

# ВЕСТНИК АТОМПРОМА

№9

ноябрь

2022

*Главная тема*

## Превращение в деталях

*Отечественной газоцентрифужной  
технологии — 70 лет*

*В номере*

Цифровые продукты 36

Ядерное приборостроение 40

Росатом для ИТЭР 44



# Уважаемые читатели!

В этом году отечественная атомная отрасль отмечает 70-летие газоцентрифужной технологии разделения изотопов — наиболее эффективной из существующих на сегодняшний день. Именно в нашей стране была разработана промышленная технология и был запущен первый в мире центрифужный разделительный завод — в 1962 году на УЭХК. Сегодня Россия занимает лидирующие позиции в мире по обогащению урана: на долю Росатома приходится более трети мирового рынка.

Материалы номера знакомят с работой предприятий и организаций, которые связаны с разработкой и производством газовых центрифуг, обогащением урана и производством изотопов неурановых элементов. А еще вы узнаете, чем интересна газовая центрифуга с точки зрения филолога.

Также мы рассказываем о новом цифровом продукте Росатома — программном комплексе для создания инженерных моделей РЕРЕАТ, о задачах и перспективах отраслевого приборостроения, о вкладе России в создание международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР и о развитии ТОСЭР в атомных городах Урала.

**ВЕСТНИК  
АТОМПРОМА**

№ 9, ноябрь 2022 года

Информационно-аналитическое издание

*Главный редактор*  
Юлия Долгова

*Выпускающий редактор*  
Ольга Еременко

*Дизайн и верстка*  
Валерий Балдин, Андрей Ковлягин

*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 1910 экземпляров.  
Цена свободная.  
Подписано в печать: 21.11.2022

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. Кантемировская, д. 65.  
Тел.: +7 (495) 504-88-16  
№ заказа: АФ-107/22.

Фото на обложке  
АО «ТВЭЛ»

## Содержание

Главная тема	КОРОТКО	<b>В сердце атомной отрасли</b> <b>4</b> <i>70 лет назад началась история отечественной газоцентрифужной технологии</i>	Главная тема	НАУКА	<b>«В газоцентрифужной тематике еще много задач для ученых»</b> <b>34</b> <i>Рассказывает Иван Тронин, доцент Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике (ИНТЭЛ) НИЯУ МИФИ, исполняющий обязанности заведующего кафедрой молекулярной физики</i>
	НАУКА И ПРАКТИКА	<b>«Я с центрифугой уже 25 лет, и это не надоедает»</b> <b>6</b> <i>Рассказывает Вячеслав Козин, научный руководитель АО «ТВЭЛ» по газоцентрифужным технологиям</i>		ЦИФРОВИЗАЦИЯ	<b>РЕРЕАТ</b> иция рынка <b>36</b> <i>Новый цифровой продукт Росатома представлен клиентам</i>
РАЗРАБОТКА	ЦЕНТРИФУГ	<b>«Я не представляю, как можно не попасть под очарование ГЦ-технологии»</b> <b>12</b> <i>Рассказывает Павел Мочалов, генеральный директор — главный конструктор ЗАО «ОКБ — Нижний Новгород» с 2010 по 2017 год, в настоящее время — главный эксперт ООО «Центротех-Инжиниринг»</i>	Приборостроение	Международное сотрудничество	<b>Приборная панель атомной энергетики</b> <b>40</b> <i>На конференции в СНИИП эксперты обсудили перспективы развития ядерного приборостроения</i>
	ПРОИЗВОДСТВО	<b>«Газоцентрифужная технология — не только более экономичная, но и более комфортная для персонала»</b> <b>18</b> <i>Рассказывает Александр Павелонец, главный эксперт по управлению производством ООО «Центротех-Инжиниринг», генеральный директор ООО «УЗГЦ» с 2007 по 2015 год</i>			<b>Магнит для высоких технологий</b> <b>44</b> <i>Российская магнитная катушка для ИТЭР отправлена к месту сооружения реактора</i>
КОРОТКО	ТЕРРИТОРИИ ПРИСУТСТВИЯ	<b>Сплав знаний и технологий</b> <b>22</b> <i>Предприятия и организации, занимающиеся разделительным производством, разработкой и производством газовых центрифуг, — в цифрах и фактах</i>	ИЦАЭ	Особое мнение	<b>Уральский вариант</b> <b>46</b> <i>Как действуют ТОСЭР Росатома в Челябинской и Свердловской областях</i>
		<b>«Наука идет вперед, и наши технологии позволяют не отставать от этого процесса»</b> <b>24</b> <i>Рассказывает Ринат Асадулин, заместитель генерального директора по производству АО «ПО «Электрохимический завод»</i>			<b>«И все-таки она вертится!»</b> <b>52</b> <i>Газовая центрифуга глазами филолога</i>
ЭКСПЛУАТАЦИЯ	ЦЕНТРИФУГ	<b>«Переход АЭХК на газоцентрифужную технологию обогащения урана стал мощным и своевременным прорывом»</b> <b>30</b> <i>Рассказывает Виктор Минько, заместитель генерального директора АЭХК по операционной деятельности — директор уранового производства</i>			<b>Зачем стремиться к идеалу</b> <b>56</b> <i>Цель как инструмент преобразования среды</i>



# В сердце атомной отрасли

Обогащение урана по изотопу  $^{235}\text{U}$  — ключевой процесс в цепочке производства ядерного топлива. В нашей стране создана наиболее эффективная из существующих технологий разделения изотопов — газоцентрифужная, которая сегодня применяется во всем мире и во многом обеспечивает лидирующие позиции России на международных ядерных рынках.

8 июля 1952 года были подписаны Постановления Совета Министров СССР №3088–1202 и №3088–1203, которые дали старт разработке, изготовлению и испытанию блока центрифуг промышленного типа. Именно эта дата стала точкой отсчета истории развития отечественной центрифужной технологии, 70-летие которой российская атомная отрасль отмечает в 2022 году.

АО «ТВЭЛ» готовит к печати книгу, посвященную юбилею. Процесс непрерывного совершенствования газовых центрифуг будет показан из первых рук — через призму личного опыта руководителей и специалистов профильных предприятий и организаций. Издание расскажет о многогранной деятельности ученых, проектировщиков, конструкторов, производственников, которые обеспечивают дальнейшее развитие газоцентрифужной технологии. Главная тема ноябрьского номера «Вестника атомпрома» знакомит читателей с отрывками из будущей книги.



Текст подготовила Ольга Ганжур  
Фото: АО «ТВЭЛ»

# «Я с центрифугой уже 25 лет, и это не надоедает»



**Вячеслав Валерьевич Козин**

Научный руководитель АО «ТВЭЛ» по газоцентрифужным технологиям

## Потомственный разделитель

Я родился в Новоуральске — городе, где находится самый крупный в мире комбинат по обогащению урана. Родители работали там, я видел, как это интересно. Когда пришло время определяться с вузом, без колебаний выбрал физико-технический факультет УПИ (Уральский политехнический институт им. Кирова, сейчас — Уральский федеральный университет им. Ельцина. — Прим. ред.), закончил его по специальности «разделение изотопов».

Работать пошел на УЭХК в опытный цех разделительного производства, где разрабатывают новые центрифуги. По сути, это было конструкторское бюро. В нем я проработал 14 лет: с 1996 по 2010 год. А потом начался второй этап моей карьеры: я перешел в управляющую компанию. Был директором департамента по газоцентрифужным технологиям, затем — генеральным конструктором, сейчас — научный руководитель.

Моя задача — организация и управление НИОКР по газовым центрифугам и вспомогательному оборудованию для центрифуг.

Так что я с центрифугой уже 25 лет. За это время появились четыре новых поколения оборудования. Работа не надоедает, ведь мы создаем лучшие в мире центрифуги.

## Сокрушительное преимущество

70 лет назад все страны, которые обогащали уран, обладали технологией газовой диффузии, и СССР тоже. На сегодняшний день все газодиффузионные промышленные предприятия остановлены. Почему центрифуга полностью вытеснила газовую диффузию? Уже первые центрифуги потребляли электрической энергии в 20 раз меньше, чем газодиффузионное оборудование, были более компактными. Потери рабочего продукта были намного меньше, быстрее устанавливался стационарный рабочий процесс.

Давайте сравним самый совершенный диффузионный завод и самый современный центрифужный. Возьмем для примера диффузионное разделительное предприятие Eurodif, которое было построено во Франции в 80-е годы прошлого века. Современный завод на российских центрифугах в три раза дешевле, занимает площадь в пять раз меньшую, а энергии потребляет в 50 раз меньше.

Самое главное, сокрушительное преимущество газовой центрифуги — это энергоэффективность. А это тянет за собой и экологичность, и экономичность. Себестоимость изотопной продукции, полученной на современных центрифугах, на порядок меньше, чем у продукции, произведенной по газодиффузионной технологии.

Еще лет 15 назад, когда мировые цены на обогащение урана были на уровне 150–160 долларов за единицу работы разделения, у диффузии были шансы. Но потом цены упали почти в три раза, и с тех пор диффузии просто нет места на рынке — это чистейшая работа в убыток. Диффузионные заводы в США и во Франции закрыты, на территории этих стран построены замещающие центрифужные мощности.

## 30 лет — минимум

Единственное, в чем первая центрифуга не выигрывала у диффузии, — это срок службы. У первых центрифуг он составлял всего два-три года. А диффузионное оборудование в 1960-е годы могло работать без обслуживания до пяти лет, и общий срок его службы составлял несколько десятков лет. Но уже к пятому поколению центрифуг срок их эксплуатации

достиг 30 лет. С тех пор ко всем новым поколениям центрифуг мы на этапе разработки предъявляем требование: ресурс не должен быть меньше 30 лет. И это требование предъявляется не только к центрифуге, но и к основному вспомогательному оборудованию: преобразователям частоты, комплекту АСУ ТП, датчикам, газоанализаторам и прочему.

Дальнейшее продление срока службы обсуждалось. Но, кроме физического износа оборудования, существует еще и моральный износ. За время эксплуатации одной центрифуги мы иногда успеваем создать четыре следующих поколения. И новое оборудование настолько эффективнее, компактнее, производительнее, что выгоднее модернизировать производство, чем продлевать срок службы действующего оборудования. Сомневаюсь, что мы когда-нибудь будем разрабатывать центрифуги с ресурсом 50–60 лет. Не решаюсь утверждать однозначно, но все-таки это маловероятно.

## Быстрее, длиннее, эффективнее

Производительность центрифуги от первого поколения до девятого выросла примерно на порядок, энергозатраты на производство изотопной продукции снизились в несколько раз. Размер центрифуги заметно увеличился. Но размеры наших производственных корпусов остались прежними — мы научились более крупные центрифуги упаковывать плотнее. Более того, с ростом мощности центрифуг часть производственных площадей оказываются избыточными.

Направления НИОКР в развитии центрифужной технологии в широком смысле не изменились за последние 70 лет. Всегда стояла задача увеличения скорости вращения ротора, потому что производительность центрифуги зависит от квадрата скорости. От поколения к поколению мы увеличиваем скорость вращения ротора за счет новых материалов и новых

## Вторая жизнь

Утилизация центрифуг — не проблема, это просто техническая задача, которая успешно решена. На разделительных комбинатах есть специальные участки термоликвидации. Агрегаты, которые сняли с технологической цепочки, промывают, чтобы удалить ураносодержащие коррозионные отложения. А затем отправляют в высокотемпературную печь, где при разных температурах выплавляются разные цветные металлы: медь, алюминий и другие. Все это сливается в специальные кристаллизаторы и потом реализуется на рынке как вторичное сырье. Как вторичное сырье реализуется и черная сталь корпусов и агрегатов центрифуг. Ну а остаточные вещества достаточно компактно помещают на длительное хранение.

## Центрифужная технология

Главная деталь центрифуги — это быстро вращающийся цилиндрический ротор. Скорость вращения — больше 1500 оборотов в секунду. Представить это крайне сложно. Ротор вращается в 100 раз быстрее, чем барабан стиральной машины, когда она отжимает белье. И не две-три минуты, как стиральная машина при отжиге, а 30 лет подряд. Поэтому ротор центрифуги изготавливается из самых прочных металлокомпозитных материалов.

Ротор окружен прочным стальным корпусом для безопасности и для поддержания вакуума внутри. Если ротор будет вращаться не в вакууме, он просто не разгонится до нужной скорости. Естественно, есть электродвигатель, верхние и нижние опоры, удерживающие ротор в вертикальном положении, и ряд других узлов, которые обеспечивают работу ротора.

Как же происходит разделение изотопов в центрифуге? Внутри ротора создается очень мощное гравитационное поле. Тяжелые молекулы концентрируются у стенки ротора, а легкие — чуть дальше от стенки. Мы тяжелый изотоп извлекаем совсем близко к стенке, а легкий изотоп — чуть дальше от стенки. Многократно повторяя этот процесс, добиваемся необходимого обогащения.

## Технология газовой диффузии

Метод основан на том, что молекулы изотопов разной массы движутся в пространстве с разной скоростью. Когда мы смесь изотопов продавливаем через мелкопористую мембрану, легкие молекулы, которые движутся чуть быстрее, легче проникают через мелкие поры. Соответственно, за мембраной легкого изотопа становится чуть больше. Но разница мизерная, и для того чтобы получить энергетический уран с обогащением 4–5%, этот процесс продавливания через мембрану нужно повторять тысячи раз.

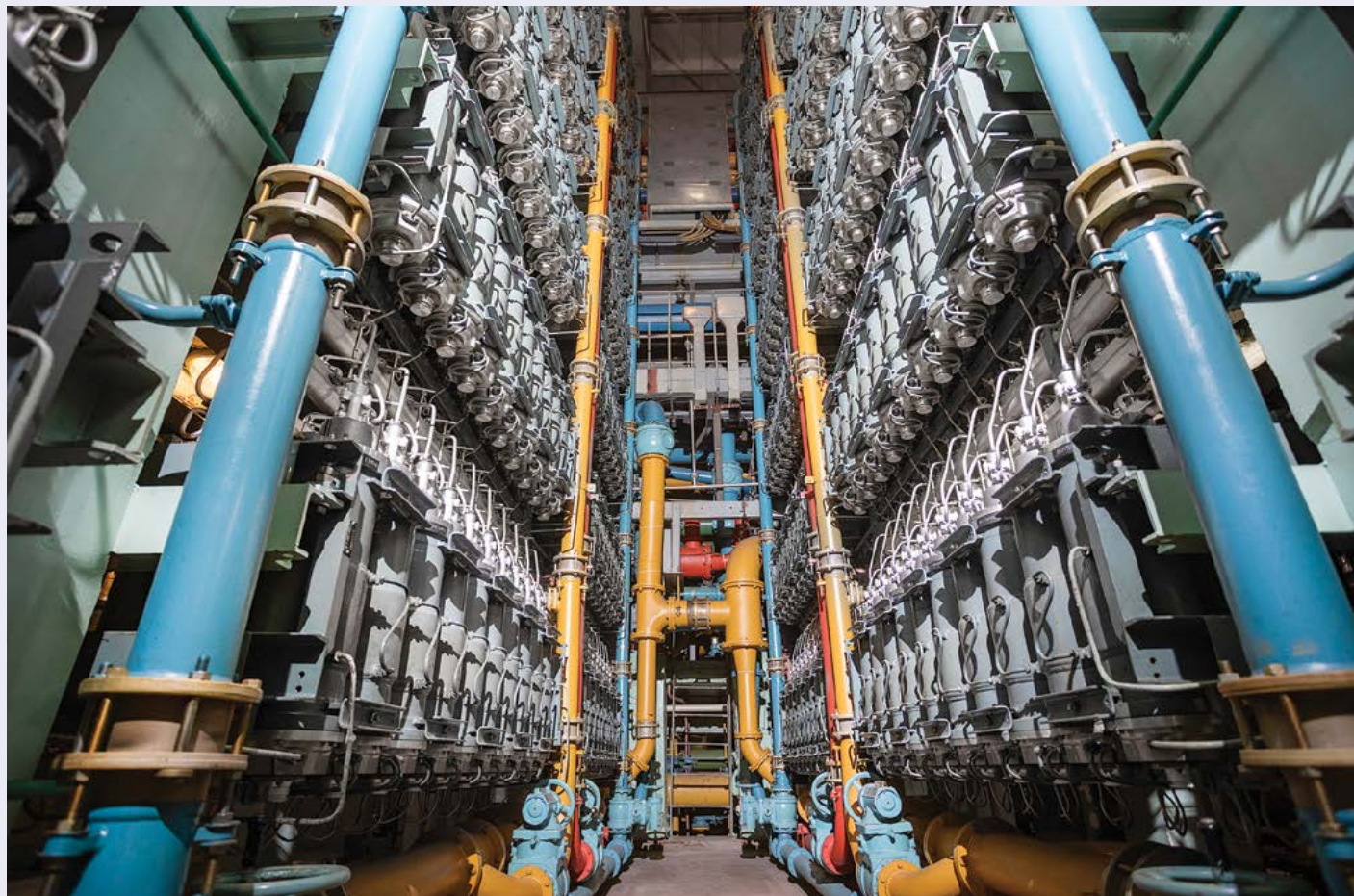
Размер отверстий в мембране — 10–20 нанометров. Так что, по сути, газовая диффузия — это нанотехнологии 75 лет назад. Это действительно очень сложный метод, потому что мембран этих требовалось очень много, а изготовить их было очень нелегко.

Второй важный элемент оборудования газовой диффузии — это компрессоры, которые продавливают газ через мембрану. Это очень энергоемкое, капиталоемкое и громоздкое оборудование. Самые большие компрессоры — высотой с многоэтажный дом. Такие компрессоры составляли половину стоимости диффузионного завода и потребляли 97–98% электроэнергии. Это огромное энергопотребление, потому что многократно приходилось огромные объемы газа продавливать через фильтры с очень мелкими отверстиями.

## Современный центрифужный завод по сравнению с газодиффузионным

<b>Энергопотребление</b> в 50 раз меньше	<b>Себестоимость продукции</b> в 10 раз меньше
<b>Инвестиции</b> в 3 раза меньше	<b>Площадь</b> в 5 раз меньше





конструкторских решений. Также производительность зависит от длины ротора, поэтому мы стремимся увеличить длину ротора. Но очень длинный ротор автоматически становится надкритическим, который при разгоне вынужден проходить зону резонанса. Для обеспечения работы и надежности такого ротора ищем и внедряем специальные инженерные решения. Надкритическая центрифуга более сложная, но зато и более экономичная.

Отдельно хочу отметить модернизацию вспомогательного оборудования. Центрифуга — это не «сферический конь в вакууме», нужно оборудование для обеспечения ее работы. Причем общепромышленное нам не подходит. Мы сами разрабатываем и производим специальные преобразователи частоты, автоматизированные системы управления технологическими процессами. У нас миллионы центрифуг, и наши АСУ ТП обязаны контролировать каждую секунду работу каждой, то есть обрабатывать миллионы сигналов в секунду.

**Три революции**

Я бы выделил в истории центрифуги три революционных момента. Первый — это переход от металлического ротора к металлокомпозитному. В определенный момент мы исчерпали прочность металла и перешли к более прочным композитам. С тех пор

меняются волокна, матрицы, технологии изготовления композитов для получения все большей прочности и надежности ротора, экономичности центрифуги.

Второе принципиальное изменение — это переход от коротких подкритических роторов к более длинным надкритическим. Такую революцию мы совершили в девятом поколении центрифуги более 10 лет назад.

