенных поколений — конкуренция в топливной тематике в разы выше, чем в любом другом атомно-энергетическом направлении. Вывод вполне очевиден: именно топливный дивизион Росатома, холдинг ТВЭЛ — на острие атаки в сражении за то, чтобы ядра урана отдавали на пользу человека всю до последней крохи имеющуюся у них энергию, за то, чтобы в атомной энергетике было экономически оправдано использовать другие делирущие элементы. На всякий случай — делирущими химическими элементами физики-атомщики называют те из них, ядра которых способны к цепной реакции деления. Таких элементов совсем немного: изотопы урана, плутония и тория, — на день сегодняшний физики лучше всего осведомлены о свойствах урана-235, но это вовсе не означает, что они не ведут работы с двумя другими.

ХОЛДИНГ ТВЭЛ — это все предприятия и заводы, имеющие отношение к производству топлива, к каждому звену производственной цепочки. С месторождений "Атомредметзолото" (АРМЗ) доставляет оксид урана, но он не подходит для обогащения урана по содержанию изотопа 235, потому первый этап — конверсия оксида урана во фторид урана. Фторид урана (если точнее — тетрафторид, соединение 1 атома урана с 6 атомами фтора) необходим из-за его удивительного химического свойства: при его нагреве до 56,5 градусов Цельсия он превращается в газ, минув фазу жидкости, позволяякратно уменьшать трудозатраты для обогащения урана на газовых центрифугах. После конверсии урана — то самое обогащение до энергетического уровня, причём далеко не всегда одинакового. По правилам МАГАТЭ, которых придерживаются все государства, присоединившиеся к ДНЯО, энергетическим ураном считается тот, содержание изотопа-235 в котором не превышает 20%. 20% — пороговое значение, после которого стране придётся давать пояснения по поводу того, уж не движется ли она к созданию собственного атомного и ядерного оружия. Собственно, напоминание о газовых центрифугах уже прозвучало и, разумеется, не просто так — это я намекаю на то, что производство самих центрифуг, разработка их новых, усовершенствованных, поколений — тоже зона ответственности холдинга ТВЭЛ.

После того, как обогащение по содержанию урана-235 завершено, в руках атомщиков — всё тот же газ, гексафторид урана, который до гордого звания ядерного топлива никак не дотягивает, его снова необходимо превратить в порошок. Физики — не химики, они сложных латинязычных терминов не изобретают: раз уран из порошка в газ — это конверсия, то уран из газа в порошок — реконверсия. Химический состав этого порошка — диоксид урана, соединение одного атома урана с двумя атомами кислорода. Реконверсия — разумеется, в ведении ТВЭЛа, как иначе. Теперь из порошка нужно приготовить топливные таблетки, для чего порошок прессуются, и это тоже не так просто. Дело в том, что во время управляемой цепной реакции деления ядра атомов урана распадаются в целый набор химических элементов, в том числе и в радиоактивные газы — ксенон и криптон. А газ — он и в ядерном топливе газ, он желает занять как можно больший объём, заставляя топливную таблетку в буквальном смысле распухать. Ничего хорошего в этом нет — таблетка должна сохранять свою геометрическую форму, таблетка должна иметь такую прочность, чтобы не деформироваться, не дать вырваться радиоактивным газам в активную зону реактора.

Изготовление топливных таблеток диоксида урана — процесс далеко не тривиальный, проходит в несколько этапов. Для начала порошок диоксида самым тщательным образом перемешивают до однородной смеси с пластификаторами — веществами, помогающими таблетке лучше прессоваться. Замешали, спрессовали в таблетки весом пять граммов. Геометрические размеры таблеток должны быть тщательно соблюдены до сотых долей миллиметра, их плотность должна строго соответствовать заданным параметрам, но и этого мало: не удержит прессованный порошок внутри себя газы — геометрия из-за внутреннего давления газов поплывёт. Поэтому — в печь, на прокаливание в водородной среде (водород нужен, чтобы удалить лишние атомы кислорода, чтобы ядерному топливу отнюдь не полезны) при 1750 градусах минут так на 20. Но и на этом не всё: дальше таблетки, после того, как они остынут, отправляют на шлифовку, чтоб их форма максимально точно была подогнана под размеры трубчатой оболочки. Вот после всего этого таблетки уходят на производственно-технический контроль: проверка на плотность, термическую стабильность, на примеси.