И третье — это балансировка ротора. Вообще балансировка широко применяется в технике высокоскоростных машин вращения, например, балансировке подвергаются колеса автомобиля для снижения вредных вибраций. Особенность нашей балансировки в огромной частоте вращения ротора, в точнейшем измерении его вибраций, в микроскопической величине допустимого остаточного небаланса. Сегодня балансировка ротора центрифуги и с математической точки зрения, и с аппаратурной — одна из самых наукоемких частей разработки новых центрифуг.

**«Цифра» в науке**

В последние годы классическая методология НИОКР меняется. Традиционно сначала выпускалась конструкторская документация, изготавливались

**Девять плюс**

Последнее поколение эксплуатируемых центрифуг имеет необычное название 9+. По сути, оно десятое. Но когда на начальном этапе НИОКР выбирали среди нескольких улучшенных вариантов, остановились на том, который предполагал повышение эффективности при сохранении внешнего облика как в девятом поколении. Таким образом рабочее обозначение 9+ стало официальным названием машины последнего поколения.

опытные образцы, проводились испытания, затем шла корректировка документации, снова образцы, снова испытания и так по кругу до полного выполнения всех требований технического задания. Сегодня этот процесс обязательно сопровождается применением цифровых технологий. Они позволяют снижать количество ошибок при разработке и количество повторяемых операций, экономить на изготовлении и испытании образцов.

Мы ставим себе задачу создания цифрового двойника газовой центрифуги, и организация этой работы составляет не меньше половины объема моей деятельности. Одна половина — классические НИОКР, а вторая половина — цифровизация. Задача — создать еще более производительную, еще более экономичную центрифугу, при этом сократить сроки НИОКР за счет цифровых инструментов.

**Связь поколений**

Срок службы центрифуги — 30 лет, разработка нового поколения центрифуги занимает в среднем 10 лет. На наших разделительных заводах работают миллионы центрифуг. Мы их физически не можем поменять в одночасье, меняем по мере выработки ресурса — 3–4% центрифуг в год. Сейчас в эксплуатации находятся центрифуги пяти поколений.

Программа модернизации производственных мощностей на разделительных заводах обычно разрабатывается на 5–10 лет вперед. Естественно, планы модернизации увязаны с планами НИОКР. Синхронизированы задачи ученых, которые разрабатывают новые центрифуги, задачи заводов-изготовителей, которые выпускают серийные центрифуги и одновременно делают опытные образцы новой центрифуги, а также задачи эксплуатирующих комбинатов. Последние в одних цехах используют старый парк центрифуг, в других цехах ставят на эксплуатацию ныне выпускаемые серийные центрифуги, на третьих — специальных небольших участках — испытывают новые перспективные центрифуги. Вот таким образом вся разделительная отрасль работает сообща, накапливает необходимые знания, чтобы

**Разработчики газовых центрифуг**

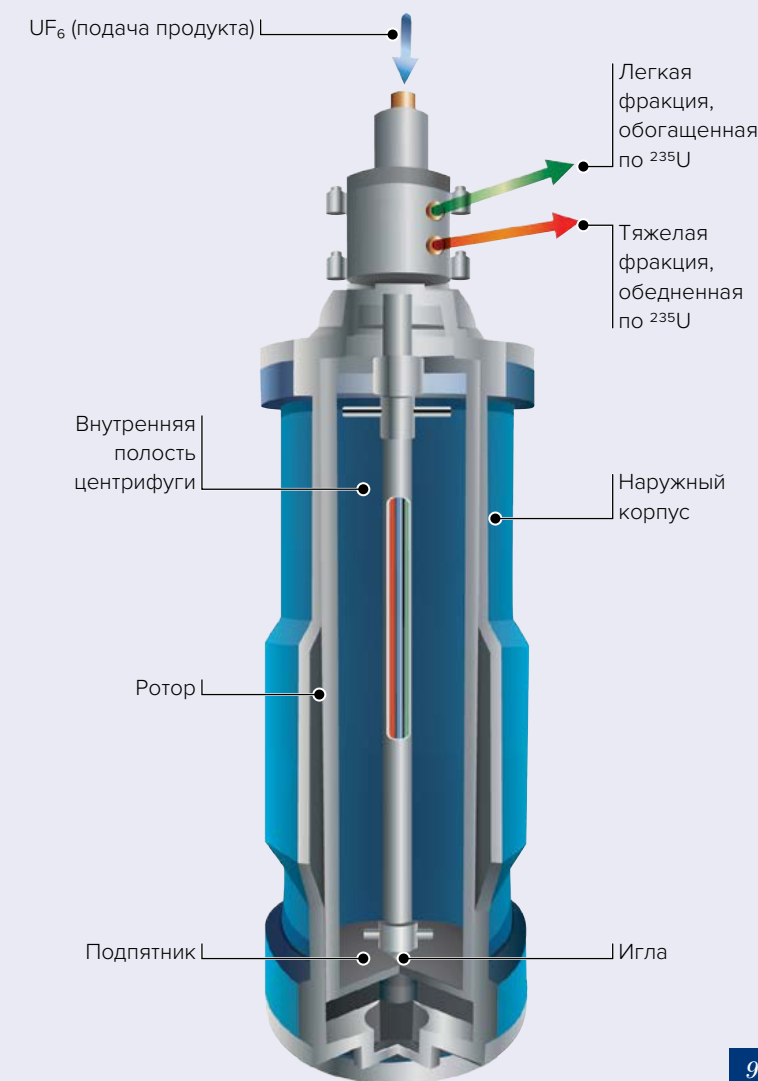
Конструкторское бюро / предприятие	Поколение газовой центрифуги
Конструкторское бюро Ленинградского Кировского завода	1, 2
АО «ЦКБМ» (Санкт-Петербург)	3, 4, 5, 6
АО «УЭК»	7, 8
АО «ОКБ — Нижний Новгород»	9
ООО «НПО «Центротех»	9+

**Производители газовых центрифуг**

АО «ВПО «Точмаш» / ПАО «КМЗ»	г. Владимир, г. Ковров
ООО «НПО «Центротех»	г. Новоуральск

**Обогатительные предприятия**

АО «УЭК»	г. Новоуральск
АО «СХК»	г. Северск
АО «ПО «ЭХЗ»	г. Зеленогорск
АО «АЭК»	г. Ангарск





быстро и безболезненно переходить на новые модели центрифуг.

### Одной командой

Перечень ключевых разработчиков газовых центрифуг почти не меняется с годами. Многие организации меняют названия, но люди остаются. Два конструкторских бюро, участвовавших в создании центрифуг, вовлечены и сейчас в НИОКР по модернизации. Одно находится в Санкт-Петербурге, это «Центротех-Инжиниринг» — наследник того самого ОКБ Кировского завода. Второе расположено в Новоуральске, оно родилось когда-то в составе УЭХК, а потом выделилось в самостоятельное юрлицо. Сейчас это КБ входит в Научно-производственное объединение «Центротех», которое и разрабатывает, и выпускает центрифуги.

Заводы-изготовители мы тоже относим к участникам разработки, потому что они вносят огромный вклад в создание промышленной технологии крупносерийного производства центрифуг. Их три: Ковровский механический завод, Владимирское производственное объединение «Точмаш» и Научно-производственное объединение «Центротех». Штучные опытные технологии и серийные промышленные — это две большие разницы. И заводы-изготовители серийную технологию разрабатывают совместно с конструкторами.

У нас есть четыре разделительных комбината, и два из них играют очень значительную роль

в разработках. Это Уральский электрохимический комбинат в Новоуральске и Электрохимический завод в Зеленогорске. Именно они испытывают опытные образцы, опытные партии, опытно-промышленные партии и даже установочные серии новых центрифуг перед тем, как они получают путевку в серийное производство.

МИФИ мы привлекаем к разработке расчетных кодов, которые используются для оптимизации и обоснования конструкции центрифуги. «Юматекс» отвечает за разработку и производство углеродных волокон и композитов, которые мы применяем в наших центрифугах. В создании цифрового двойника газовой центрифуги участвует Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого.

### Безальтернативный метод

Когда я поступал в институт, а было это 30 лет назад, уже существовало несколько известных методов разделения изотопов, помимо центрифужного и газовой диффузии.

Электромагнитный метод существовал еще до газодиффузионного, но был еще более энергозатратным и капиталоемким. Уже обсуждался лазерный метод. Атомы разных изотопов отличаются не только массой ядра, но и спектром поглощения излучения. Если воздействовать на них лазерным излучением со строго определенной длиной волны, то можно возбудить атом одного изотопа, а целевой изотоп не возбуждать, или наоборот. И потом уже, пользуясь



## Стоять на своем

Центрифуги мы разрабатываем либо с полным отсутствием импортных комплектующих, либо с абсолютно минимальным их набором. Поколение 9+ создавали в то время, когда в России еще никто не производил высококачественные прочные углеродные волокна, поэтому в проект на этапе НИОКР заложили импортные. Когда готовились к серийному изготовлению центрифуг, «Юматекс» запустил собственное производство углеродного волокна, и мы тут же осуществили импортозамещение. В части микроэлектроники зависимость от импорта не критичная, перекрывается поставками множества дружественных стран, прорабатываем варианты полного импортозамещения.

разницей в характеристиках возбужденных и невозбужденных атомов или молекул, как-то их разделять. Метод и поныне разрабатывается в лабораториях США и Австралии, но пока ни о каком промышленном внедрении речи не идет. Слишком много технических сложностей. Мы, конечно, стараемся отслеживать эти работы по публикациям в открытых СМИ и на профильных научно-технических ресурсах, и я могу точно сказать, что пока у центрифуги серьезных конкурентов не появилось и в ближайшие лет 30 не предвидится.

### Нет предела совершенству

Наши конструкторы раз за разом находят способы еще увеличить скорость ротора, улучшить параметры вспомогательного оборудования, повысить срок его службы. Важное направление — автоматизация. Мы занимаемся этим не для того, чтобы сократить рабочие места. Мы любим и ценим специалистов, просто некоторые операции требуют автоматизации, поскольку человеческий глаз не такой острый, человеческая рука не такая точная, скорость реакции человека не такая высокая, как у современных высокотехнологичных роботов.

Сейчас завершается разработка центрифуги десятого поколения. Как и всегда, мы добиваемся увеличения скорости ротора. Улучшения основаны на новых материалах и оптимизации конструкции. Естественно, при сохранении срока службы 30–35 лет — здесь мы не хотим делать шаг назад ни в коем случае. Думаю, уже в следующем году мы увидим первую опытно-промышленную партию центрифуг десятого поколения, а через два-три года выйдем на ее серийное производство.

Стратегия у нас прежняя, мы сохраняем наши конструкторские коллективы и наши намерения продолжать разработки новых, еще более эффективных моделей центрифуг. Мы видим потенциал, возможность дальнейшего роста и экономическую целесообразность этих разработок и внедрений.

## Немного истории: как все начиналось

- 1939** • О. Ган и Ф. Штрассман (Германия) экспериментально обнаружили процесс деления урана: появились реальные предпосылки для использования ядерной энергии через цепную реакцию деления. В СССР к исследованиям энергии атомного ядра подключились профильные научные институты
- 1940** • Советский химик А. Виноградов указал на гексафторид урана — единственное соединение урана, переходящее в газообразное состояние при относительно низкой температуре. Это стало важным шагом в создании машин для разделения изотопов урана
- 1940** • Первое упоминание о центрифужном методе разделения изотопов урана в записке В. Маслова «О мерах, необходимых для организации работ по проблеме урана»
- 1946** • В Сухуми группой под руководством М. Штеенбека начаты исследовательские работы по обоснованию идеи разделения изотопов методом центрифугирования
- 1948** • Группой М. Штеенбека продемонстрировано первое в СССР обогащение урана в центрифуге
- 8 июля 1952** • Подписаны Постановления Совета Министров СССР № 3088-1202 и № 3088-1203, которые дали старт разработке, изготовлению и испытанию блока центрифуг промышленного типа
- лето 1953** • Проведены испытания на гексафториде урана первого лабораторного образца короткороторной «русской центрифуги» конструкции В. Сергеева (ОКБ ЛКЗ)



Текст подготовил Александр Власов  
Фото: АО «ТВЭЛ»

# «Я не представляю, как можно не попасть под очарование ГЦ-технологии»



**Павел Вениаминович Мочалов**

Генеральный директор — главный конструктор ЗАО «ОКБ — Нижний Новгород» с 2010 по 2017 год, в настоящее время — главный эксперт ООО «Центротех-Инжиниринг»

## Неслучайная случайность

В 1988 году я закончил учебу на физико-техническом факультете Горьковского политехнического института по специальности «атомные электростанции и установки». Распределился на ГАЗ в цех № 4 производства нестандартного оборудования (ПНО ГАЗ), при этом до последнего не знал, чем буду заниматься. Знал только, что ПНО ГАЗ относится к Минсредмашу и выпускает для него крупносерийную продукцию, а цех № 4 — это КБ при ПНО. В КБ требовался расчетчик, и я решил, что это может быть хорошим началом моей трудовой биографии, поскольку всегда питал интерес к расчетам. Только после трудоустройства выяснилось, что крупносерийная продукция — это газовые центрифуги. Так что можно сказать, что я пришел к центрифугам чисто случайно, но продолжая ими заниматься.

Я не представляю, как можно не попасть под очарование ГЦ-технологии. ГЦ — это самые высокопрочные материалы, самые высококомплесные материалы, самые износостойкие материалы и еще много всего «самого». Это удивительный сплав знаний по газодинамике, гидродинамике, роторной динамике, прочности, механике композиционных материалов, вакуумной и криогенной технике, трибологии, магнетизму, теплообмену, электротехнике, теории надежности, теории колебаний и многих других дисциплин. Это источник мощнейшего центробежного поля, потенциал применения которого еще полностью не раскрыт. И это в высшей степени технически элегантное устройство. Представьте себе километровые цеха, сотни тысяч одновременно работающих машин. Работают практически безотказно более 30 лет. Без обслуживания. Центробежное поле таково, что в нем разделяются молекулы с разницей масс в три нейтрона.

Для меня ГЦ — это еще и незримая пронзительная связь с ветеранами-первопроходцами, которым было в сто раз сложнее, чем нам сейчас, но они умели добиваться успеха и своим интеллектом, и силой духа, и несгибаемостью воли.

## От ГАЗа до «ТВЭЛа»

Нижний Новгород — один из восьми городов, имеющих прямое отношение к созданию и развитию ГЦ-технологии. В Новоуральске есть «Галерея славы», где в том числе можно увидеть представителей Нижнего Новгорода, внесших свой вклад в славную летопись газоцентрифужной технологии.

Нижегородское (горьковское) ОКБ было создано в структуре Минсредмаша распоряжением Совета Министров РСФСР № 1246 от 24.03.1961 с целью разработки новых поколений газовых центрифуг для атомной отрасли при производстве нестандартного оборудования Горьковского автомобильного завода (ПНО ГАЗ). Научным руководителем газоцентрифужной тематики в те времена был Исаак Константинович Кикоин из Курчатова института. Создание КБ при ПНО ГАЗ — это его инициатива.

Нижегородское конструкторское бюро было одним из трех КБ по ГЦ (наряду с питерским и уральским), а ПНО ГАЗ было в свое время головным заводом — изготовителем ГЦ в триаде Горький — Ковров — Владимир.

Отец-основатель «ОКБ — Нижний Новгород» — доктор технических наук Юрий Петрович Заозерский,

Из ОКБ-НН вышел исходный вариант ГЦ 6-го поколения, который после доработки в питерском КБ стал машиной эталонной надежности с годовыми отказами в сотые доли процента и потому в том числе экспортировался в КНР.

ОКБ-НН разработало и внедрило в серию ГЦ 9-го поколения — первую в отечественной отрасли надкритическую ГЦ.

В результате работ по снижению себестоимости ГЦ-9 путевку в жизнь получила машина ГЦ-9+ (текущая серийная машина разделительно-сублиматного комплекса). Разработка отмечена государственными наградами.

ОКБ-НН — автор ряда неурановых центрифуг, на базе которых одно время функционировало производство стабильных изотопов в РФЯЦ-ВНИИЭФ.

который с самого начала и до 2009 года возглавлял организацию. Это легендарный человек, стоявший у истоков создания отечественной разделительной промышленности. Настоящий русский инженер старой школы. Подробности про ОКБ можно найти в книге коллектива авторов (Н. Шаталин, В. Денисов, А. Медов, Ю. Заозерский, А. Корочкин, Н. Шубин) «Нетрадиционная продукция Горьковского автозавода» (Н.Новгород: Типография ГАЗ, 1999).

Статус ОКБ менялся в разные годы:

- цех № 4 ПНО ГАЗ;
- ОКБ ГАЗ;
- ОКБ ЭХЗ как филиал ФГУП «ПО «ЭХЗ» (с 2003 года);
- «ОКБ — Нижний Новгород» в контуре управления «Техснабэкспорта» (с 2007 года);
- «ОКБ — Нижний Новгород» в контуре управления ОАО «ИЦ «РГЦ»;
- «ОКБ — Нижний Новгород» в контуре управления «ТВЭЛ».

После вхождения «ОКБ — Нижний Новгород» в структуру Топливной компании «ТВЭЛ» стало больше внимания уделяться таким вопросам, как цифровизация НИОКР; приоритет коротким НИОКР с быстрым сроком окупаемости; бережливая система разработки нового продукта; применение ТРИЗ в работе конструктора; влияние конструкторских решений на себестоимость производства ГЦ и ЕРР (единицы работы

# Немного истории: как все начиналось

- декабрь 1953** • Минсредмашем принято решение о необходимости объединения усилий ОКБ ЛКЗ и ЛИПАН в разработке газовых центрифуг
- 1954** • Принято решение отказаться от привлечения к работам по подготовке промышленной центрифужной технологии немецких специалистов
- 3 марта 1954** • Минсредмаш издает приказ об организации исследовательских и экспериментальных работ по центробежному методу разделения изотопов
- 31 июля 1954** • Подписано Распоряжение Совмина СССР, обязывающее семь союзных министерств обеспечивать разработку и испытания промышленных образцов центрифуг. Началось освоение центрифужной технологии для промышленного разделения изотопов урана
- 1955** • Изготовлена в ОКБ ЛКЗ и испытана параллельно в ОКБ ЛКЗ и ЛИПАН первая опытная партия из 60 газовых центрифуг
- 10 октября 1955** • Правительство приняло Постановление № 1789-962 о строительстве на УЭХК опытного центрифужного завода (ОЦЗ)
- 1956** • На УЭХК создан опытный цех, в состав которого входил ОЦЗ, состоящий из 2432 центрифуг ВТ-3 изготовления ЛКЗ, и экспериментальный участок, где проводились испытания центрифуг
- 5 мая 1958** • НТС Минсредмаша под председательством И.В. Курчатова с учетом положительных итогов работы ОЗЦ принял историческое решение: рекомендовать газоцентрифужный метод разделения изотопов к широкому промышленному применению

разделения); учет полного жизненного цикла ГЦ; целевые показатели для конструкторов ГЦ; сравнительный анализ (бенчмаркинг) с лучшими мировыми практиками, для чего Топливная компания организовала нашу поездку на заводы Utepsco; альтернативные методы разделения изотопов урана; учет стороннего опыта конструирования быстровращающихся роторных машин.

### Не только уран

В сложные 1990-е годы в рамках работ по диверсификации силами ОКБ-НН была создана промышленная конструкция медико-биологической ультрацентрифуги К-32, опытный образец левитирующей (безопорной) центрифуги для получения особо чистых газов в интересах микроэлектронной промышленности, лабораторная настольная микроцентрифуга МЦ-1 для анализа крови, бельевая центрифуга «Астра». Думаю, что если можно было бы совершить скачок во времени, то наша настольная «кровеная» микроцентрифуга МЦ-1 была бы вполне востребованным лабораторным инструментом для диагностики коронавирусной инфекции методом ПЦР.