Тщательность необходима не только из-за газов, есть ещё одна проблема, связанная с теплопроводностью того самого диоксида урана. Таблетка во время цепной реакции деления нагревается неравномерно — деление в центре таблетки идёт активнее, в результате температура в центре намного выше, чем на периферии, хотя речь идёт об очень небольших размерах. Диаметр урановой таблетки для реакторов ВВЭР-1000 — 7,57 мм, высота — 20 мм, но при этом в активной зоне на полной мощности температура в центре таблетки 1500–1600 градусов, а на её поверхности — около 470 градусов. Температура из центра к поверхности должна передаваться с максимальной скоростью, чтобы таблетка не получила деформации, не треснула из-за такого вот перепада температур.

Спрессовали, прокалили, отшлифовали, перепроверили — этап завершен. Дальше — фабрикация топлива: таблетками предстоит набить твэл, трубку, которая обеспечивает фиксацию топливных таблеток в активной зоне. Изготовление твэлов — это ещё одна часть ТВЭЛа, где, как и на заводах по изготовлению газовых центрифуг, никто никакого урана в глаза не видит, хотя все сотрудники работают именно в топливном дивизионе Росатома. Геометрия трубок-твэлов: наружный диаметр 9,1 мм, толщина стенок — 0,65 мм, длина — 3,8 метра, весит такая почти 4-х метровая трубка всего 2,1 кг. Материал, из которого изготавливаются трубки твэлов — цирконий, легированный ниобием. Сложно? 99% циркония и 1 % ниобия, последний нужен для повышения пластичности.

Может холдинг ТВЭЛ доверить в чужие руки изготовление твэлов? Разумеется, ни в коем случае: хочешь сделать хорошо — сделай сам. Потому фиксируем — ТВЭЛ всё знает и понимает про редкие металлы и про металлургию, про филигранную точность обработки металлических изделий. Внутри трубок — разрезные втулки для фиксации таблеток, сверху — пружина, которая компенсирует тепловое расширение таблеток, таблетки занимают 70% внутреннего объёма твэлов, поскольку размеры таблеток при работе реактора на полной мощности чуть немного, да гуляют. Хоть и немного, но радиоактивные газы из них вырываются. Трубочка выдерживает внутреннее давление до 80 кг на квадратный сантиметр, разогреваясь при этом до тех самых 470 градусов — вот потому и цирконий, никакой другой металл такое издевательство над

собой не выдерживает. Тем более, что с наружной стороны под давлением в 350 атмосфер вдоль трубок проносится поток воды, то есть требуется ещё и коррозионная стойкость. Кроме того, цирконий практически не захватывает свободные нейтроны, то есть не искажает течения цепной реакции деления.

После того, как трубки твэлов заполнены таблетками и гелием (газ с максимальной теплопроводностью, химически нейтральный, свободные нейтроны не поглощает), начинается сборка ТВС, тепловыделяющих сборок. В одной ТВС — 312 твэлов, которые должны быть расположены в строго определённой конфигурации, которую обеспечивают дистанционные решётки. Для того, чтобы ТВС стояли в активной зоне реактора строго вертикально, есть специальные фиксаторы — верхняя головка фиксируется в гнездо в крышке реактора, хвостовик — в дно. И вот только после того, как таблетки изготовлены, набиты в твэлы, твэлы собраны в ТВС, становится виден финал: остаётся технический контроль и упаковка ТВС в ТУК — транспортные упаковочные комплекты.

Я ПЕРВЫЙ РАЗ так подробно рассказал о том, как именно выглядит процесс производства ядерного топлива, а это ведь только начало работы. Причин сразу две, одна понятна — давно пора было, да вот из-за бурных событий в мировой и российской энергетике последние пары лет никак не мог собраться с силами. Вторая — то, что команде "Гео-энергетики ИНФО", "ДеньТВ" и "Авроры" довелось принять участие в выставке Атомэкспо-2022. Это своеобразный слёт атомщиков едва ли не всего мира, до недавнего времени Росатом его организовывал ежегодно.

Традиционно собираются тысячи участников и сотни компаний из самых разных стран, включая и те, которые ныне входят в список недружественных России. Мир атомной энергетики достаточно автономен, достаточно узок по сравнению со всеми остальными отраслями энергетики. Росатома не коснулись ни один из всевозможных пакетов антироссийских санкций, с лидерством Росатома на мировой арене все высклился настолько, что подавляющее большинство иностранных компаний предпочитают с ним не столько конкурировать, сколько сотрудничать. Из-за всемирной пандемии COVID-19 Атомэкспо не проходил с весны 2019 года, атомщики успели соскучиться по возможности

РУССКИЙ АТОМ

Уникальные технологии в ядерной энергетике

живого общения, обмена мнениями, да и я, что уж там греха таить, чувствовал, что мне чего-то не хватает. Больше того — удалось согласовать проведение интервью с теми, кого нынче принято называть "топами" — с руководителями компаний и даже дивизионов нашей атомной корпорации.