Благодаря заимствованию опор от газовой центрифуги медико-биологическая ультрацентрифуга К-32 для своего времени была очень прогрессивной машиной, имела рекордные характеристики по скорости и ресурсу. Машина К-32 выпускалась серийно Экспериментальным заводом научного приборостроения в г. Черноголовке. В 1980 году за создание ультрацентрифуги К-32 коллективу авторов ОКБ (Т. В. Попов, Ю. П. Заозерский, В. В. Зозин, А. Е. Ермишин, А. Г. Сухов, Г. И. Волков) была присуждена Государственная премия СССР.

на 7%

превысила требования технического задания фактическая производительность ГЦ-9, являющаяся основным параметром машины

В 1989 году в Министерстве атомной энергетики была принята Отраслевая целевая комплексная программа создания микроэлектроники, вычислительной техники и автоматизации, и ОКБ стало активным участником этой программы. Разработка безопорной центрифуги в электромагнитном подвесе для наработки особо чистых веществ в интересах микроэлектронной промышленности выполнялась ОКБ по договорам с НИИИС (Н. Новгород), ВНИИХТ (Москва), ЭХЗ (Зеленогорск). В левитирующей ГЦ не было трения, не было органики. Отсюда уникальная чистота продукта, которая измерялась большим количеством девяток после запятой.

### Преодолевать резонансы

Принципиальное отличие ГЦ-9 от предшествующих поколений в том, что это первая отечественная серийная центрифуга надкритического типа. Надкритическая ГЦ (НГЦ) при разгоне от нуля до рабочей скорости преодолевает один или несколько изгибных резонансов, а подкритическая — нет. Если отношение длины ротора к диаметру  $L/D > 5$ , то ГЦ надкритическая, а если меньше, то подкритическая. Производительность ГЦ зависит от скорости и длины. Повышение скорости лимитируется прочностью существующих материалов, и тут все резервы принципиально исчерпаемы, причем достаточно быстро. Путь в длину не имеет принципиальных ограничений, если научиться преодолевать резонансы.

Если говорить о том, насколько в ГЦ-9 использован опыт предыдущих разработок, я бы оценил степень унификации в 60–65%. В основном это прежние конструкционные материалы ротора и освоенные ранее техпроцессы их переработки. Примечательно, что в ГЦ-9 были использованы только отечественные материалы.

### Какую «девятку» выбрать?

Проект ГЦ-9 стартовал в 2000 году. В 2012 году приемочная комиссия дала рекомендацию о серийном производстве. Чтобы дойти до серии, понадобилось 12 лет, шесть опытных партий, одна опытно-промышленная партия, одна установочная серия. ГЦ-9 — это не модификация, а достаточно радикальная инновация. В опытных партиях выявилось много проблем: трещины, размотки, расцентровки и др. В ТЗ есть показатель надежности — интенсивность отказов.

Для его подтверждения надо, чтобы довольно большое количество ГЦ проработало довольно большое количество времени. Тут никак не ускоришься. В этом специфика и сложность разработки ГЦ. Надкритическая ГЦ отличается от подкритической, как сверхзвуковой самолет от дозвукового, но при этом конструктору нужно добиться и продемонстрировать приемочной комиссии, что сверхзвуковой самолет так же надежен, как дозвуковой.

Сложности были еще и в том, что нужно было понимать причину отказа, отделять конструкторские недостатки от недостатков изготовителя. Например, разрушилась ГЦ. Кто виноват? У меня даже мысли возникали, что надо организовать обучающий курс для подготовки специалистов по расследованию причин аварий ГЦ.

НИОКР по ГЦ-9 несколько затянулись еще и потому, что мы сами внутри своей разделительной подотрасли долго не могли принять решение, какую ГЦ выбрать для серии. Разработка шла в конкурентной среде. У каждого из трех КБ (горьковского, питерского, уральского) был свой вариант ГЦ-9 и свое финансирование. И это всех устраивало. Наверное, так же неспешно разрабатывали бы и дальше, но предел терпения «наверху» закончился. Наша нерешительность привела к тому, что в 2008 году был создан НТС Росатома, на котором рассмотрели ход вариантной разработки ГЦ-9, заслушали мнения заводов-изготовителей и ВНИПИЭТ по выбору варианта ГЦ-9. Все указали на нашу горьковскую «девятку». Вскоре после НТС назначили административное совещание под председательством С. В. Кириенко и зафиксировали выбор в пользу горьковцев, поставили задачу изготовить в 2008 году опытно-промышленную партию и начать ее испытания в 2009 году. После этого «пинка» все резко интенсифицировалось.

### От поколения к поколению

Газовые центрифуги для обогащения урана начали разрабатываться в нашей стране 70 лет назад. За это время появилось 10 поколений ГЦ, то есть в среднем на разработку нового поколения ГЦ требуется 7 лет. Сокращается ли время разработки от поколения к поколению? Такая тенденция есть. Разработка ГЦ-9 заняла 12 лет (с 2000 по 2012 год). Разработка ГЦ-9+ длилась 5 лет (с 2012 по 2017 год).

Есть планы еще более ускорить цикл разработки. Для этого предполагается внедрить новую методологию НИОКР с использованием цифровых двойников ГЦ. Поясню, о чем идет речь. Традиционный подход к разработке нового продукта, в частности ГЦ, таков:

- ТЗ;
- стартовая конструкция;
- расчет;
- изготовление образца № 1;

## Немного истории: как все начиналось

9 ноября 1961

На УЭХК новый, более крупный опытно-промышленный участок с ГЦ включен в отборную часть технологической цепочки. Его пуск и успешная эксплуатация подтвердили правильность промышленного внедрения центрифужного метода разделения изотопов урана и дали дополнительные доказательства главных преимуществ этого метода

4 ноября 1962

Начат пуск первой очереди первого в мире газотурбинного завода (ГТЗ) на УЭХК. После пуска ГТЗ строительство диффузионных заводов в СССР было прекращено. В конце 1964 года все ступени ГТЗ работали в единой технологической схеме УЭХК совместно с газодиффузионными каскадами

4 июня 1964

Газовые центрифуги заработали в корпусе № 901 ЭХЗ

ноябрь 1971

На ЭХЗ получено несколько десятков граммов изотопа железа <sup>57</sup>Fe обогащением 80%. Центрифужная технология, разработанная для разделения изотопов урана, впервые успешно применена для разделения изотопов других химических элементов

декабрь 1973

Пуск газовых центрифуг на СХК

1988

На УЭХК полностью прекращена эксплуатация газодиффузионного оборудования

декабрь 1990

Пуск газовых центрифуг на АЭХК

1992

Все предприятия страны стали обогащать уран только с помощью газовых центрифуг

### Был такой случай...

Запомнился эпизод, связанный с разработкой ГЦ-9. Испытания очередной опытной партии дали отказы. Первопричина непонятна. Собрали совещание для «разбора полетов». Все участники пытаются отвести вину от себя: конструкторы винят криворуких изготовителей, изготовители винят скудоумных конструкторов. Представитель управляющей компании, председательствующий на совещании, принимает решение — расставить конструкторов по всей технологической цепочке и изготовить 32 «контрольных» агрегата под максимально возможным авторским надзором объединенными силами всех трех КБ. Если после этого опять будут отказы, то виноваты конструкторы, а если не будет отказов, то виноваты изготовители. Виновные будут уволены, невиновные получат награды. После этого представитель управляющей компании берет листок, пишет с одной его стороны заголовок «Список на увольнение» и вписывает всех основных действующих лиц, причастных к разработке ГЦ-9. Потом переворачивает листок на другую сторону, пишет заголовок «Представление на награждение» и вписывает те же фамилии. Изготовили 32 агрегата под усиленным авторским надзором. Отказы нулевые. Конструкторы ходили гордые, изготовители — понурые. Никого не уволили. Никого не наградили.



### Был такой случай...

Во времена ОКБ ГАЗ было принято решение зарабатывать продажей стабильных изотопов. Запустили небольшой каскадик из наших машинок в лаборатории ресурсных испытаний. Нарбатывали изотопы ксенона, криптона, серы, цинка, кадмия, никеля, кремния. Деньги от продаж изотопов шли, но их было недостаточно для самофинансирования. Решили попробовать экзотику — те направления, куда еще никто не ходил с ГЦ. Стали «крутить» триметилталлий  $Tl(CH_3)_3$ . Поставщик, который синтезировал вещество, умолчал, что в нем есть стабилизирующая добавка. В каскаде ГЦ эта добавка отделилась и ушла в один конец каскада. Изотопно-модифицированный триметилталлий собрали в баллон на другом конце каскада. Естественно, без стабилизирующей добавки, но мы про это не знали. Баллон вскоре раздулся как шар и взорвался. Хорошо, что никто не пострадал, и хорошо, что баллон был во льду под вытяжкой. С тех пор стали от всех поставщиков требовать паспорт безопасности вещества, предусмотренный ГОСТом.

- натурные испытания образца № 1;
- изменения конструкции;
- изготовление образца № 2;
- натурные испытания образца № 2;
- изменения конструкции и т. д., пока ТЗ не будет выполнено.

Недостаток традиционного подхода в том, что основная ставка делается на натурные испытания. Соответственно, необходимость в изменениях выявляется на этапах опытного производства и испытаний, а это наиболее дорогостоящие изменения. Поэтому вывод на рынок нового продукта при таком подходе происходит долго и дорого.

Разработка с использованием новой методологии цифровых двойников (ЦД) и виртуальных испытаний позволяет на ранней стадии расчетным образом исследовать все альтернативы разрабатываемого изделия с помощью высокоадекватных цифровых моделей и тем самым экономить время, деньги, пройти приемочные испытания с первого раза. Все компании уделяют большое внимание ускоренному выводу на рынок нового продукта и постепенно приходят к цифровым двойникам, используя ту или иную программную платформу. При этом оцифровываются процессы на всех этапах жизненного цикла продукта, включая производственные, — это и есть цифровой двойник технологии. Обязательная верификация и валидация цифровых моделей гарантирует высокую адекватность моделирования с точностью  $\pm 5\%$  от натурального эксперимента.

В использовании ЦД для ускоренной разработки нового продукта преуспела команда А. И. Боровкова из СПбПУ. Мы сейчас активно с ними сотрудничаем по созданию цифрового двойника газовой центрифуги на их программной платформе CML-Bench. Принятый в 2021 году ГОСТ по цифровым двойникам должен помочь переходу на новую методологию НИОКР.

Время покажет, насколько ЦД ГЦ сократит этап разработки. Я думаю, что применительно к ГЦ даже при внедрении ЦД останется некий несжимаемый срок разработки, связанный с необходимостью демонстрировать надежность ГЦ в ходе натурального эксперимента согласно требованиям ТЗ.

Если говорить о том, требуется ли замена оборудования для производства ГЦ при внедрении новых поколений, то бывает по-разному. Если у ротора изменилась длина или диаметр, то, конечно, требуется замена оборудования и оснастки. Потребуются инвестиции в подготовку к производству такой ГЦ. Если габариты внедряемой ГЦ остались прежними, а изменилась лишь скорость, то нет нужды менять оборудование. Например, внедрение ГЦ-9+ не потребовало изменений существующей



инфраструктуры изготовителей и эксплуатационников.

### Что будем крутить?

Конечно же, на базе любой серийной урановой ГЦ создается неурановая ГЦ. Глупо было бы ограничиваться лишь изотопами урана и ГФУ в качестве рабочего газа. Таблица Менделеева большая, и есть спрос на многие неурановые изотопы. Иногда неурановая ГЦ похожа на своего «старшего брата», иногда не очень. Все зависит от рабочего газа в неурановой ГЦ.

Например, часто требуется крутить легкий газ, который на порядок легче, чем ГФУ. Бывает наоборот — молекула рабочего газа очень тяжелая и нестабильная. Разваливается при небольшом нагреве. Приходится принимать меры, чтобы такая молекула не перегрелась внутри ГЦ. Бывает, что рабочий газ в неурановой ГЦ — очень агрессивное вещество. Например, какая-нибудь металлоорганика. Приходится принимать меры, чтобы материал ротора был стойким в таком газе. Причем речь идет не о простой коррозии, а коррозии под напряжением.

Иногда требуется «горячая» ГЦ. Дело в том, что газодиффузионная технология (урановая или неурановая) требует, чтобы рабочее вещество было летучим, с достаточной упругостью пара. В противном случае возникают сложности с каскадированием машин.

Некоторые коммерчески привлекательные химические элементы не имеют летучих соединений при комнатной температуре, но могут «полететь» при повышенных температурах. Отсюда интерес к «горячей» ГЦ.

Часто употребляемая фраза «неурановая ГЦ для наработки стабильных изотопов» не всегда верна. У меня в памяти есть несколько случаев, когда конструкторы ГЦ выполняли заказ на разработку неурановой ГЦ для выделения радиоактивных изотопов. Такие ГЦ имеют довольно приличную биологическую защиту.

Что касается ГЦ-9, то так получилось, что надкритическая ГЦ для неурановых изотопов под названием КЗ8 стала эксплуатироваться намного раньше своего уранового собрата.

### Взгляд в будущее

В интернете можно найти видеинтервью с Гернотом Ципше, патриархом и прародителем европейской ГЦ. Он говорит, что будущие ГЦ видит левитирующими в опорах из высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП-опорах). Я соглашусь с ним. Появление ВТСП второго поколения, энергоэффективных и очень надежных криокулеров, серия успешных демонстрационных проектов с накопителями кинетической энергии на ВТСП-опорах — все это хорошие предпосылки для ГЦ с ВТСП-опорами.



Текст подготовил Александр Южанин  
Фото: АО «ТВЭЛ»

# «Газоцентрифужная технология — не только более экономичная, но и более комфортная для персонала»



**Александр Павлович Павелонец**

Главный эксперт по управлению производством ООО «Центротех-Инжиниринг», генеральный директор ООО «УЗГЦ» с 2007 по 2015 год

## Теория — одно, а практика — другое

В свою профессию я пришел отчасти случайно, но остался в ней на всю жизнь. Я закончил Омский политехнический институт в 1978 году, распределился на Уральский оптико-механический завод в Екатеринбурге, но по ряду причин уволился через несколько месяцев. Как раз в это время был набор в особое конструкторское бюро приборного завода УЭХК, туда я и поступил в 1979 году старшим техником-конструктором. Своими учителями я бы назвал начальника ОКБ Всеволода Александровича Баженова и своего первого руководителя Семена Семеновича Бабурина. Когда человек приходит на работу после института, он начинает понимать, что теория — это

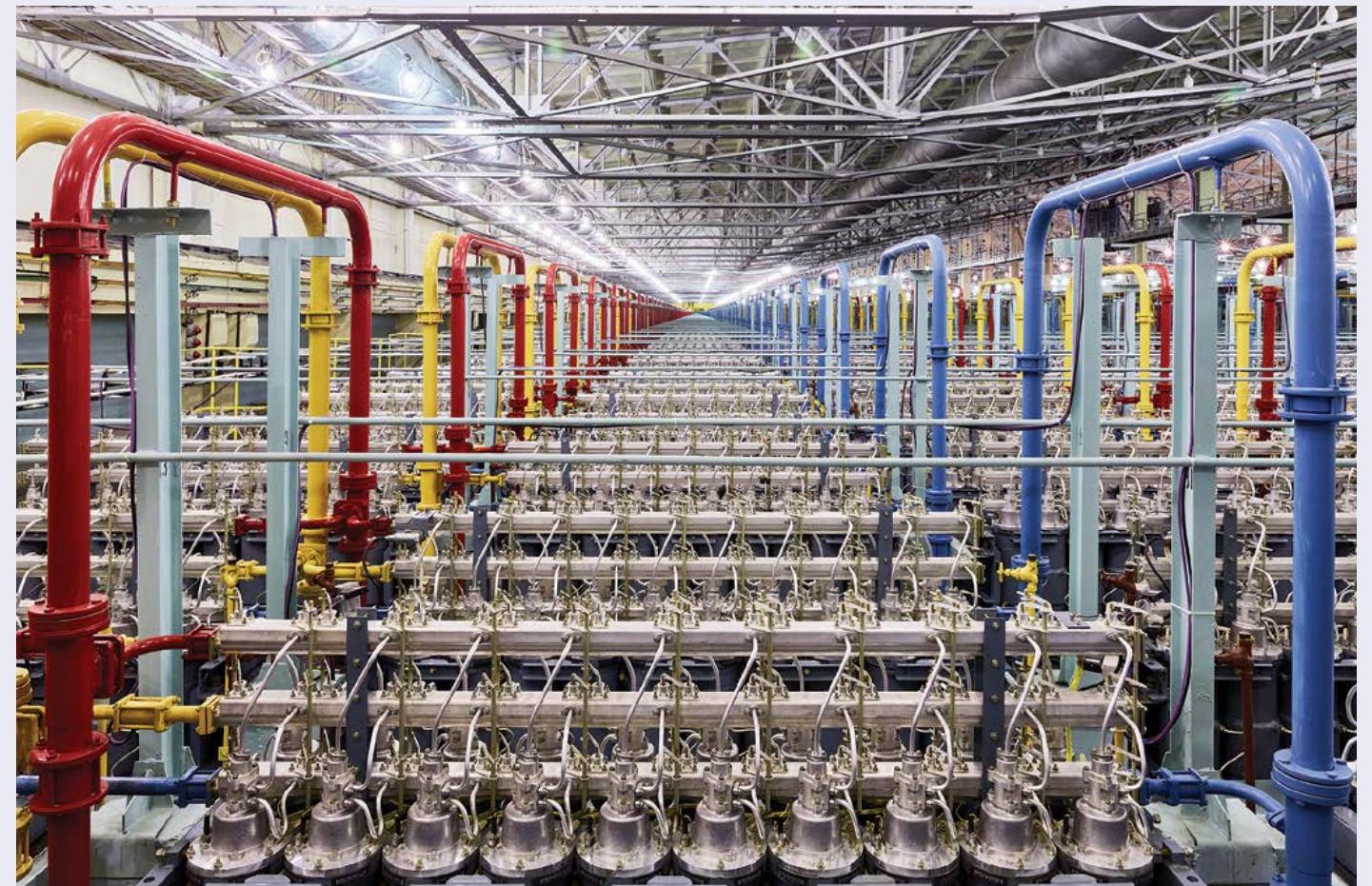
одно, а практика — немного другое, так что они многое мне дали в плане практики и подходов к работе. Я проработал на приборном заводе 21 год, занимался конструированием оборудования для разделительных предприятий: это агрегатированный комплекс средств управления, специализированные преобразователи частоты, стенды для проверки выпускаемого оборудования.

В 2000 году назначен заместителем начальника производственно-технического отдела, который осуществлял управление подразделениями дискретного производства УЭХК. Основная задача дискретного производства — это выпуск оборудования для разделительных предприятий и продукции общепромышленного назначения. В это же время началась работа по организации, разработке и проектированию производства газовых центрифуг на УЭХК. Уральский завод газовых центрифуг (УЗГЦ) был создан в 2007 году согласно приказу Сергея Владиленовича Кириенко, в то время возглавлявшего госкорпорацию «Росатом», о выделении из состава УЭХК производства ГЦ. Структурные преобразования происходили в самый разгар строительства завода, и если посмотреть фотографии того времени, то можно увидеть, что вместо оборудования там был бетон. Я был директором УЗГЦ в период создания и в первые восемь лет работы предприятия.

## Отвечая на вызовы

С чем было связано решение о создании нового завода? Вопросы отработки технологии и ее соблюдения в условиях массового производства ГЦ являются очень важными и одними из самых сложных на протяжении всего пути создания и эксплуатации любых поколений серийных центрифуг. В связи с этим УЭХК, который тогда выступал в качестве главного конструктора последних двух поколений ГЦ, внес предложение за счет собственных средств создать на базе опытного производства комбината опытно-промышленное производство центрифуг, где опережающим образом отработывалась бы не только конструкция машин, но и технология производства, которую затем можно было бы передавать на серийные заводы-изготовители. Это позволило бы решить остро стоявшую тогда проблему качества изготовления ГЦ.

Основные трудности при создании завода были связаны с тремя главными вопросами. Если посмотреть на план УЗГЦ, видно, что завод располагается



в нескольких зданиях, поэтому, во-первых, было необходимо таким образом разместить оборудование и выстроить логистику, чтобы обеспечить оптимальное перемещение материалов и комплектующих между разными участками производства.

Второй вопрос касался выбора оборудования. УЭХК был главным конструктором перспективных ГЦ, и если на обычных заводах оборудование предназначалось исключительно для изготовления серийных центрифуг, то для УЗГЦ требовалось оборудование как для серийного производства, так и для изготовления опытных партий перспективных машин. Поэтому оборудование подбиралось исходя из возможности его последующей адаптации к производству новых поколений ГЦ.

Ну и третий важный вопрос — это, конечно, кадры. Завод строился на базе электромеханического завода УЭХК, поэтому специалисты машиностроительных профессий у нас были. Однако мы остро нуждались в специалистах других профессий. Завод почти на 100% оснащен станками с ЧПУ, автоматами продольного точения и другой автоматизированной техникой. Поэтому нам в большом количестве требовались операторы станков с ЧПУ. Для решения этой задачи на базе технологического лицея был создан специальный класс, комбинат оснастил его необходимым оборудованием, и лицей начал готовить кадры

для УЗГЦ. Самым трудным было найти специалистов по изготовлению стеклопластиковых изделий намоткой. Такие кадры не готовили ни в технических училищах, ни в лицеях. Поэтому нам пришлось их учить самим, причем прямо на рабочих местах. Набирали группы по 15–20 человек (больше просто не могли) и учили их два-три месяца, после чего они сдавали экзамен на разряд, а мы набирали новую группу.

Самой главной задачей, стоявшей перед нами, было завершение строительства завода и вывод его на проектную мощность. И с решением этой задачи мы справились. Другая важная задача была связана с переводом производства с машин 8-го поколения на изготовление центрифуг 9-го поколения. Для этого требовалось перенастроить все производственное оборудование, ведь новые надкритические машины были технологически сложнее предыдущих, имелись иные требования к балансировке ротора, точности и т.д. Я горжусь тем, что УЗГЦ, несмотря на все трудности, был построен, выведен на проектную мощность, начал производить продукцию и на нем сформировался отличный, слаженный, высокопрофессиональный коллектив.

## Идти в ногу со временем

Сейчас на УЗГЦ производят центрифуги поколения 9+. Принципиальное отличие этой машины — большая производительность. Если через несколько лет





завод будет переходить на производство машин 10-го поколения, то, думаю, при необходимости в течение примерно двух-трех месяцев все оборудование можно будет перенастроить.

Тем не менее я считаю, что любому предприятию требуется модернизация, так как оборудование устаревает. Это примерно так же, как если бы вы купили машину и проехали на ней 15–20 лет, после этого запчасти вы на нее уже вряд ли сможете купить. Так и на производстве. На момент пуска завода у нас было самое современное оборудование, какое только сумели в то время найти, и, как я уже подчеркивал, это было оборудование, которое позволяло выпускать не только серийные машины, но и перспективные опытные образцы. На других заводах в те времена такого не было.

На предприятии уже в 2007 году придавали большое значение автоматизации производства, устанавливали станки с ЧПУ, различные роботизированные комплексы. Приведу наглядный пример: у нас был робот для сварки рамы агрегата центрифуг. При кажущейся простоте рама — это довольно сложная конструкция, состоящая из уголков, швеллеров и других деталей. И чтобы ее ровно сварить, нивелируя напряжения, которые возникают при нагреве, нужно использовать сложную программу. Вот это было у нас уже тогда. Или взять другой пример, линию по порошковому окрашиванию. В то время, когда мы строили завод, на многих других предприятиях всё красили пульверизаторами. А у нас операторы только навешивали

детали и закрывали те места, которые не надо красить, все остальное делала и делает автоматика. Сначала пассивация, потом сушка, потом окрашивание, потом опять сушка — все это автоматизировано. Также есть полностью автоматизированные станки, где робот берет заготовку, кладет ее на станок и после обработки снимает со станка. Вот это и есть автоматизация.

В те годы, я считаю, у нас был самый современный завод по производству ГЦ, но сегодня ситуация поменялась, ведь существующее оборудование проработало с 2007 года и уже амортизировано. Технологии и промышленность не стоят на месте, появляется более точное оборудование, создаются новые материалы. Так что планы по модернизации, конечно, есть.

Считаю, что самая основная задача сегодня — это обеспечение производства материалами и комплектующими, особенно теми, что раньше закупали за границей. Для этого необходимо наладить это производство у нас. В принципе, это решаемая задача. Хотя это не быстро: ни за день, ни за два, ни за год этого не сделаешь. Но раньше в атомной отрасли использовали только советские комплектующие. Выпускали в советские времена и конденсаторы, и транзисторы, и микросхемы, все это было. Вот этими вопросами сегодня необходимо заниматься.

#### Рождение «Центротеха»

Монопредприятием завод стал примерно к 2010 году, когда увеличили количество изготавливаемых

центрифуг и передали другим предприятиям изготовление оборудования, которое делал в свое время электромеханический завод — запорной арматуры, компрессоров, регуляторов, запасных частей к ним и проч. Став монозаводом, мы проработали так четыре года, но в 2014-м, когда у нас снизились объемы производства центрифуг, пришлось заняться диверсификацией. Первый договор УЗГЦ заключил на разработку и изготовление оборудования для очистительного каскада буровых установок.

А потом, в 2015–2016 годах, началось объединение предприятий Новоуральской промышленной площадки, когда в УЗГЦ влился сначала Новоуральский приборный завод с производством электро-технического оборудования, потом Новоуральский научно-конструкторский центр с НИОКР по ГЦ, затем Завод электрохимических преобразователей. В итоге было создано Научно-производственное объединение «Центротех». Сейчас это многопрофильное предприятие, которое выпускает не только центрифуги, но и электротехническую продукцию, фильтры, электролизеры и другие изделия, а также занимается разработкой по всему перечню выпускаемой продукции.

#### Выращивать специалистов

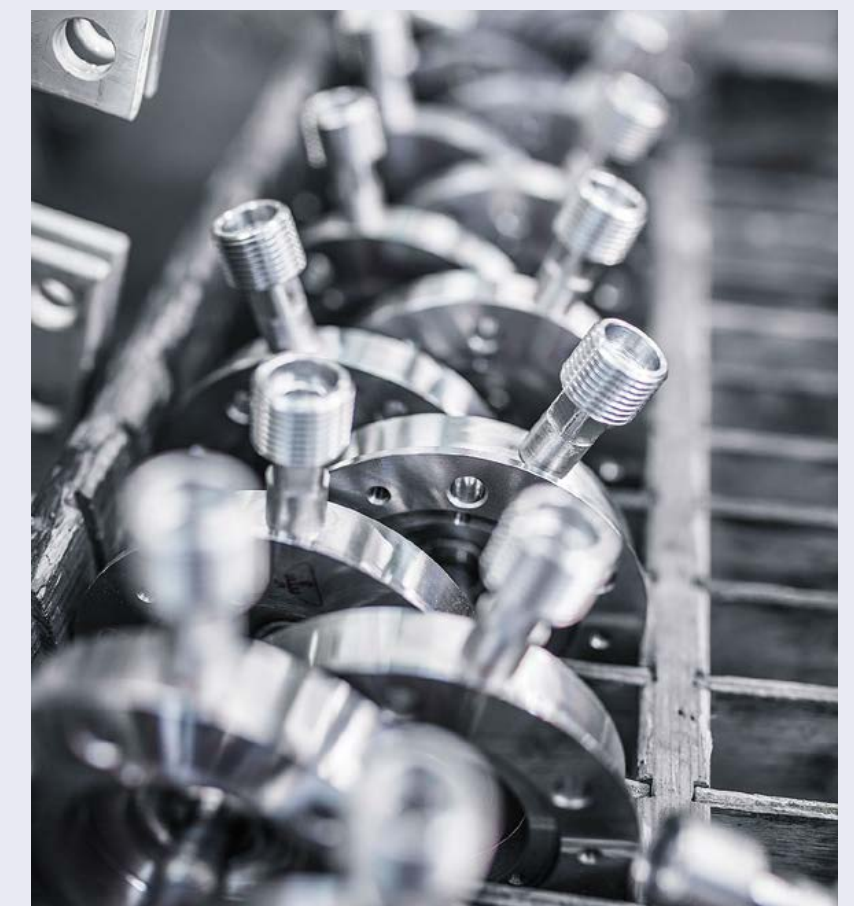
Сейчас я работаю в «дочке» «Центротеха». В 2020 году НПО «Центротех» стало резидентом ТОСЭР — территории опережающего социально-экономического развития. По закону у предприятия — резидента ТОСЭР не должно быть промышленных площадок на других территориях. Однако Новоуральский научно-конструкторский центр имел филиал в Санкт-Петербурге, а филиалы Новоуральского приборного завода расположены в Зеленогорске и в Ангарске. Пришлось эти филиалы выделять в отдельную дочернюю компанию ООО «Центротех-Инжиниринг», которую я тогда возглавил. Для меня это была примерно та же самая работа, что и на УЗГЦ, с той разницей, что производственные площадки были расположены по всей стране, так что пришлось поездить. Адаптироваться на новом месте работы мне не пришлось, потому что я прекрасно узнал эти площадки и персонал, работая в «Центротехе», не раз бывал там.

Молодые специалисты сейчас приходят к нам в основном после Уральского федерального университета (УрФУ, бывшего Уральского политехнического института — УПИ) и Новоуральского технологического колледжа. И в нашем колледже в Новоуральске, и в УПИ раньше была хорошая подготовка молодых специалистов. Сегодня ситуация несколько изменилась. Я несколько лет проработал в государственной экзаменационной комиссии Новоуральского филиала МИФИ (НТИ НИЯУ МИФИ) и присутствовал на защите дипломов по специальности «мехатроника». Последний раз я принимал дипломные работы у выпускников бакалавриата и видел, что по сравнению с теми, кто заканчивал специалитет, эти выпускники немного «недоученные» — им не хватает знаний, так как они профессию начинают изучать только на третьем-четвертом курсе.

По сравнению с предыдущими технологиями, газо-центрифужная — не только более экономичная, она еще и позволяет обеспечить комфортные условия работы для персонала. На газодиффузионном производстве очень жарко, а в цехах с центрифугами хорошие условия, прохладно, чисто, гораздо чище, чем в любом механическом цехе. И тихо — только небольшой гул.

Тем не менее как в свое время наши наставники помогли нам пройти путь от теории к практике, так и сегодня опытные специалисты помогают молодым, так что у нас получается обеспечить преемственность поколений.

А вообще я считаю, что руководителю, прежде всего, нужно быть профессионалом своего дела. Кроме того, он должен, во-первых, хорошо относиться к людям и, во-вторых, быть честным перед людьми: если ты что-то пообещал, то должен выполнить. Но и рядовой сотрудник должен на своем месте делать все, что необходимо, принимать решения сам и не бегать постоянно к начальнику за подсказками и наставлениями, то есть должен быть специалистом. Именно так мы сможем решать важные задачи, которые стоят перед отраслью.







## Сплав знаний и технологий

Чтобы довести центрифужную технологию до совершенства, отечественные ученые и инженеры прошли долгий путь. Сегодня все страны, которые производят обогащенный уран, используют именно эту технологию. Россия занимает лидирующие позиции по обогащению урана — на долю Росатома приходится более трети мирового рынка.

Накопленный за 70 лет опыт, новые уникальные разработки и смелые конструкторские решения, применение современных высокотехнологичных материалов, автоматизация и цифровизация процессов позволяют непрерывно совершенствовать технологию.

Предприятия и организации, занимающиеся проектированием разделительных производств, разработкой и производством газовых центрифуг, обогащением урана и производством изотопов неурановых элементов, входят в состав Топливной компании «ТВЭЛ» (топливный дивизион госкорпорации «Росатом»). Рассказываем о работе некоторых из этих предприятий — в цифрах и фактах.



УЭХК — первое в мире предприятие по обогащению урана центрифужным методом.

На УЭХК сосредоточено около 50% российских и около 20% мировых мощностей разделения изотопов урана.



Технология обогащения изотопов урана позволяет УЭХК ежегодно производить по контрактам с заказчиками обогащенный урановый продукт более 20 различных номиналов.

Уровень шума в машинном зале технологического цеха комбината, где одновременно вращаются сотни тысяч центрифуг, не превышает 80 дБ. Это сопоставимо с шумом уличного дорожного движения, звуком работающего офисного оборудования или бытового пылесоса.

Более 80% продукции УЭХК составляют экспортные заказы. Низкообогащенный уран, выработанный в АО «УЭХК», используется в ядерной генерации США, Франции, Швеции, Германии, Испании, Китая, Японии и других стран.



ЭХЗ стал в 2012 году первым предприятием атомной отрасли, где начали устанавливать центрифуги нового, 9-го поколения.

ЭХЗ обладает компетенциями по производству 115 изотопов 22 химических элементов.

Более 40% составляет доля АО «ПО «ЭХЗ» на мировом рынке стабильных изотопов.



С 2009 года на установке W-ЭХЗ (первом и пока единственном подобном производстве в России) переработано более 125 тыс. тонн ОГФУ.

ЭХЗ — участник глобальных международных научных проектов: AMoRE, GERDA и MAJORANA (поиск двойного безнейтринного бета-распада), XMASS (регистрация солнечного нейтрино), WARP (изучение темной материи Вселенной), «Килограмм-2» (создание нового эталона массы) и других.

До перехода на газоцентрифужную технологию АЭХК был самым энергоемким предприятием в СССР — потреблял 4% всей электроэнергии, производимой в стране.



На АЭХК расположен первый в мире склад с размещением гарантийного запаса обогащенного урана, находящегося под контролем и гарантией МАГАТЭ.

КМЗ изготавливает надкритические газовые центрифуги поколений 9 и 9+. Они работают без остановки до 30 лет с уровнем отказов, не превышающим десятой доли процента в год.

Удельный вес КМЗ в сегменте рынка по производству газовых центрифуг составляет около 80%.

Более 400 руководителей крупнейших предприятий России прошли обучение ПСР на КМЗ в рамках реализации федеральной программы «Повышение производительности труда и поддержка занятости».



Текст подготовил Андрей Соколов  
Фото: АО «ТВЭЛ»

# «Наука идет вперед, и наши технологии позволяют не отставать от этого процесса»



**Ринат Спартакевич Асадулин**

Заместитель генерального директора АО «ПО «Электрохимический завод» по производству

## Для мирного урана

Не секрет, что получение высокообогащенного урана (по изотопу 235) в 50-е годы XX века в первую очередь было необходимо для создания ядерного оружия: в это время ковался ядерный щит страны. Этим занимался не только СССР, но и другие государства. Но тогда же, в 1954 году, была запущена в эксплуатацию первая в мире АЭС — Обнинская, и стало понятно, что <sup>235</sup>U может использоваться и в мирных целях. А это уже принципиально новая задача. Атомные станции должны были стать источником стабильной и при этом дешевой электрической энергии, то есть быть экономически эффективными. Соответственно, появилась задача снизить затраты на каждом этапе ядерного топливного

цикла с конечной целью всех этих усилий — снизить цену кВт·ч.

На момент пуска Обнинской АЭС были известны несколько методов разделения изотопов, в том числе электромагнитный, термодиффузионный, газодиффузионный, газодинамический (звуковое сопло, вихревая труба и т. п.), но первым промышленным методом разделения изотопов стал газодиффузионный. Это эффективный метод, но чрезвычайно энергозатратный. Поэтому разработка советскими учеными газодиффузионной технологии разделения изотопов урана, причем технологии промышленной, а не экспериментальной, была настоящим прорывом. По сравнению с газодиффузионным методом затраты на одну единицу работы разделения (или, говоря по-другому, энергозатраты на производство) сократились более чем в 20 раз! Это главное конкурентное преимущество газовых центрифуг.

Газовая диффузия — это технологический процесс, основанный на различной скорости проникновения молекул газа с разной молекулярной массой через микропористую структуру, изготовленную из спеченного металлического порошка, при котором необходимо прокачивать значительное количество гексафторида урана с использованием компрессорного оборудования. При этом эффект разделения на одной ступени очень низкий, значит, этот очень энергозатратный процесс нужно повторить множество раз. Ротор центрифуги вращается в вакууме на магнитном подвесе с опорой на тонкую иглу. Центробежная сила действует на молекулы гексафторида урана, и в соответствии с разницей молекулярных масс происходит разделение. В пристеночном слое оказываются более тяжелые молекулы, содержащие изотоп <sup>238</sup>U, к центру ротора концентрируются более легкие молекулы, содержащие изотоп <sup>235</sup>U. Дополнительный эффект разделения в центрифуге возникает за счет осевой циркуляции рабочего газа в пристеночном слое. Раскрутить ротор в вакууме существенно проще, чем продавить гексафторид урана сквозь мелкоячеистую мембрану (для этого нужно создать очень высокое рабочее давление). А с газовыми центрифугами избыточное давление создавать не нужно, соответственно, энергозатраты на разделение в разы ниже.

## Новая страница

Как только был создан каскад газовых центрифуг для разделения изотопов урана, ученые задались вопросом, можно ли с помощью центрифуг разделять

изотопы других элементов. Прежде всего речь шла о стабильных изотопах — изотопные таблицы уже были известны. На базе Института атомной энергии в Москве (впоследствии — Курчатовский институт) еще в конце 1950-х начали проводиться экспериментальные работы. Базовой площадкой по созданию промышленных методов разделения был УЭХК. Академик Исаак Константинович Кикоин в 1970-е годы предложил создать опытно-промышленное производство стабильных изотопов. И первой промышленной площадкой не только в Советском Союзе, но и во всем мире стал ЭХЗ. Эту инициативу тогда поддержали технические руководители — Валентин Григорьевич Шаповалов, Анатолий Николаевич Шубин, которые стояли непосредственно у истоков разделения изотопов неурановых элементов. Можно сказать, что тогда была открыта новая страница в истории атомной отрасли.

И уже в 1971 году была наработана первая партия <sup>57</sup>Fe, обогащенного до 80%. Естественно, все разработки были строго засекречены. Область применения <sup>57</sup>Fe — от дефектоскопии и метрологии до космических технологий. Не надо забывать, что 1960–1970-е годы — это начало космической эпохи в СССР, в это время активно разрабатывались первые ядерные реакторы для космических аппаратов. И для этого могли быть использованы специфические свойства стабильных изотопов различных химических элементов, которые ученые тогда не могли получить в значимых количествах другими методами.

Задачи тех времен раскрывались как большая толстая книга. С получением каждого нового изотопа, отдельно обогащенного, можно было изучать его свойства, также можно было, используя уже существующие ядерные реакторы, получать радиоактивные изотопы, проводить исследования как в медицинских целях, так и для развития фундаментальной науки. Отдельное направление — изучение влияния свойств стабильных изотопов на конструкционные материалы, ведь в ядерном реакторе при высокой плотности потока нейтронов, естественно, происходит изменение свойств материалов. Вторым элементом, изотопы которого разделили на ЭХЗ, был вольфрам.

Опытно-промышленное производство стабильных изотопов на ЭХЗ начали создавать с 1971 года. Лабораторные и малые стенды были созданы на базе центральной заводской лаборатории совместно с учеными Института атомной энергии им. И. В. Курчатова.