Состоялся беседа и с представителем холдинга ТВЭЛ, причём не с кем-нибудь, а с Александром Валерьевичем Угрюмовым, вице-президентом по научной деятельности холдинга. В профессии Александр Угрюмов вот уже почти 20 лет, с момента выпуска из МЭИ, и все эти годы он занимается именно ядерным топливом. Понимая, что времени на интервью будет совсем немного, я даже не пытался выйти за рамки топливной темы — она большая, интересная, важная, и разговаривать с ведущим профессионалом об организационных вопросах я просто не мог себе позволить. Храню робкую надежду на то, что встреча с Александром Угрюмовым была первой, но не последней — вот тогда, если повезёт, можно будет поговорить и обо всех остальных направлениях деятельности ТВЭЛа, о новых направлениях бизнеса, о новых проектах. В этот раз не хватало времени и на то, чтобы расписать подробнее обо всех новых видах топлива, которые разрабатываются и выпускаются ТВЭЛом — получился, скорее, обзор.

Обратная сторона медали — не было у меня времени и на то, чтобы задавать вопросы из раздела "А что такое МОКС-топливо, что такое РЕМИКС-топливо, чем они друг от друга отличаются?" Мы заранее планировали, что все необходимые пояснения для всех, кто не вовлечён в отрасль профессионально, я сделаю в этом превью. Оно необходимо — слишком много было в разговоре аббревиатур и терминологии, так что вот к такому справочному материалу я и перейду.

ЯДЕРНОЕ ТОПЛИВО для обычных легководных реакторов — ВВЭР-1000, ВВЭР-1200 — по урану-235 обогащается в среднем до 5%, для уран-графитовых РБМК-1000 — не выше, чем до 5%. Атомные реакторы этим вполне довольны, да и сотрудники ТВЭЛа не огорчаются — все описанные производственные процедуры можно проводить без тяжёлой противорадиационной защиты, поскольку у свежего топлива низкий радиоактивный фон. А вот со всеми остальными видами топлива, за исключением так называемого толерантного, о котором чуть позже, всё выглядит в разы сложнее, поскольку в них используется энергетический плутоний. Вот у него излучение намного более мощное, потому работать приходится в особых условиях: освинцованное стекло толщиной в полметра, манипуляторы и стремление делать такие производственные линии безлюдными, что, само собой, ставит перед ТВЭЛ множество задач — интересных, требующих решения.

МОКС-топливо, оно же без англичизмов — смешанное уран-плутониевое оксидное топливо. Из ОЯТ, нарабатываемого на обычных реакторах, радиопизики извлекают невыгоревший уран-235 и энергетический плутоний. В активной зоне реактора идёт, как известно, управляемая цепная реакция деления урана-235, происходит ядерные мутации и урана-238. Около 1% ОЯТ — это энергетический плутоний, принципиально неразделяемая смесь изотопов плутония-239, плутония-240 и плутония-241. Это важный момент, поскольку чистый плутоний-239 — это начинка ядерных боезарядов, а присутствие плутония-240 гарантирует, что боезаряд создать не удастся и, следовательно, условия ДНЯО нарушены не будут. В состав МОКС-топлива входит до 6%–8% энергетического плутония, и тогда же досыпают до 92%–94% обеднённого урана. Обеднённый уран — это тот самый, который остаётся в огромных количествах на обогагательных заводах после того, как из него извлечён весь технически доступный уран-235. В обеднённом уране после наших центрифуг остаётся около 0,1% урана-235, в семь раз меньше, чем его содержится в природной руде.

МОКС-топливо в России производится для БН-реакторов (на быстрых нейтронах), цель — вовлечение в топливный цикл обеднённого урана, успех направления — расширение топливной базы в 140 раз. Проблем много, в том числе и экономическая: если обычная урановая ТВС обходится в 0,7–1,0 млн долларов, то ТВС из МОКС-топлива — около 2,5 млн долларов. Направление дальнейшей работы ТВЭЛ, надеюсь, понятно.