Затем задачи применения изотопов начали расширяться, и в конце 1980-х годов было построено отдельное специализированное производство по получению радиоактивных изотопов. Помимо <sup>55</sup>Fe, на заводе был получен <sup>14</sup>C. Следующим шагом стало получение в промышленных масштабах <sup>85</sup>Kr, который до сих пор востребован на рынке, в первую очередь как источник для дефектоскопии.

## «Светлана» расширяет линейку

Успех работы над получением стабильных изотопов в 1970–1980-х привел к появлению так называемого проекта «Светлана» — созданию на ЭХЗ полноценного промышленного комплекса производства стабильных изотопов.

В 1990-е, когда Росатом вышел на мировой рынок, производство стабильных изотопов на ЭХЗ получило новый толчок к развитию, поскольку пошли заказы от научных организаций и коллабораций практически со всего мира.

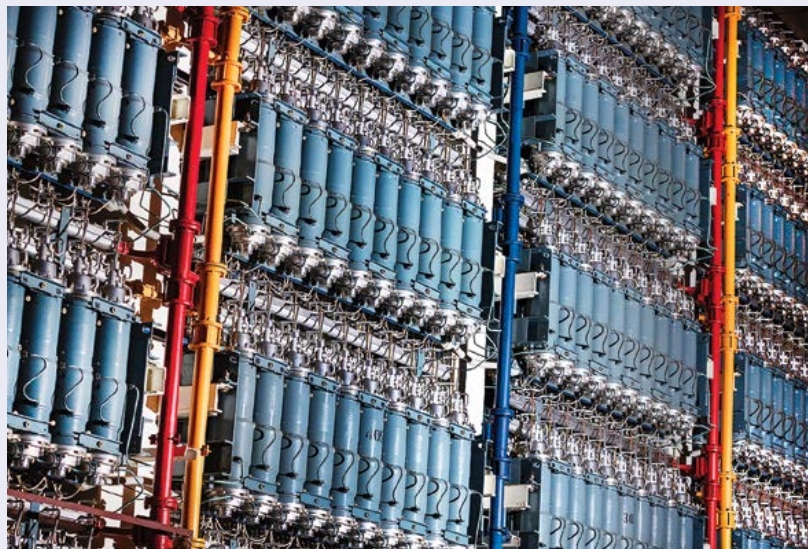
Другое направление использования стабильных изотопов — медицина. Это в первую очередь получение изотопов молибдена, иридия, теллура и ксенона, которые в дальнейшем после облучения в ядерных реакторах и ускорителях переходят в радиоактивные изотопы, например <sup>98</sup>Mo — в <sup>99</sup>Tc. За последние годы на ЭХЗ линейка производства стабильных изотопов расширилась до 22 элементов таблицы Менделеева. Учитывая, что у одного элемента может быть несколько изотопов, на ЭХЗ освоена технология наработки 115 различных изотопов.

Изотопы одного и того же элемента могут использоваться в различных сферах. Например, одним из старейших у нас является производство цинка, обедненного по изотопу 64. Он широко используется на атомных станциях зарубежного дизайна для добавления в теплоноситель первого контура, мы производим его уже много лет, успешно поставляем в форме оксида цинка либо ацетата цинка на международный рынок. А в настоящий момент ученым потребовались также <sup>66</sup>Zn и <sup>68</sup>Zn. Это говорит о том, что наука еще изучает свойства изотопов, и какие изотопы будут востребованы в дальнейшем — это нам только предстоит узнать. Наука ведь не стоит на месте, идет

## Содружество разделителей

Пуск первых газодиффузионных мощностей на Электрохимическом заводе был произведен в 1962 году. Первая промышленная очередь газовых центрифуг была запущена на заводе уже в 1964 году. ЭХЗ в то время был самым молодым предприятием разделительного производства в СССР. При этом и от газодиффузионного метода разделения изотопов на заводе не отказались. Обе технологии разделения существовали совместно вплоть до 1990 года, то есть на ЭХЗ одновременно эксплуатировались газодиффузионные корпуса и параллельно запускались очереди газовых центрифуг. В итоге завод совместно решал конструкторские, технологические и научные задачи — как наиболее эффективно состыковать эти технологии.





### Эталонная работа

Довольно серьезную роль в деле развития производства изотопов сыграло участие ЭХЗ в проектах «Килограмм-2» и «Килограмм-3». Эти проекты решали сразу две фундаментальные задачи — создание образца эталона массы и уточнение числа Авогадро. В процессе работы по созданию альтернативы эталона массы специалисты ЭХЗ смогли достичь степени обогащения  $^{28}\text{Si}$  до 99.999%. Это высочайшая степень обогащения. Теперь мы знаем, что можем добиваться такой степени для самых разных элементов. Благодаря этому, мы участвуем во всех значимых проектах по поиску безнейтринного двойного бета-распада, которые ведутся в мире. Так, изотопы  $^{72}\text{Ge}$  и  $^{100}\text{Mo}$ , которые нарабатываются для международных научных коллабораций в рамках проектов GERDA и AMoRE по поиску безнейтринного двойного бета-распада, существенно продвигают фундаментальную науку в области понимания процесса развития Вселенной после Большого взрыва.

### Мегатонны в мегаватты

Важный эпизод в истории ЭХЗ связан с реализацией большой межправительственной программы ВОУ-НОУ (высокообогащенный уран — в низкообогащенный уран), которая продолжалась больше 10 лет. Заложенный в те годы научный и технологический фундамент позволил впоследствии разработать технологию обращения с регенерированным ядерным топливом. Тогда же наши специалисты получили возможность изучить опыт американских коллег в области системы учета ядерных материалов, аналитики, контрольно-измерительных приборов, что в принципе имело положительный результат для Росатома в целом. Цена, по которой производились покупка и продажа урана, до сих пор вызывает споры, но сотрудничество физиков-ядерщиков из США и России было, безусловно, взаимовыгодным. В области мирного атома это был один из примеров того, что сотрудничество разных стран в технологии и обращении с ядерными материалами должно только развиваться. Без этого атомная энергетика многое потеряет.

вперед. И наши технологии позволяют не отставать от этого процесса.

Технологии ЭХЗ постоянно совершенствуются, и мы стремимся успевать за потребностями современных индустрий. И здесь ЭХЗ имеет возможность опираться на очень богатую базу, наработанную десятилетиями.

И сейчас, если потребуется, мы можем взять любое вещество, которое может находиться в газообразном состоянии и давление его насыщенных паров позволяет подать его в газовую центрифугу, и произвести разделение по изотопам.

### Полезная радиоактивность

Кроме производства стабильных изотопов, ЭХЗ имеет возможность разделять изотопы радиоактивных элементов. Газовой центрифуге, так скажем, все равно, какой изотоп разделять — стабильный или радиоактивный (конечно, с учетом активности радиоактивного изотопа и коррозионной стойкости используемого вещества). Например, мы достигли больших успехов, впервые получив партию обогащенного  $^{63}\text{Ni}$ , который является источником мягкого бета-излучения и может использоваться, например, как источник электропитания с длительностью работы до нескольких десятилетий. В перспективе область применения низковольтных бетавольтаических источников питания колоссальна — начиная с медицинских электрокардиостимуляторов и заканчивая приборами в космосе, которым необходимо надежное электрообеспечение на десятилетия.

Суть технологии такова: после облучения обогащенного  $^{62}\text{Ni}$  в ядерном реакторе получается радиоактивный  $^{63}\text{Ni}$ , а после синтеза рабочего вещества, которое позволяет производить разделение, нарабатывается обогащенный  $^{63}\text{Ni}$ . Сейчас идет работа по промышленному получению в отечественных реакторах изотопа  $^{63}\text{Ni}$  для последующего его обогащения. Подготовка производства для получения  $^{63}\text{Ni}$  практически закончена, в ближайшее время его планируется запустить.

### Перелить по стандарту

В начале 1990-х с выходом на международный рынок появилась новая задача. По международным стандартам, в частности ASTM, требования к упаковке и подходы к определению качества обогащенного уранового продукта отличаются от российских. В первую очередь должна быть произведена так называемая гомогенизация гексафторида урана, которая производится в установках перелива. По сути, твердый гексафторид урана, находящийся в стальных контейнерах, должен быть подвергнут расплаву и перелит в контейнер заказчика для последующей поставки зарубежному покупателю. На ЭХЗ было решено строить собственные установки перелива. Первый поставщик обогащенного уранового сырья за рубеж — УЭХК — уже имел такие установки. Мы проанализировали опыт УЭХК, провели исследование рынка поставщиков оборудования. В итоге совместно с Четвертым главным управлением



Министерства атомной промышленности и институтом ВНИПИЭТ (г. Ленинград) в качестве поставщика установок перелива была выбрана французская фирма COGEMA, имеющая богатый опыт их производства. Тогда впервые работники нашего закрытого предприятия посетили французские площадки, а представители COGEMA побывали на ЭХЗ.

Непосредственно внедрением технологий и строительством установок перелива занимались на тот момент заместитель главного инженера по производству Станислав Михайлович Тащаев и вновь назначенный начальник участка перелива Сергей Иванович Белянцев, которых, к сожалению, сейчас с нами уже нет. В 1994 году первая установка перелива была успешно запущена. В шефмонтаже и строительстве на площадке ЭХЗ участвовали французские специалисты. Сотрудничество с фирмой COGEMA и в целом с французскими атомщиками продолжилось. Мы построили еще несколько установок. А опыт такого сотрудничества перерос в новый перспективный проект — создание установки по обезфториванию W-ЭХЗ. Хочу отметить: строительство установок перелива стало действительно значимым событием как для завода, так и для города.

### Переход на мирные рельсы

Производство оружейного урана на ЭХЗ было прекращено в 1987 году. Поскольку комбинат должен был

перейти на задачи обеспечения топливом АЭС, мы заранее стали готовить производство под обогащение  $^{235}\text{U}$  до 5%.

Предварительная подготовка велась несколько лет, и в 1987 году в химическом цехе (цех кондиционно-испарительных установок) ввели в эксплуатацию секции коллектора К-02, который и производит конденсацию урана, обогащенного до 5%. Кроме того, пришлось перестроить схему каскадов центрифуг, перестроить схему технологического контроля изотопного состава урана, оборудовать места для физического размещения масс-спектрометров и гамма-спектрометров, адаптировать существующие, разработать и аттестовать новые методики измерений для установления соответствия новой продукции требованиям технических условий, запустить и освоить новое аналитическое оборудование для измерений. С тех пор ЭХЗ успешно выполняет поставки  $^{235}\text{U}$  для производства топлива для АЭС.

Надо понимать, что газовые центрифуги лежат в основе технологии всех действующих разделительных заводов в мире. Но отечественная технология газодиффузионного производства все же отличается от зарубежных аналогов. В первую очередь нашим преимуществом является гибкая система универсальных каскадов, которые без значимых переделок



позволяют получать всю линейку обогащенного уранового продукта для реакторов всех типов — РБМК, ВВЭР, PWR, исследовательских реакторов и реакторов на быстрых нейтронах. Эту линейку обеспечивает целый набор отечественных ноу-хау, что позволяет нам, в том числе, успешно работать на спотовом рынке.

#### Исключительно чисто

Одно из ноу-хау, использующихся сейчас в производстве, — очистительные центрифуги. Чтобы синтезировать вещество (газ), которое будет направлено в газовую центрифугу, где произойдет разделение изотопов, нужно использовать различные химические соединения: фториды, метилы, этилы, бораты, карбонилы и многие другие. Химические соединения для каждого элемента специфичны по свойствам: у них разные температуры конденсации, кипения, терморазложения, разное коррозионное взаимодействие с конструкционными материалами оборудования разделительных каскадов.

Чтобы эффект разделения был максимальным, химически активное соединение, подающееся в центрифугу, необходимо очищать от примесей. Очистительная машина как раз и предусматривает очистку основного рабочего вещества от легких соединений. Также проводится и очистка товарной продукции. Без очистительных машин стабильное производство многих изотопов было бы просто невозможно.

#### Энергия на тысячи лет

Еще одно перспективное направление, над которым сейчас работают специалисты ЭХЗ, — работа по обезфториванию накопленных запасов гексафторида урана. В мире на сегодняшний день накоплено несколько миллионов тонн обедненного гексафторида урана. Он надежно упакован в стальные контейнеры, но надо понимать, что соединение гексафторида урана является коррозионно-активным. А значит, требующим дополнительного внимания и затрат на обеспечение безопасного хранения.

В свое время французская компания Aрева разработала референтную технологию по созданию установок обезфторивания гексафторида урана. В начале 2000-х годов руководство ЭХЗ задало целью включить предприятие в мировой цикл работ по переводу обедненного гексафторида урана в более безопасную форму хранения — в форму закиси-окиси, которая является естественным инертным веществом. В 2005 году был заключен контракт с компанией Aрева. К тому моменту апробированной промышленной технологии по переводу гексафторида урана в оксидное состояние в нашей стране не существовало. Имелся большой набор различных способов и методов, но референтной технологией владели именно французы.

Благодаря тесным связям, наработанным еще во время создания установок перелива, работа пошла быстро. Обезфторивание обеспечили реакторы

высокотемпературного пиролизного — установка W-ЭХЗ. В реактор подаются перегретый пар и водород, и в зонах реактора при температурах, достигающих 780 °С, из обедненного гексафторида урана образуется закись-окись урана. Ее остается упаковать в контейнеры и отправить на площадку для хранения. Обедненная закись-окись урана — это, безусловно, потенциальный источник топлива для следующего этапа развития атомной энергетики, в первую очередь для реакторов на быстрых нейтронах. Если оценивать сегодняшние объемы накопленного обедненного гексафторида урана, хранящегося на площадках по всему миру, это источник энергии на тысячи лет вперед. На сегодняшний день на ЭХЗ более 125 000 тонн обедненного гексафторида урана переведено в более безопасную форму хранения в виде закиси-окиси.

Помимо этого, фтор, который присутствует в гексафториде урана, тоже можно использовать. Опыт французов показал, что получаемые после обезфторивания гексафторида урана фтористоводородные продукты, прежде всего химически чистая концентрированная фтористоводородная кислота (уже не содержащая уран), являются востребованным товаром на рынке. Фтористоводородная кислота активно используется во всем мире при производстве фторопластов, электролитов, в металлургической промышленности. Разумеется, мы на ЭХЗ ведем непрерывный контроль как безопасности самого процесса, так и качества фтористоводородной кислоты. Сейчас мы начинаем второй проект по обезфториванию гексафторида урана, на сей раз с фирмой Oгапо. Проект находится в стадии реализации, и в ближайшие год-полтора мы эти установки запустим.

#### Центрифуги нового века

Нашим постоянным партнером в деле совершенствования технологий, в частности технологий ГЦ, является «Центротех-Инжиниринг» в г. Санкт-Петербурге. В 1990-е это было КБ, которое входило в состав ЭХЗ, что в то время было неплохим решением для финансирования и развития КБ, конкретизации заказов. Сейчас мы продолжаем тесное сотрудничество уже в рамках топливного дивизиона Росатома. Прежде всего, речь идет о разработке новых центрифуг для производства стабильных изотопов на базе современных урановых ГЦ поколения 9+. Второе направление сотрудничества — цифровой инжиниринг, работа в области создания цифровых двойников перспективного оборудования.

В наши дни развитие газодиффузионной технологии в первую очередь связано с созданием поколений новых машин, более эффективных, менее энергоемких, более надежных. В настоящий момент на ЭХЗ идет очередная модернизация с заменой газовых центрифуг поколения 5 на поколение 9+, сегодня производятся предпусковые работы, в 2022 году будет запущено пять очередей ГЦ 9+. Вместе с заменой газовых центрифуг проводится замена устаревшего вспомогательного оборудования: меняются схемы и оборудование электроснабжения, контроля автоматики и управления.

Наши газовые центрифуги работают десятки лет практически без остановки. Технологии работы вспомогательного оборудования за эти годы уходят далеко вперед. Сейчас разделительное производство не только в России, но и во всем мире относится к числу наиболее автоматизированных. Участие человека в процессе сведено к минимуму — обслуживание, поддержание рабочего состояния и, естественно, проведение технологических переключений при переходе на различные номиналы обогащения.

### Поколение ГЦ 9+ уже на этапе внедрения позволяет изменить систему управления разделительными каскадами. Можно сказать, что это шаг в сторону полной цифровизации производства обогащенного уранового продукта.

#### Дальше — «цифра»

Системы управления каскадами и вспомогательным оборудованием постоянно совершенствуются. При таком уровне автоматизации возможности для оптимизации как технологий, так и бизнес-процессов практически уже исчерпаны. Сейчас мы стоим на пороге перехода от автоматизированной к цифровой системе управления. Цифровая система подразумевает разработку алгоритмов управления производством, что открывает принципиально новые возможности. Современное производство, в том числе разделительное, — это работа с большими данными. Использование MES-систем управления производством и внедрение верхнего уровня ERP-систем позволяют найти те узкие места, которые человек, даже погруженный в производство на протяжении 50–60 лет, просто не видит. «Цифра» способна охватить все производство, до самого мелкого болта или гайки. ЭХЗ и сегодня работает с наилучшими показателями коэффициента использования установленной мощности в отрасли — 97%. Чтобы сделать следующий шаг, необходимо внедрять цифровые системы, полностью отказываясь от бумажных отчетов, сокращать время протекания процессов. Пришло время научиться использовать методы предиктивного анализа, оптимизировать работу вспомогательного оборудования.

В настоящее время вместе с АО «ТВЭЛ» и АО «Гринатом» мы ведем активную работу по созданию унифицированной цифровой платформы по управлению производством. Одна из задач этой системы, когда она заработает на всех предприятиях «ТВЭЛ», — показать, сколько стоит каждый передел в каждый отдельный промежуток времени. На более высоком уровне внедрения платформа позволит равномерно загрузить заказами предприятия топливного дивизиона, исходя из имеющихся мощностей и эффективности их работы.





Текст подготовила Наталья Самойлова  
Фото: АО «ТВЭЛ»

# «Переход АЭХК на газоцентрифужную технологию обогащения урана стал мощным и своевременным прорывом»



**Виктор Викторович Минько**

Заместитель генерального директора АЭХК по операционной деятельности — директор уранового производства

## Неразрывная связь

Я родился в городе Навои, республика Узбекистан. В 2001 году окончил Томский политехнический университет по специальности «физик». Во время учебы проходил практику на АЭХК в качестве аппаратчика, а в апреле 2001 года был принят на комбинат технологом-стажером. Прошел трудовой путь от технолога, заместителя начальника смены до начальника цеха разделения изотопов урана, в 2020 году назначен на должность заместителя генерального директора по операционной деятельности — директора уранового производства. Так что вся моя трудовая жизнь неразрывно связана с этим предприятием. Расскажу о его богатой и яркой истории.

## От рекорда к рекорду

В 1954 году было принято решение Совмина СССР о строительстве в Ангарске Иркутской области комбината атомной промышленности, и уже 21 октября 1957 года был произведен исторический пуск первой очереди корпуса № 1 диффузионного завода АЭХК: в работу были включены 308 диффузионных машин и начат отбор товарной продукции — обогащенного урана. Возведение в глухой сибирской тайге столь мощного и энергоемкого предприятия было продиктовано необходимостью сохранения ядерного паритета в условиях холодной войны. В то время кроме СССР подобные производства освоили только США.

Комбинат рос и развивался ударными темпами. На момент пуска на предприятии работали 1700 человек, каждый месяц к ним прибавлялись еще 130–140. В рекордные сроки — в течение 1957–1963 годов — были построены и сданы в эксплуатацию практически все основные промышленные объекты АЭХК.

В 1962 году был выведен на проектную мощность химический завод (сублиматное производство), который должен был обеспечить сырьем — гексафторидом урана — разделительное производство. Так комбинат обрел стабильность и независимость от поставщиков. Масштабы производства признаны рекордными: производительность фтораторов составляла до 100 тонн гексафторида урана в сутки. Это были мощнейшие установки в мире, напрямую фторирующие любое урансодержащее сырье и использующие для охлаждения воду.

Завод по обогащению урана был введен в эксплуатацию в проектном объеме (четыре корпуса) в 1963 году. 7000 газодиффузионных машин, в состав которых входили 14 000 мощных компрессоров, располагались в четырех километровых корпусах. АЭХК в те годы был самым мощным газодиффузионным производством в мире!

Комбинат был одним из самых энергоемких предприятий Советского Союза — электролизный завод АЭХК уже в 1962 году потреблял 14 млрд кВт·ч, что составляло 4% всей электроэнергии, вырабатываемой в СССР. Кроме энергетической базы производства — ТЭЦ-10, тогда одной из мощнейших в стране — энергию гиганту поставляли Иркутская и Братская ГЭС.

Запуск предприятия способствовал снятию международной напряженности и сохранению стабильности в мире. Когда пришло время, комбинат полностью перешел на производство мирного урана и ныне способствует решению важных задач научного и прикладного характера.

## Новая эпоха

Диффузионный завод выпускал низкообогащенный уран (до 6,5%) для нужд ядерной промышленности и проработал на полную мощность в течение 30 лет. В 1990 году на АЭХК состоялся пуск первых блоков газовых центрифуг по разделению изотопов урана. Ранее внедрение принципиально нового центробежного производства на комбинате сдерживалось расположением Ангарска в зоне повышенной сейсмичности. Создание газовых центрифуг с высокой сейсмической устойчивостью, а также большой комплекс исследовательских работ по обоснованию возможности применения этих центрифуг в условиях сейсмичности района позволили в начале 1980-х годов принять решение о поэтапной реконструкции диффузионного завода.

Переход АЭХК на газоцентрифужную технологию обогащения урана стал мощным и своевременным технологическим прорывом. В этом огромная заслуга Виктора Федоровича Новокшенова — первого директора предприятия с момента его основания. Виктор Федорович понимал со всей прозорливостью, что новый метод эффективен, экономичен и перспективен не только для экономики страны и региона, но и для будущего родного комбината. Тотальная модернизация промышленного гиганта стала дерзким вызовом не только для работников АЭХК, но и для всего научного, проектного и производственного комплекса Минсредмаша СССР. Многие технологические задачи пришлось решать впервые в отрасли, но несмотря на все сложности и проблемы, уникальная производственная задача была реализована в сжатые сроки и с превосходным результатом.



В результате замены на АЭХК газодиффузионной технологии разделения изотопов на центрифужную, помимо повышения производительности, существенно изменилась экологическая обстановка в регионе. Водопотребление комбината сократилось в десятки раз, а потребление электроэнергии упало на порядок — появилась возможность значительно снизить нагрузку ТЭЦ-10, уменьшить выбросы в окружающую среду. АЭХК сегодня является одним из самых экологически чистых предприятий Иркутской области.

## Этапы большого пути

В 1982 году Ефим Павлович Славский, министр среднего машиностроения СССР, утвердил задание на проектирование реконструкции газодиффузионного завода и перевода АЭХК на газоцентрифужный метод обогащения урана. Реализация проекта реконструкции началась в следующем году с остановки и демонтажа части диффузионного оборудования корпуса № 1 (последние блоки были остановлены в 1987 году, год спустя оборудование в первом корпусе было демонтировано, полностью диффузионное оборудование в трех других корпусах было остановлено в 1992 году).

Для подготовки и обучения персонала эксплуатации центрифуг в 1983 году был построен и включен в эксплуатацию опытный стенд С-400, а также инженерно-сейсмометрическая станция.

В 1984 году в корпусе № 801 начались строительные работы по сооружению центрифужного каскада. В соответствии с проектом было построено здание ЦДП, холодильная станция с инженерными





коммуникациями, рассчитанными на эксплуатацию каскада газовых центрифуг в объеме 54 блоков.

10 декабря 1990 года было подано напряжение на технологическую секцию №25, начался разгон газовых центрифуг блоков №24 и 25. После проведения комплекса регламентных работ блоки №24 и 25 были выведены на номинальный технологический режим и включены в общую технологическую схему завода совместно с диффузионным оборудованием. На АЭХК наступила эпоха центрифужной технологии.

В результате смены технологии существенно повысилась производительность предприятия, при этом центрифужный метод обогащения сделал конечную продукцию предприятия дешевле. Конечно, в 1990 году, при все еще плановом хозяйстве, это не было определяющим параметром. Но в период смены экономического строя именно центрифужная технология смогла помочь АЭХК сделать свою продукцию конкурентоспособной по цене и выйти на мировые рынки.

До 1995 года были введены в эксплуатацию еще 10 блоков, затем в 2000–2001 годах — ввели три блока газовых центрифуг шестого поколения. Далее наращивание разделительных мощностей было реализовано через строительство неперестраиваемых каскадных установок. («Традиционный» разделительный каскад состоит из технологических блоков, из которых формируются разделительные ступени. Количество ступеней в каскаде может меняться в зависимости от режима работы. Неперестраиваемый каскад состоит из последовательно соединенных технологических ступеней, число которых постоянно). В 2004–2005 годах на АЭХК был введен в эксплуатацию неперестраиваемый каскад №1 с ГЦ шестого поколения. В 2009–2011 годах — неперестраиваемый каскад №2, он укомплектован ГЦ восьмого поколения без оптимизации площадей предприятия.

## Триллионы безотказных оборотов

Официальный ресурс российских ГЦ шестого поколения — 30 лет без остановки и ремонтов при числе возможных отказов менее 0,1% в год. Это ресурс машины, ротор которой вращается со скоростью более 1500 оборотов в секунду! За ресурсное время ротор каждой центрифуги успевает совершить около двух триллионов оборотов под нагрузкой.

Комплекс оборудования разделительного производства состоял из разделительного каскада, конденсационно-испарительной установки, станции производства жидкого азота, компрессорной станции, системы промышленного водоснабжения. Разделительный каскад размещался в четырех производственных корпусах.

### На новые рынки

1990-е годы для комбината, как и для многих предприятий страны, были не самым лучшим временем. Снижение потребности в сырьевом гексафториде урана на внутреннем рынке, выведение из эксплуатации газодиффузионного оборудования и, как следствие, резкое сокращение разделительных мощностей способствовали замедлению темпов модернизации уранового производства. В этот нелегкий для АЭХК период его руководство определило одним из стратегических направлений дальнейшего развития предприятия строительство участка по переливу жидкого гексафторида урана. Наличие такого участка обеспечило бы комбинату возможность выхода не только на внутренний, но и на международный рынок поставок и услуг по обогащению урановой продукции. Участок решено было назвать «Челнок».

В сентябре 1992 года руководством предприятия было утверждено решение о создании на АЭХК участка по переливу жидкого гексафторида урана (ГФУ), а уже в 1993 году был заключен контракт на изготовление и поставку оборудования для участка «Челнок-А» с предприятием из Финляндии. «Челнок» был задуман самостоятельным производственным подразделением, легко вписывающимся в любой цех или трансформирующимся в отдельную структурную единицу комбината. Закладывалась высокая степень автономии участка, что позволяло оперативно решать производственные проблемы.

1 февраля 1995 года был выполнен первый перелив ГФУ, с 24 апреля 1995 года участок приступил к выпуску продукции по утвержденному графику. В мае 1997 года на участке были введены еще две установки по переливу жидкого ГФУ. Они обеспечили возможность перетаривания продукции в контейнеры

международного образца и осуществление пробного отбора в соответствии с требованиями международных стандартов.

С целью оптимизации производственной деятельности в 2010 году было произведено объединение структур технологического участка конденсационно-испарительных установок (КИУ) и участка по переливу жидкого ГФУ. В 2011 году руководством Топливной компании «ТВЭЛ» было принято решение о переориентации АО «АЭХК» для поставок ГФУ на внутренний рынок, и с 2011 года оборудование установок по переливу ГФУ законсервировано.

### Под контролем МАГАТЭ

В наше время важность инициатив, связанных с гарантированными и недискриминационными поставками ядерного топлива, нераспространением ядерного оружия и технологий двойного назначения, существенно возрастает во всем мире. Россия стала первой страной, которая воплотила в жизнь свое предложение о создании сети международных центров по предоставлению услуг ядерного топливного цикла, включая обогащение, под контролем МАГАТЭ. Первым таким центром стал Международный центр по обогащению урана (МЦОУ) в Ангарске, созданный во исполнение Соглашения между правительством Российской Федерации и правительством Республики Казахстан от 10 мая 2007 года. Центр открыт для участия других государств, которые выполняют обязательства в рамках Договора о нераспространении ядерного оружия и разделяют цели и задачи МЦОУ.

Основной задачей центра является обеспечение гарантированных поставок услуг по обогащению урана своим акционерам за счет гарантированного доступа к разделительным и сублиматным мощностям всех российских предприятий. Кроме того, развитие инициативы нашло свое отражение в создании при МЦОУ банка топлива — запаса низкообогащенного урана для гарантированного обеспечения поставок в другие страны по запросу МАГАТЭ.

### В особом режиме

В чем заключается технология обогащения газодиффузионным методом? Гексафторид урана в газообразной форме подается внутрь вращающегося ротора центрифуги. При огромной скорости вращения ротора, достигающей нескольких десятков тысяч оборотов в минуту, внутри вращающегося ротора устанавливается определенное распределение газа по массе. Кроме того, внутри ротора имеет место циркуляция газа, дополнительно способствующая разделению газа на легкую и тяжелую фракции, которые и отводятся из центрифуги по отдельным трубкам. Легкая фракция, по сравнению с исходным сырьем, содержит больше легкого изотопа <sup>235</sup>U и меньше тяжелого изотопа <sup>238</sup>U, а тяжелая фракция — наоборот. Эффект разделения на одной центрифуге не слишком высок, поэтому центрифуги объединяются в многоступенчатые каскады для достижения необходимого уровня обогащения.

## Уникальный «Челнок»

В процессе создания участка «Челнок» были впервые применены многие принципиально новые для отрасли и комбината решения: компоновка оборудования с многоступенчатой схемой защиты персонала и окружающей среды, новая схема очистки вентиляционных газов, улучшенная система охлаждения и уплотнения автоклавов. Всего с 1991 по 1997 год на участке было реализовано 290 уникальных технических решений.

Итогом работы разделительного каскада, который подается сырье — гексафторид урана природного изотопного состава, — является обогащенный гексафторид урана (UF<sub>6</sub>), в котором содержание <sup>235</sup>U больше, чем в природном уране, и обедненный UF<sub>6</sub>, в котором 235-го изотопа меньше, чем в природном уране. Важно понимать, что газодиффузионная технология позволяет эффективно использовать в качестве сырья не только UF<sub>6</sub> природного изотопного состава, но и материал с меньшим содержанием <sup>235</sup>U, например обедненный UF<sub>6</sub>, оставшийся с прошлых лет.

С 1 декабря 2014 года разделительное производство АЭХК перешло на работу в режиме «шахты»: продукция вырабатывается из старых «богатых» отвалов, которые являются ценным стратегическим сырьем. Уровень развития современных технологий обогащения урана в России позволяет дополнительно извлекать из обедненного гексафторида урана (ОГФУ) такое количество <sup>235</sup>U, которое делает экономически оправданным повторное использование ОГФУ, оставшегося с прошлых лет наработки обогащенного урана. ОГФУ — это сырье, которое позволяет существенно экономить природную базу урана. Готовую продукцию АЭХК отправляет на родственные предприятия для дальнейшего дообогащения. Благодаря работе в таком режиме себестоимость единицы разделения на АЭХК одна из самых низких в отрасли.

Так называемые конечные отвалы в полном объеме направляются в АО «ПО «ЭХЗ», где работает установка W-ЭХЗ по реконверсии (обесфториванию) ОГФУ. «Вторичный» (дважды обедненный) ОГФУ, уже не пригодный для дальнейшего обогащения, также является ценным сырьем. Ключ к его дальнейшему использованию — технологии обесфторивания. Фторсодержащие продукты, получаемые в результате обесфторивания ОГФУ, — плавиковая (фтористоводородная) кислота и безводный фтористый водород — реализуются на рынке как отдельная сертифицированная продукция химического производства, а также повторно вовлекаются в ядерный топливный цикл на стадии конверсии урана.

Также на разделительных каскадах АЭХК сохраняется возможность выработки ГФУ с обогащением менее 5% для нужд российской атомной энергетики.



Текст подготовила Ольга Ганжур  
Фото: «Страна Росатом»

## «В газоцентрифужной тематике еще много задач для ученых»



### Иван Владимирович Тронин

Доцент Института нанотехнологий в электронике, спинтронике и фотонике (ИНТЭЛ) НИЯУ МИФИ, исполняющий обязанности заведующего кафедрой молекулярной физики

#### Задавая вектор

Кафедра молекулярной физики МИФИ была основана в 1950-е годы по инициативе Игоря Васильевича Курчатова и Исаака Константиновича Кикоина. Последний, как вы знаете, был научным руководителем работ по разделению изотопов урана в атомном проекте. Первым заведующим кафедрой был Михаил Дмитриевич Миллионщиков — один из разработчиков конструкции газовой центрифуги. И, конечно же, кафедра в первую очередь была нацелена на изучение изотопов и технологий их применения. Так что специалисты МИФИ с самого начала были вовлечены в разработку газоцентрифужной технологии.

С тех пор, конечно, много воды утекло. Кафедра трансформировалась. Сейчас у нас три основных направления. По-прежнему занимаемся разделением изотопов, и здесь мы в числе мировых лидеров. Прорыв в сфере

информационных технологий дал дополнительные возможности разработчикам новых поколений газовых центрифуг. Часть дорогих экспериментов мы смогли заменить компьютерным моделированием. МИФИ с нуля создал методики и программное обеспечение для расчета газодинамических процессов внутри газовой центрифуги. До сих пор в газоцентрифужной тематике много научных вопросов, несмотря на то что технологии уже почти 70 лет. Конструкторы предлагают различные варианты усовершенствования оборудования, а мы, ученые, рассчитываем, как они повлияют на эффективность центрифуги. Тем самым мы определяем направление совершенствования техники и технологии. Задаем вектор.

Помимо разделения изотопов, кафедра занимается масс-спектрометрией. Не без гордости скажу, что и в этом направлении мы создали собственную сильную научную школу. Третье направление — нанодисперсные системы. Наши ученые участвуют в создании «умных» композитных материалов.

#### Изотопный ликбез

Что такое изотопы? Есть у вас, допустим, два атома. Один является изотопом другого. Это значит, что химически они одинаковы, а массы у них разные. Потому что в ядрах количество нейтронов разное. За счет этой разницы дочерний изотоп может очень сильно отличаться от родительского по свойствам.

Возьмем для примера  $^{10}\text{B}$  и  $^{11}\text{B}$  — изотопы одного и того же химического элемента (бора). 10-го изотопа в природе в четыре раза меньше, чем 11-го. Но только 10-й изотоп хорошо поглощает нейтроны, поэтому именно он широко используется в атомной энергетике для регулирования интенсивности цепной реакции. Перейдем теперь к урану. В природной урановой руде содержится лишь 0,7%  $^{235}\text{U}$ , нужного для работы реакторов на тепловых нейтронах. Следовательно, природный уран надо разделить, иначе говоря, обогатить до нужной концентрации 235-го изотопа.

Методов разделения изотопов великое множество: лазерный, центрифужный, масс-спектрометрический, циклотронный, испарительный и др. Одни хороши для одних изотопов, другие — для других. Уран — очень тяжелый элемент. Для таких лучше всего подходят центрифужные методы разделения. Можно использовать и другие методы, но это будет либо слишком энергозатратно, либо малоэффективно и, как следствие, дорого.

#### Пока без конкуренции

Сегодня альтернативы газоцентрифужному методу разделения изотопов урана нет. В будущем конкуренцию ему может составить лазерный. Его развивают

уже много лет, но пока никто не придумал, как сделать лазерное разделение таким же экономически выгодным, как центрифужное. Пока оно в десятки раз дороже. Наука на месте не стоит, я не исключаю, что ученые придумают некий специфический лазер, который сможет долго работать на определенной длине волны, возбуждая атомы только 235-го изотопа урана. Отдельный вопрос — как эти атомы отделить от остальных. На него пока нет однозначного эффективного ответа.

Есть еще спектрометрический метод, с помощью которого первые граммы обогащенного урана были получены и в СССР, и в США. Но он еще дороже, чем лазерный, и как его удешевить, пока не придумали. Для массового производства он, конечно, не годится.

Так что альтернативными методами разделения изотопов урана мы в МИФИ занимаемся постольку-поскольку. Основные усилия направлены на усовершенствование газовых центрифуг и разработку новых конструкций, которые позволят обогащать уран еще дешевле, еще эффективнее.

#### Перспективы разделения

МИФИ регулярно участвует в международных научных форумах по разделению изотопов. Один из самых крупных — международная конференция SPLG (Separation Phenomena in Liquids and Gases) по проблемам физики процессов разделения. Но газовая центрифуга для разделения изотопов урана — изделие абсолютно закрытое: и в Росатоме, и в европейском концерне Urenco, и у других разработчиков. Например, специалисты из Urenco последний раз делали доклад на конференции SPLG в 1991 году. Развитие центрифужной технологии на этом форуме вообще обсуждается в абстрактном ключе, никакие конкретные цифры или решения в докладах по этой тематике не приводятся.

Но газовыми центрифугами можно делить не только изотопы урана. Сейчас и на Западе, и у нас в России идет разработка центрифужной технологии разделения легких изотопов. Она очень востребована в медицине. Ученые по всему миру думают и над тем, в каких еще областях можно применить разделительные центрифуги. Ускорения в миллион раз не так просто добиться в лаборатории, а в центрифуге оно достижимо. Может быть, в центрифуге можно получать новые материалы с уникальными свойствами? Идей в этой области много.

#### Кадры для новых поколений

Студенты, которые учатся на кафедре молекулярной физики МИФИ, изучают, помимо прочего, и газоцентрифужную тематику. Так что мы готовим специалистов, которые в состоянии разрабатывать новые поколения газовых центрифуг. Новоуральский филиал МИФИ готовит инженерно-технический персонал для разделительных производств.

На московской площадке мы знакомим студентов с газоцентрифужной технологией на третьем курсе.

Еще в 1940-е годы великий Поль Дирак определил, что производительность газовой центрифуги пропорциональна четвертой степени скорости вращения ротора и пропорциональна длине ротора. Это хрестоматийная формула Дирака. Но когда ученый разрабатывал свою теорию, центрифуги вращались гораздо медленнее, чем сейчас. Со временем формулу Дирака уточнили: производительность ГЦ пропорциональна квадрату скорости. Мы до сих пор точно не знаем предела эффективности ГЦ. Однако МИФИ выполнил ряд теоретических работ с целью определения предела.

На четвертом — в каждом семестре есть пара курсов по разделению изотопов. Но уже с первого курса мы начинаем рассказывать об уникальных возможностях газовой центрифуги. Когда говоришь вчерашнему школьнику о небольшом устройстве, у которого скорость вращения в 10 раз выше, чем у колесной болота «Формулы-1», это производит сильное впечатление. Студенты начинают понимать, что это невероятно сложное, высокотехнологичное устройство, что в газоцентрифужной технологии есть множество интересных нерешенных задач для ученого.