СНУП-топливо, смешанное нитридное уран-плутониевое. Практически всё то же, что и в случае МОКС-топлива, но используются не оксиды, а нитриды урана и энергетического плутония, соединения с азотом. Такое топливо плотнее, чем оксидное, то есть объёмы твэлов и ТВС такие же, но в активной зоне больше делирущих материалов — длиннее становятся топливные сессии, реже — остановки на перегрузку топлива, что поднимает экономику. Предназначено исключительно для БРЕСТ-ОД-300, для проекта "Прорыв", на котором будет отрабатываться технология уже для более мощных быстрых реакторов со свинцовым теплоносителем. Ещё один момент, связанный с экономикой — в активной зоне БРЕСТ-300 поток нейтронов более интенсивен, чем в БН-реакторах, что позволяет дожигать высокорadioактивные отходы. Из активной зоны БРЕСТ-300 такие отходы будут извлекаться уже менее радиоактивными, с более короткими периодами полураспада, что снижает расходы на геологическое захоронение. Строительное БРЕСТ-ОД-300 начато с модуля фабрикации и рефабрикаци топлива — свежее СНУП производится на месте, переработка такого ОЯТ тоже будет осуществляться на месте, извлечённые уран и энергетический плутоний прямо на площадке будут становиться новым СНУП-топливом.

РЕМИКС-топливо, regeneration mix fuel, — это тоже сугубо наша, российская разработка — уран-плутониевое оксидное топливо, предназначенное для обычных реакторов. Французские атомщики производство МОКС-топлива освоили первыми, но у них БН-реакторов нет, они только у нас имеются, потому французское МОКС-топливо уходит в обычные реакторы. Но присутствие плутония — это более жёсткий поток свободных нейтронов, что выдерживает далеко не весь конструктивный материал, поэтому реакторы приходится дорабатывать, модернизировать. Дорого. В РЕМИКС-топливе энергетическо-го плутония не более 1–2%, около 40% урана, обогащённого по урану-235 до 4%. В МОКС-топливе — обеднённый уран, в РЕМИКС — обогащённый. Цель — задействовать энергетический плутоний для использования на обычных реакторах.

Толерантное топливо — ядерное топливо, не участвующее в паро-циркониевой реакции. Цирконий в воде, как я уже говорил, чувствует себя великолепно, демонстрирует прекрасные эксплуатационные качества. 2011 год, март, АЭС Фукусима, обесточивание, прекращение циркуляции воды в активной зоне. Ядерные реакции в топливе продолжались, температура росла, и вода начала просто выкипать, и вот тут-то и началось — цирконий вступил в химическую реакцию с паром. Она идёт с выделением огромного количества тепла — и сначала стал греться цирконий, а потом новые порции тепла стало получать и ядерное топливо, что и привело к его расплаву. Пароциркониевая реакция идёт с выделением водорода, который и накапливался между оболочками реактора. Накопился, ис-



"ЗАВТРА". Планируются ли испытания РЕМИКС-топлива в реакторах ВВЭР-1200 — новой линейке реакторов Росатома поколения 3+?

Александр УГРЮМОВ. Да, планируются. Как раз это реализуется в рамках программы "Сбалансированный ядерный топливный цикл" (СБЯТЦ) и будет являться нашим новым уникальным предложением для зарубежных партнёров. Безусловно, для начала мы должны получить референтный опыт, лицензироваться именно в России и дальше уже предлагать готовый продукт иностранным заказчикам.

"ЗАВТРА". После аварии на АЭС "Фукусима" в 2011 году атомщики во всём мире поняли необходимость разработки так называемого толерантного топлива, устойчивого к запроектным аварийным ситуациям на АЭС. Идут ли исследования в этом направлении в России?

Александр УГРЮМОВ. Исследования идут, причём широким фронтом. Мы изучаем сразу несколько вариантов конструкционных материалов, которые должны позволить избежать паро-циркониевой реакции в случае тяжёлых запроектных аварий. Здесь есть быстро достижимое решение: нанесение хромового покрытия для защиты циркониевых оболочек твэлов. Это полностью закрывает вопрос повышения надёжности и коррозионной стойкости циркониевых сплавов, но необходимо аккуратно решить все проблемы с захватом свободных нейтронов хромом. Когда они будут решены, появится возможность дальнейшей оптимизации ядерных топливных циклов как в повышении тепловой мощности, так и в возможном увеличении длительности топливных кампаний для наших классических реакторов ВВЭР-1000/1200. Но это только первое направление.