Ведь центрифуга — это черный ящик, в котором течет газ, а как течет — никто не видел. Только современные компьютерные технологии позволяют нам понять, что происходит внутри этого аппарата. Рассказываешь студентам о моделировании газодинамических процессов, объясняешь, что в этой области много интересных задач (и методических, и инженерно-технических), — и у многих ребят загораются глаза. К сожалению, студенты из Москвы не слишком охотно едут работать в конструкторские бюро по газовым центрифугам Санкт-Петербурга и Новоуральска. Но это уже задача работодателя — мотивировать молодых специалистов.

Регулярно на нашей кафедре студенты готовят дипломные работы по центрифужной технологии. Причем дипломы наших выпускников всегда содержат некую научную новизну, являются шагом вперед в мировой науке. Есть и диссертации по этой тематике. Надеюсь, через пару лет мой аспирант будет защищать по центрифугам кандидатскую диссертацию, сам я готовлюсь к защите докторской. Так что новых идей много, только рук на разработку всех идей не хватает.

Поэтому я призываю молодежь: приходите в науку, приходите заниматься газовыми центрифугами. В этой области есть над чем подумать. Если действующие специалисты хотят повысить квалификацию, узнав подробнее о центрифужной технологии разделения изотопов, — милости просим, у нас есть магистратура на кафедре. Учиться в МИФИ, правда, тяжело, но тут уж ничего не поделаешь. Мы стараемся учить хорошо.



Текст: Ирина Дорохова  
Фото: Photogenica, НВАЭС



## REPEATиция рынка

Новый цифровой продукт Росатома представлен клиентам

Компания «ИТЦ «ДЖЭТ», специализирующаяся на создании полномасштабных тренажеров для электростанций (прежде всего, атомных), вышла в новый для себя сегмент инженерного софта. В сентябре

2022 года компания официально представила REPEAT — программный комплекс для создания инженерных моделей. То, что раньше было инструментом производства, стало рыночным продуктом.

## Цитата



**Алексей Ковалевич**  
Управляющий директор  
ИТЦ «ДЖЭТ»:

“  
Мы провели маркетинговые исследования и поняли, что идея вывода на рынок ПО для моделирования вполне реализуема, особенно в тренде импортозамещения  
”

Решение о том, что на рынок будет выводиться ПО для создания инженерных моделей, было принято полтора года назад. Причина простая и понятная: компания должна развиваться, наращивать выручку, а значит, предлагать рынку новые продукты. «ДЖЭТ» более 30 лет разрабатывает программную среду для математического моделирования процессов, идущих в различных режимах работы электростанций. Поэтому неудивительно, что инструмент, который использовался для собственных задач, стал основой для работы над новым продуктом для моделирования процессов в теплогидравлике, электрике, автоматике и для создания цифровых двойников объектов. Для создания коммерческого продукта и вывода его на рынок компания уже инвестировала большое количество ресурсов и будет далее инвестировать их в развитие новых библиотек и возможностей.

### Что есть в REPEAT

REPEAT расшифровывается как REal-time Platform for Engineering Automated Technologies. У REPEAT две версии. Первая — классическое десктопное приложение, сложное, тяжелое, с расчетным ядром. Приложение работает как на Linux, так и на Windows. Дополнительную тяжесть этой версии придает «багаж» модулей и библиотек, связанный с построением полномасштабного тренажера. Вторая версия — web-приложение, работающее в облаке. Клиент может использовать облачную версию, либо, если отраслевые ограничения по информационной безопасности такую возможность исключают, можно развернуть облачную версию в закрытом контуре заказчика.

Основу REPEAT составляет расчетное ядро. В него входят три основных библиотеки для генерации расчетного кода. Первая — кодогенератор CMS (Compressible Media Solver, используется для задач численного моделирования динамики теплогидравлических процессов). В нем можно моделировать работу любого теплоэнергетического оборудования, такого как ядерный реактор, паровой котел, газовая турбина и т. д. Вторая библиотека — кодогенератор ELECTROCITY. Он позволяет решать задачи установившегося режима в энергосистеме и рассчитывать динамическую устойчивость и электромеханические переходные процессы в системах электроснабжения для собственных нужд станций, моделировать процессы в подстанциях и т. д. Третья библиотека — кодогенератор AUTO. Это общетехническая библиотека блоков. Блок — это визуализированный компонент схемы (например, насос или задвижка, обозначенные значком), которая позволяет создавать различные модели систем регулирования, пропорционально-интегрально-дифференцирующие регуляторы и объекты управления. Модуль также позволяет создавать из простых блоков более сложные. Библиотека блоков постоянно расширяется.

Математическое ядро связано с большой проектной базой данных. В нее можно занести информационную модель объекта — электростанции, подстанции или нефтеперерабатывающего завода. «Вводятся

единицы оборудования, задаются его характеристики. Количество не ограничено — в модель атомной станции, например, входит порядка 1,5 тыс. насосов, 5 тыс. задвижек, запорной, регулирующей арматуры, десятки тысяч датчиков», — объясняет технический директор «ДЖЭТ» Сергей Букреев.

В десктопной версии присутствуют конвертеры и редакторы, которые упрощают разработку модели. Например, АСПИРИТ автоматически переводит в расчетные схемы REPEAT исходные данные из системы SmartPlant Foundation. Это популярная на рынке CAD-система (CAD — computer-aided design), которая используется для проектирования.

REPEAT оснащен виртуальными панелями. «Это специальный инструмент для создания копий, которые выводятся дальше на монитор либо на сенсорный экран, чтобы оператор мог ими управлять, не используя физические панели», — комментирует Сергей Букреев.

Поскольку ни один цифровой двойник не может обойтись без человеко-машинного интерфейса, в состав REPEAT входит и редактор графических интерфейсов. Облачная версия имеет дополнительные сервисы, которые обеспечивают защиту информации, биллинг для оплаты подписки, управление учетными записями и балансировку нагрузки.

В облачной версии все тяжелые вычисления выполняются на сервере, что снижает требования к рабочей станции. По сути, достаточно web-браузера и доступа в интернет.

Все компоненты десктоп-версии REPEAT включены в реестр отечественного ПО. Одно из ключевых преимуществ для клиентов — реализуемый в ИТЦ «ДЖЭТ» подпроект по комплексной технической поддержке.



Модель в REPEAT можно создавать с различной степенью детализации узлов, включая в нее различные теплообменники, баки, датчики, задавая им напорные характеристики, КПД, местные сопротивления, коэффициенты теплопроводности, теплопередачи и проч. Различные модели, например автоматика, теплогидравлики и электроснабжения, можно объединять в цифровой двойник через единое окно данных.

Моделирование идет в 1D-формате: модель — это не план и не трехмерная визуализация, а схема. Схематичность дает скорость: система не перегружена расчетами, поэтому в модели процессы идут с той же скоростью, что и в реальности. Благодаря этому можно получать ответы на вопросы, какой будет температура активной зоны при аварии со скоростью потери теплоносителя X литров в минуту или через какое время задвижка A перестанет выдерживать напор воды под давлением У. «Мы моделируем самые различные процессы, в том числе аварийные. Даже такое: запроектная авария на атомной станции у нас происходит в реальном времени, топливо плавится, выходит водород. Желаящим можем показать», — подтверждает управляющий директор ИТЦ «ДЖЭТ» Алексей Ковалевич.

REPEAT можно интегрировать с другими программными комплексами класса CAE, например с «Логосом» или сторонними системами для разработки и проектирования. «Мы видим очень выгодный симбиоз этого продукта с REPEAT. На нашем софте можно выполнить так называемое 1D-моделирование, а на «Логосе» — 2D/3D, что выводит нас в новую область — мультифизическое моделирование», — поясняет Алексей Ковалевич.

### Место на рынке

Коммерческая и функциональная задача REPEAT в России — заменить в ближайшей перспективе зарубежный софт, такой как MATLAB, Simulink. «Мы провели маркетинговые исследования и поняли, что идея вывода на рынок ПО для моделирования вполне реализуема, особенно в тренде импортозамещения», — говорит Алексей Ковалевич.

Сегодня REPEAT уже может использоваться проектировщиками объектов энергетики в широком смысле слова, а также объектов, связанных с транспортировкой жидкостей или газов. В ближайшее время функциональные области будут расширяться за счет появления новых библиотек.

Продукт будет полезен студентам и аспирантам. Для развития будущих разработчиков «ДЖЭТ» открыл две школы моделирования — в Казанском государственном энергетическом университете и в Томском политехническом университете. Школа моделирования — это класс с 10–15 компьютерами с REPEAT и преподавателями, которые прошли обучение в компании. Они, в свою очередь, будут учить студентов, чтобы те после выпуска могли применять платформу в своей работе.

## REPEAT: десктоп-версия

### Среда собственной разработки

Среда для разработки:  
— САПР САПФИР — ядро системы  
— универсальная система USDS

Генераторы математического кода:  
— код CMS  
— код ELECTROCITY  
— код AUTO  
— база PDS

Конвертеры и редакторы:  
— среда АСПИРИТ  
— виртуальные панели  
— конвертер ГЕНТА-М  
— редактор графических интерфейсов

## REPEAT: облачная версия

### Ключевые элементы платформы

— облачный сервис со средствами интегрированной среды разработки  
— полнофункциональный доступ через web-браузер  
— встроенная библиотека параллельных вычислений  
— интеграция данных и моделей  
— многовариантные расчеты  
— ядра реального времени, системы контроля версий, коллективная работа над моделью, теплогидравлический код, аттестованный Ростехнадзором

Цена на REPEAT складывается из программной и аппаратной частей. Программная — стабильная, это само программное обеспечение. Цена аппаратной будет зависеть от того, есть ли готовые серверы, и если нет, то будет их покупать заказчик или поставщик или же заказчику комфортнее купить место в облаке.

Участники рынка заинтересовались REPEAT после его сентябрьского релиза, хотя, как признал Алексей Ковалевич, работа по выводу на рынок, разъяснения всем участникам рынка возможностей продукта и его применения и дальнейшее приобретение продукта — задача очень сложная.

Дело в том, что после ухода из России зарубежных компаний, поставлявших инженерный софт, продвигать местное ПО, как ни парадоксально, стало сложнее. Раньше российские пользователи платили дополнительные деньги за техподдержку

и обновления. Теперь этого делать не нужно, а существующие версии зарубежного ПО, по-видимому, еще вполне удовлетворительны, поэтому преимущества в цене уже нет, а против перехода на новое ПО даже сопоставимого качества играет привычка. «Пользователь сидел 10–15 лет на MATLAB, и задача доказать, что мы можем не хуже, а лучше, не решается простой пиар-кампанией!» — комментирует Алексей Ковалевич.

Конкурентным преимуществом, кроме сравнительно невысокой цены, глава «ДЖЭТ» считает наличие облачной версии. И, конечно, в компании продолжают расширять функционал.

### Возможности следующих версий

В ближайшем будущем компания планирует подключить к облачной версии модули по выполнению расчетов по теплогидравлике и АСУ ТП — пока они есть только в десктопной версии. Также в облачной версии вскоре появится система контроля версий, возможность вести коллективную работу над моделью и выполнять многовариантные расчеты. Опция полезна для внесения правок в модель. В «ДЖЭТ» планируют, что до конца этого года облачная версия по функционалу будет полностью аналогична десктопной.

Функционал будет расширяться и за счет новых сфер проведения расчетов. Причем выбирать их в компании планируют так, чтобы время от разработки до применения клиентом было минимальным.

Одним из перспективных направлений в «ДЖЭТ» считают силовую электронику — электронные компоненты, которые управляют электродвигателями. «Если мы говорим про бытовую технику, то в ней напряжения — несколько вольт. А в промышленной технике показатели на несколько порядков выше: киловольты, килоамперы. Поэтому мы хотим пойти в сегмент силовой электроники. Платформа для создания моделей нужна электротехническим проектным институтам и производителям преобразователей частоты, производителям электроприводов, у которых есть отделы по проектированию», — отмечает Сергей Букреев.

«Мы можем предложить параллельное моделирование теплогидравлики и электротехники, чтобы разработчики сразу могли обкатать все вместе на единой расчетной платформе, посмотреть, правильно ли работает оборудование, например какой-то насос или более сложные технологические системы», — развешивает тему Алексей Ковалевич.

Еще один проект на будущее — REPEAT Place. Это электронная площадка по продаже библиотек и наработок разных авторов, которые готовы будут присоединиться к развитию своих идей на нашей платформе. Это могут быть поставщики уже готовых моделей, например газовых турбин, выполненных с помощью REPEAT. Заказчики там же смогут размещать заявки на разработку библиотек или готовых моделей.

**АО «Инженерно-технический центр «ДЖЭТ»** — высокотехнологичная компания, которая более 30 лет занимается разработкой, внедрением и сопровождением технических средств обучения (полномасштабные, аналитические и локальные тренажеры) для оперативного персонала российских и зарубежных атомных электростанций (АЭС), учебно-тренировочных центров (УТЦ) и других объектов энергетики.

Основным видом деятельности, осуществляемой компанией в области информационных технологий, является разработка компьютерного программного обеспечения, а также выполнение комплексных работ в сфере компьютерных технологий.

С 2020 года АО «ИТЦ «ДЖЭТ» является 100% дочерним предприятием АО «Русатом Сервис».

В сферу деятельности компании входит математическое моделирование технологических систем и систем управления атомных энергоблоков с целью их анализа, оптимизации и использования для изготовления тренажеров АЭС, создание системы автоматизированного проектирования (САПР) для разработки атомных энергоблоков и их составных элементов, тестирование технологических алгоритмов проектируемых энергоблоков, исследование человеко-машинного интерфейса, разработка систем поддержки оперативного персонала АЭС в нештатных ситуациях.

**100+**

экспертов в области моделирования

**10%**

от прибыли — инвестиции в R&D

**15**

стран присутствия

**>150**

реализованных проектов в 10 странах





Текст: Ольга Ганжур  
Фото: «Страна Росатом»

Лаборатория детекторов  
излучений СНИИП



## Приборная панель атомной энергетики

На конференции в СНИИП эксперты обсудили перспективы развития ядерного приборостроения

**Без каких систем контроля не может развиваться атомная отрасль? Готова ли отечественная промышленность заменить импортные комплектующие для радиометров, дозиметров и спектрометров? Чем помогут разработчикам ядерных приборов и систем цифровые технологии? Эти и другие актуальные вопросы отраслевого приборостроения обсудили на научно-технической конференции в СНИИП.**

Конференция «Ядерное приборостроение: история, современность, перспективы» прошла 25–27 октября. Она была посвящена 70-летию юбилею Специализированного научно-исследовательского института приборостроения (СНИИП) — одного из главных центров отраслевого приборостроения.

«В конце 1990-х годов приборостроение в нашей стране столкнулось с серьезным кризисом, это коснулось и ядерного приборостроения, — отметил Александр Карцев, генеральный директор СНИИП. — Кризис

был обусловлен отсутствием массовой потребности в нашей продукции: новые атомные станции не строились, не было заказов. В начале 2010-х годов случился атомный ренессанс в стране и за рубежом, и сегодня мы снова востребованы».

### Системный ликбез

Основы ядерного приборостроения гостям конференции напомнил первый заместитель генерального директора по научной работе — главный конструктор СНИИП Сергей Чебышов. На атомных объектах надо постоянно измерять и анализировать множество параметров: фотонное и нейтронное излучение, загрязнение поверхностей, объемную активность аэрозолей, йода-131, инертных радиоактивных газов, трития, радиоактивных жидкостей, радона.

Что разрабатывают приборостроители для атомной отрасли? База любого устройства — детекторы ионизирующего излучения. «Они группируются в четыре крупных класса: газоразрядные детекторы и ионизационные камеры, сцинтилляционные детекторы, детекторы для индивидуальной дозиметрии и полупроводниковые детекторы, — объяснил ученый. — На основе детекторов создаются приборы: радиометры, дозиметры, спектрометры. А из приборов собирают системы: контроля и управления реакторными установками, технологического контроля и радиационного контроля». Также докладчик рассказал, какие основные системы приборостроители-ядерщики поставляют на атомные объекты: «По направлению систем контроля в нашей области ответственности в настоящее время находятся: системы контроля, управления и диагностики (СКУД), системы группового и индивидуального управления реакторной установкой (СУЗ СГИУ) и аппаратные комплексы диверсионной системы защиты (ДСЗ)».

Сергей Чебышов отметил, что специалисты СНИИП, центра диагностики «Диапром» и Курчатовского института работают в тесном контакте при создании СКУД, играющей существенную роль в обеспечении безопасной эксплуатации реакторной установки. «Сейчас в работе СКУД для сооружаемых блоков АЭС «Руппур», до конца года мы должны отгрузить оборудование, — сообщил главный конструктор СНИИП. — Также для АЭС «Руппур» в этом году мы поставляем СУЗ СГИУ, это весьма ответственная система, без которой работа ядерного реактора немислима. В рамках исполнения проекта для АЭС «Аккую» работаем над созданием ДСЗ».

К числу основных систем, над которыми работает СНИИП в настоящее время, можно отнести следующие.

**СУЗ СГИУ (система управления и защиты — система группового и индивидуального управления).** Предназначена для управления реактором при его пуске, работе на мощности, плановой или аварийной остановке путем изменения положения твердых поглотителей в активной зоне.

**АСРК (автоматизированная система радиационного контроля).** С точки зрения своего

### Модернизация СУЗ быстрых физических стенов в Физико-энергетическом институте специалистами СНИИП

**Было:** Стенды БФС-1 и БФС-2 — уникальная экспериментальная база для исследования физики быстрых реакторов, которой пользуется весь мир. На момент принятия решения о модернизации оборудование системы управления и защиты стенов проработало уже более 50 лет. Технические средства системы были распределены по нескольким помещениям, что затрудняло диагностику неисправностей. Регистрация рабочих параметров велась только на самописцы с бумажными барабанами. Срабатывание аварийных и предупредительных порогов было реализовано через встроенные в самописцы переключатели, значения срабатывания которых устанавливались вручную.

**Стало:** Все оборудование СУЗ компактно разместили в одном помещении. При модернизации СУЗ от СНИИП требовалось обеспечить «бесшовную модернизацию», чтобы специалисты БФС смогли быстро освоить новое оборудование, поэтому в системе сохранили бумажные самописцы, но сделали их компактными. Параллельно регистрация теперь ведется на электронные носители. Систему оснастили логическим контроллером для управления всеми процессами и выдачи предупредительных сигналов. Новый пульт управления системой максимально унифицировали с прежним, но шкальные приборы заменили ЖК-мониторами. Также при модернизации увеличили чувствительность каналов СУЗ.

функционального назначения это уникальная система, которая вводится в эксплуатацию (в проектном объеме) к моменту завоза ядерного топлива, т. е. когда реактор еще не пущен, и продолжает работать после вывода реактора из эксплуатации. Главная задача АСРК — контроль за целостностью защитных барьеров (к ним относятся тепловыделяющий элемент, топливная сборка, прочный корпус реактора, герметичность оборудования реакторного отделения и т. д.) на пути распространения радиационных факторов. «За последние три года мы существенно обновили парк приборов АСРК, особенно нижнего уровня», — подчеркнул Сергей Чебышов.

**АСКРО (оборудование автоматизированной системы контроля радиационной обстановки).** Посты контроля устанавливаются вокруг станции, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения. Посты контроля прежде всего отслеживают уровень радиационного фона и передают по радиоканалу информацию в станционный пульт верхнего уровня



АСКРО, а также в «Росэнергоатом». Сегодня сама концепция АСКРО переживает трансформацию. «Некоторое время назад было принято решение, что все оборудование АСКРО должно перейти из группы оборудования четвертого класса безопасности в группу третьего, — рассказал главный конструктор СНИИП. — Стоит задача по созданию нового приборного парка, который соответствовал бы стандартам третьего класса безопасности».