Второе — это использование высокониобевых сплавов. В частности, 42ХНМ хорошо себя зарекомендовал в качестве оболочечных материалов твэлов для транспортных реакторных установок. Из плюсов здесь можно отметить высокую коррозионную стойкость, отсутствие парациркониевой реакции. Но есть и спорные моменты. Они связаны в первую очередь с характеристиками этого сплава с точки зрения паразитного захвата нейтронов и ухудшения экономики реактора. Тут вопрос дискусионный, решая его можно или за счёт обогащения диоксидного уранового топлива, или через изменение самой топливной композиции, то есть через использование других химических соединений урана. Рассматривается несколько вариантов: уран-молибден и дисиплид урана. Это нужно для повышения плотности топливной композиции, увеличения теплопроводности и, как следствие, снижения количества запасного тепла в ядерном топливе. Здесь тоже есть сложности и с термомеханическим поведением, и с взаимодействием топлива и оболочки. Поэтому пока работаем: понимаем технологию, набираем опыт, а дальше будем решать — либо внедрять это, либо отложить знания до будущих времён. Ещё один интересный вариант изменения концепции по конструкционным материалам — использование для оболочечных материалов карбида кремния. Этим оболочкам необходимо обладать определёнными свойствами. В первую очередь такими, как герметичность: для газообразных продуктов деления, чтобы дать им возможность аккуратно оставаться под этой оболочкой. Есть вопросы, связанные с герметизацией по заплуткам, а также с серийным производством и стоимостью такого производства. Работаем ещё и над самим волокном, и над связующими элементами.

Задачи стоятся серьёзные. Но благодаря единому отраслевому тематическому плану и хорошей поддержке со стороны Росатома есть возможность их решать.

"ЗАВТРА". Сейчас одновременно запущены две программы по HALEU-топливу. Одна — по производству топлива для реакторов малой мощности, таких как РИТМ-200 для атомных ледоколов новейшего поколения, вышедших практически на конвейерное производство на ЗиО-Подольск (ЗиО — Завод им. Орджоникидзе). Заказов много. Впереди — создание наземного проекта этого же реактора. И вторая программа, которая в своё время была инициирована МАГАТЭ — перевод всех исследовательских реакторов на топливо с обогащением по содержанию изотопа уран-235 не выше 20%. Всё это — дополнительная нагрузка на ТВЭЛ. Она вам в радость, или уже тяжело со всем справляться?

Александр УГРЮМОВ. Работа — в радость. Тем более, что мы понимаем, как эти задачи решить — и технологически, и с точки зрения возрастающих запросов по объёму данного производства.

"ЗАВТРА". Исследовательские реакторы маленькие, но вносят довольно серьёзный вклад в вашу промышленную программу.

Александр УГРЮМОВ. Исследовательские реакторы — это как некий закрытый элитный клуб государств, стремящихся к развитию собственной атомной отрасли. С точки зрения производственной программы, здесь, может, и небольшой объём деятельности в масштабе ТВЭЛ, но со стороны технологических возможностей — это хорошая практика, мы за неё всегда держимся. И уже сделали два очень серьёзных проекта по модернизации ядерного топлива для зарубежных исследовательских реакторов, созданных не по советским и не по российским проектам.

"ЗАВТРА". Известно, что ТВЭЛ в этом году отгрузил топливо для исследовательского реактора в Египте, и египетские заказчики, многократно всё проверив, остались удовлетворены и его качеством, и его характеристиками. Что ещё стоит в вашей международной повестке?

Александр УГРЮМОВ. Недавно мы подписали соглашение с Институтом ядерной физики Узбекистана и в рамках этого контракта поставляем им модифицированное топливо, более ураноёмкое и с новой топливной композицией — дисиплидом урана, что позволит учёным этой страны и сэкономить деньги, и получить надёжное топливо на более длительный период. Надемся, что будет и другие заказы.

"ЗАВТРА". Росатом является крупнейшим строителем атомных реакторов в мире. Возведение АЭС Эль-Дабба в Египте, строительство АЭС Куданкулам в Индии, сооружение четырёх реакторов в Китае, проекты в Бангладеш, в Турции. В ближайшей перспективе — реакторы в Венгрии, Узбекистане и так далее. Топлива будет требоваться всё больше и больше. Справляйтесь?

Александр УГРЮМОВ. Справляемся. И здесь задача решается сразу по нескольким направлениям. С учётом возрастающей потребности мы серьёзно смотрим на вопрос модернизации и развития наших производственных мощностей. Каждый новый проект для нас всегда вызов, это ведь не просто тиражирование действующих технологий, а постоянная работа по внедрению новых технологических решений, актуальных с точки зрения повышения эффективности и, безусловно, обеспечения наших заказчиков ядерным топливом безупречного качества.

"ЗАВТРА". Спасибо, Александр Валерьевич, что нашли время поделиться рассказом о текущей работе ТВЭЛ и ваших планах на будущее!

Беседовал Борис МАРЦИНКЕВИЧ

На фото: Ленинградская АЭС