**АСИДК (автоматизированная система индивидуального дозиметрического контроля).** Предназначена для измерения и контроля доз облучения персонала АЭС и других объектов использования атомной энергии. Дозиметры, являющиеся основной приборной базой АСИДК, обеспечивают измерение доз облучения и сравнение полученных значений с контрольными уровнями. В АСИДК входят электронные прямопоказывающие дозиметры, считыватели личных электронных пропусков, индивидуальные термолюминесцентные дозиметры, турникеты со специальным ПО, а также автоматизированные рабочие места дозиметристов. «В середине 1990-х годов была развернута большая программа ТАСИС (существовавшая в 1991–2007 годах программа технической помощи Европейского союза Содружеству Независимых Государств. — Прим. ред.), в рамках которой дозиметры поставлялись на наши АЭС из Евросоюза, — отметил Сергей Чебышов. — Свои работы по этой тематике в РФ не поддерживались, не выделялись деньги на разработки персональных дозиметров. Сегодня приборный парк индивидуальной дозиметрии требует модернизации. Мы активно работаем над решением задачи импортозамещения в этом направлении».

### Заказчик требует точности

На конференции обсуждали современные тенденции в ядерном приборостроении. Сергей Чебышов отметил, что заказчики требуют все большей точности измерений: «В частности, в настоящее время все чаще требуются дозиметрические приборы повышенной точности. Для разработки таких приборов нужны низкофоновые камеры». Сейчас над созданием такой камеры работает ВНИИМ им. Д. И. Менделеева (г. Санкт-Петербург). Также стоит задача создания специальных стендов для выполнения метрологии измерений поглощенной дозы облучения от 100 Грей и выше.

Все чаще заказчики хотят получить детекторы, адаптированные под конкретные измерительные задачи, а не стандартные. «В СНИИП создан научно-технологический комплекс для разработки и изготовления специальных сцинтилляционных и термолюминесцентных детекторов ионизирующего излучения», — отметил Сергей Чебышов.

Активно идет цифровизация ядерного приборостроения. Разработчики приборов и систем внедряют методы компьютерного моделирования. «Цифровизация касается всех этапов разработки изделий ядерного приборостроения, — подчеркнул ученый. — В настоящее время мы применяем около 40 программно-математических инструментов, используемых на всех этапах разработки приборов».

Директор по перспективным разработкам — начальник отдела аналитики и информации СНИИП Андрей Гордеев остановился на тенденциях развития АСРК. Сегодня она все чаще рассматривается как одна из

подсистем АСУ ТП, и это налагает дополнительные требования на систему. Кроме того, разработчикам надо думать о ее интеграции в единый программно-технический комплекс. Заказчики требуют расширения диапазонов и увеличения точности измерений (причем это не всегда технически обосновано). Еще один тренд — внедрение методов спектрометрического анализа в состав устройств для детектирования технологических средств.

### Ограничения — повод для развития

Зарубежные санкции — серьезный вызов для ядерного приборостроения. «Есть проблемы с материалами для детекторов: перед отечественной промышленностью стоит задача наращивания выпуска кремния и германия требуемого качества. В частности, в этом направлении активно работают наши коллеги из Института физико-технических проблем. Надеемся, что в ближайшее время появятся отечественные аналоги, — сказал генеральный директор СНИИП Александр Карцев. — Также есть проблемы с электронной компонентной базой. Мы заблаговременно готовились к трудностям, насколько возможно, сейчас применяем отечественные электронные компоненты. Работу в этом направлении мы продолжаем. Не все нам сейчас готова поставлять отечественная электронная промышленность, особенно много проблем с поставкой современных, высокопроизводительных микропроцессоров. Но мы уверены, что они будут решены».

В частности, санкции могут помочь отечественным приборостроителям укорениться на рынке систем контроля для газонефтяной отрасли. «Все свои разработки мы стараемся применить и в других отраслях, не только в атомной, — подчеркнул Александр Карцев. — Разрабатываем системы диагностики в интересах «Газпрома», «Роснефти». В связи с импортозамещением будем еще активнее этим заниматься».

Ведущий инженер-разработчик лаборатории блоков детектирования газоаerosольных сред и йодов Вячеслав Голубев перечислил комплектующие, которых пока не хватает на отечественном рынке и которые надо импортозамещать в первую очередь. Это основные элементы устройств детектирования: как аналоговые (усилители, компараторы, фильтры, формирователи, микросхемы управления питанием), так и цифровые (логические микросхемы, микроконтроллеры, ПЛИС).

Временные трудности с комплектующими — не повод останавливаться в развитии. «В СНИИП сегодня реализуется большая программа НИОКР: порядка 10 проектов по всем актуальным направлениям, — сообщил Сергей Чебышов. — Ключевой проект — «Кайман»: мы создали 12 принципиально новых типов приборов, которые стали основой для современных АСРК, поставляемых в настоящее время на АЭС, строящиеся в том числе за рубежом («Руппур», «Аккую», «Эль-Дабаа»). В рамках проекта «Нарвал» мы разрабатываем новое оборудование для плавучих энергоблоков, надеемся, что оно также будет востребовано для атомных станций малой мощности».

### «Кайман» и «Нарвал»

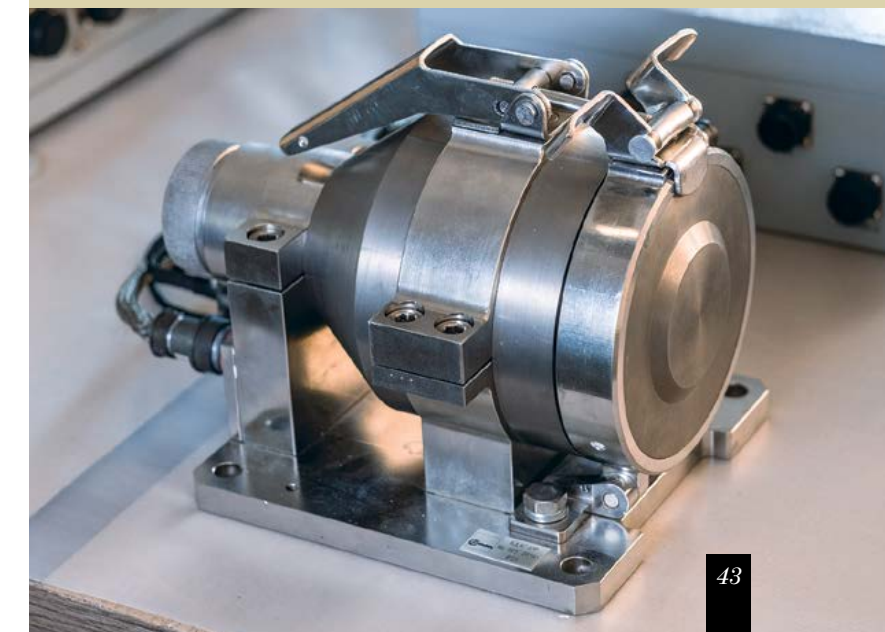
В СНИИП с 2019 года реализуется целый ряд инвестиционных проектов развития, ключевые из которых — «Совершенствование продуктовой линейки гражданского назначения» («Кайман») и «Совершенствование программно-технических средств радиационного контроля» («Нарвал»). Задача обоих проектов — создание и вывод на рынок новых решений в области контроля радиационных параметров, которые характеризуют режим эксплуатации АЭС и объектов использования атомной энергии.

Продуктами проекта «Нарвал» являются несколько ключевых приборов для построения систем радиационного контроля плавучих атомных энергоблоков, АЭС малой мощности, объектов береговой инфраструктуры Северного морского пути. Успешно применяемые в текущих проектах (включая ПАТЭС) блоки и устройства детектирования ионизирующих излучений будут дополняться такими технически сложными и информационно насыщенными компонентами, как радиометр азота-16 в остром паре для контроля протечек парогенератора, комплекс индивидуального дозиметрического контроля, измеритель мощности поглощенной дозы в поверхностном слое кожи и радиометр нейтронов широкого спектра энергий.

В рамках проекта «Кайман» создается более 10 функционально законченных радиационных мониторов для измерения основных радиометрических и спектрометрических характеристик, которые используются при анализе эффективности защитных барьеров энергоблока АЭС и состояния технологического оборудования, при оценке безопасной эксплуатации ядерной энергетической установки по уровням допустимого воздействия на персонал, население и окружающую среду на промышленной площадке, в санитарно-защитной зоне и зоне наблюдения объекта. Перечень контролируемых параметров включает объемную активность радиоактивных аэрозолей, йода-131, инертных радиоактивных газов, воды, изотопный состав теплоносителя первого контура АЭС и воздуха, удаляемого через системы вентиляции.

### На фото

Разработка автоматизированных систем радиационного контроля в СНИИП





Текст и фото: Пресс-служба  
ЧУ «ИТЭР-Центр»

Спуск на воду понтона с российской катушкой полоидального поля PF1

# Магнит для высоких технологий

Российская магнитная катушка для ИТЭР отправлена к месту сооружения реактора

**1 ноября на территории Средне-Невского судостроительного завода (СНСЗ) в Санкт-Петербурге состоялся торжественный спуск на воду понтона с российской катушкой полоидального поля PF1. После перегрузки на транспортное судно в порту «Бронка» магнитная катушка отправится на площадку сооружения международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР на юге Франции.**

Отправка катушки PF1 — это одно из важнейших и самых ожидаемых событий 2022 года, связанных с сооружением международного термоядерного экспериментального реактора ИТЭР, крупнейшего научно-технического проекта современности. Отправка

уникального российского изделия проходила на территории АО «СНСЗ» в присутствии высокопоставленных представителей правительства РФ, госкорпорации «Росатом», администрации Санкт-Петербурга.

По завершении торжественной церемонии директор Частного учреждения «ИТЭР-Центр» Анатолий Красильников отметил, что успешное изготовление и отправка катушки PF1 говорит о том, что в условиях высокого внешнеполитического давления отечественная промышленность продолжает свое системное развитие. «Несмотря на беспрецедентные санкции и введенные представителями западных стран ограничения, Россия всерьез углубляет изучение и внедрение высокотехнологичных производств, в том числе в промышленной сфере», — подчеркнул Анатолий Красильников.



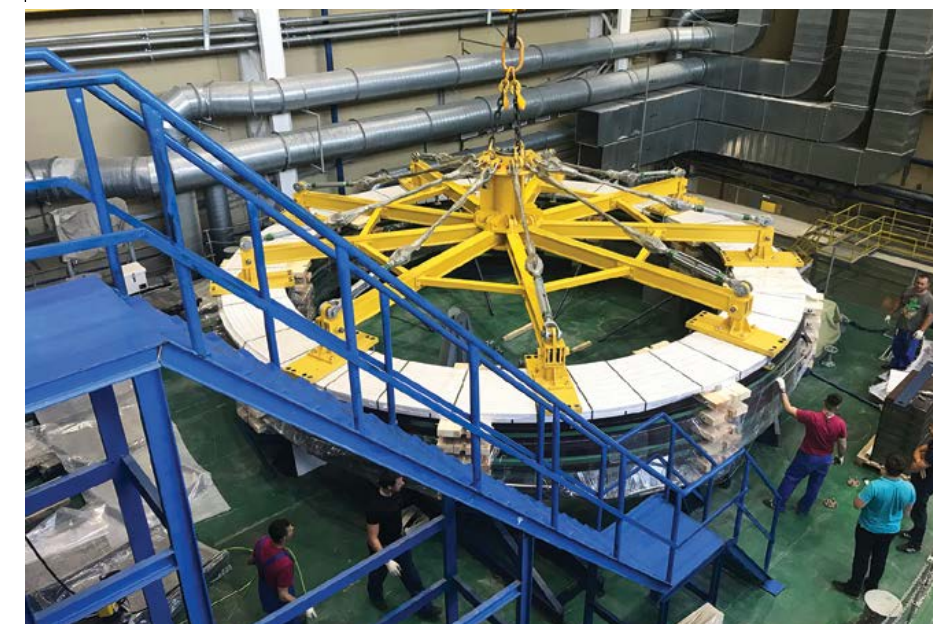
## Прямая речь



**Анатолий Красильников**

Директор Частного учреждения  
«ИТЭР-Центр»:

— Это событие колоссальной важности как для отечественных предприятий, которые участвовали в изготовлении этого сложнейшего компонента будущего термоядерного реактора, так и для всего проекта в целом. Это выдающийся результат многих лет плодотворной, слаженной работы ведущих российских институтов и предприятий промышленности, эффективная демонстрация нашего научно-технологического потенциала.



По словам заместителя генерального директора по термоядерным и магнитным технологиям — директора НТЦ «Синтез» АО «НИИЭФА» Игоря Родина, отправка катушки PF1 стала результатом усилий целого ряда коллективов, которые на протяжении более чем 20 лет занимались проектированием электромагнитной системы токамака, созданием и серийным выпуском сверхпроводников и собственно созданием катушки. «Мы прошли все этапы — от разработки рабочей конструкторской документации через квалификацию процессов и решение сложнейших технологических задач до итоговых испытаний, подтвердивших соответствие всем требованиям Международной организации ИТЭР. Считаю это событие безусловным достижением российской науки. Для РФ это крупнейший в истории сверхпроводниковый электромагнит. В мире есть не так много стран, которые способны изготовить подобное изделие», — отметил Игорь Родин.

Катушка PF1 (диаметр — 9 м, масса — 200 тонн) является одной из шести катушек полоидального поля в магнитной системе, которая служит для удержания плазмы в реакторе ИТЭР. Катушка — сложное изделие, основой которого являются восемь сверхпроводниковых двухслойных двухзаходных галет. Это одна из 25 систем, входящих в сферу ответственности РФ в рамках международного проекта ИТЭР. Катушка PF1 относится к элементам, необходимым для получения первой плазмы на установке. Важнейшие технологии и оборудование для изготовления катушки были разработаны в АО «НИИЭФА», непосредственное изготовление осуществлялось на территории АО «СНСЗ».

Первая из восьми двухзаходных галет была намотана и квалифицирована в 2016 году, последняя — в 2019 году. В марте 2021 года успешно завершилась вакуумно-нагнетательная пропитка обмотки катушки — одна из наиболее сложных и ответственных стадий изготовления магнита. В марте 2022 года

российская катушка успешно прошла серию приемочных испытаний перед отправкой в Международную организацию ИТЭР. В соответствии с требованиями Организации ИТЭР, продиктованными высшей степенью значимости катушки PF1 для получения первой плазмы в реакторе, в ходе заводских приемочных испытаний изделие проходило несколько стадий проверки.

Соглашение об изготовлении и поставке катушки PF1 между российским Агентством ИТЭР и Международной организацией ИТЭР заключено в 2011 году. Это одна из двух катушек полоидального поля, изготовление которых происходит в странах — участниках проекта. Остальные четыре катушки ввиду большого размера собираются непосредственно на площадке сооружения будущей установки.

## Подробности

**ИТЭР** — проект первого в мире международного термоядерного экспериментального реактора нового поколения, строящегося усилиями международного сообщества в Провансе, близ Марселя (Франция). Задача проекта заключается в демонстрации научно-технологической осуществимости использования термоядерной энергии в промышленных масштабах, а также в отработке необходимых для этого технологических процессов. Частное учреждение Государственной корпорации по атомной энергии «Росатом» «Проектный центр ИТЭР» выполняет функции российского национального Агентства ИТЭР, ответственного за обеспечение натурального вклада России в проект.



Текст: Николай Давыдов  
 Фото: ПСЗ, «Страна Росатом»

В Снежинске городская застройка гармонично связана с природными рекреационными зонами



## Уральский вариант

Как действуют ТОСЭР Росатома в Челябинской и Свердловской областях

**На Урале, где была сформирована промышленная основа отрасли, действуют пять закрытых территориальных образовательных Росатома — Озерск, Снежинск и Трехгорный в Челябинской области, Новоуральск и Лесной в Свердловской области. Территории опережающего социально-экономического развития (ТОСЭР) созданы во всех ЗАТО, кроме Трехгорного. О развитии бизнеса на уральских ТОСЭР, взаимодействии резидентов с госкорпорацией «Росатом» и новых бизнес-идеях говорили на круглых столах «Атомные города. От потенциала людей к развитию территории», проведенных управляющей компанией «Атом-ТОР».**

### Атомный потенциал для региона

«На Росатом, благодаря которому укрепляется и гражданский, и оборонный потенциал страны, возложена колоссальная ответственность. Сформированная в отрасли культура бесконечно ценна для других сфер экономики. Три атомных города на территории нашего региона с тысячами квалифицированных

специалистов, передовыми фундаментальными и прикладными исследованиями — это большой потенциал для нашего развития», — считает заместитель губернатора Челябинской области Иван Куцевляк.

Каковы возможные направления для взаимодействия промышленности региона и Росатома, в том числе с использованием ТОСЭР? Челябинская область уникальна своей индустриализацией, здесь действует порядка полутора тысяч предприятий. «Сложно вспомнить примеры продукции, которая бы не производилась в регионе, — говорит вице-губернатор. — Выгодно отличается и логистика: наша транспортная сеть позволяет работать и на европейскую, и на азиатскую части страны».

Что касается конкретных отраслей, интересных с точки зрения кооперации с Росатомом, Иван Куцевляк прежде всего видит потенциал в богатом опыте обращения с медью. Так, еще до активной волны импортозамещающих мероприятий было создано производство электролизной фольги, которая применяется в микроэлектронике и в системах накопления электроэнергии. Росатом сегодня развивает аккумуляторное направление, в отраслевой кооперации задействованы и уральские предприятия — область

способна предоставить ряд компетенций для предшествующих и последующих переделов в цепочке создания стоимости.

При этом Челябинская область имеет и высокую долю обрабатывающих производств. То есть уже сегодня рынок для этих услуг весьма емкий. Одно из перспективных направлений, актуальных для всей экономики уральского региона, — производство оборудования, вплоть до комплексных технологических линий. С учетом компетенций Росатома здесь тоже множество возможностей для сотрудничества, в том числе с опорой на возможности ТОСЭР, считает Иван Куцевляк.

### Маяк для молодежи

«Один из неофициальных, но важных для нас показателей городского благополучия — это приток молодого поколения, — считает Евгений Щербаков, глава Озерского городского округа. — Именно так у нас и происходит: в последние годы сформировалось «положительное saldo» по молодежи. За год в Озерск приезжает примерно на 300 человек (в возрасте от 20 до 34 лет) больше, чем уезжает. Это происходит в связи с рядом факторов, в числе которых и городское благоустройство, и социальная политика ПЮ «Маяк», и развитие ТОСЭР. Молодежь видит перспективы трудоустройства и на градообразующем предприятии, и на других интересных производствах в городе».

### Подробности

Чтобы обеспечить кадрами экономику Озерска, реализуется ряд образовательных программ. На базе двух колледжей города (технического и колледжа ОТИ НИЯУ МИФИ) ежегодно обучаются порядка двух тысяч будущих высококлассных специалистов. Недавно в модернизацию производственной учебной базы было вложено более 200 млн руб. — средства были выделены Росатомом, а также из федерального и областного бюджетов. Начала развиваться программа «Профессионалитет» — ускоренная целевая подготовка специалистов под конкретные рабочие места. Потенциальные инвесторы, заинтересованные в «приземлении» на ТОСЭР, тоже могут воспользоваться этой программой, разместив заказ на подготовку специалистов. От этого выигрывают не только производители, но и молодежь, а также их родители — они получают понятную парадигму будущего для своего ребенка. В малых и закрытых городах стабильность и предсказуемость — в числе определяющих ценностей.

Важная составляющая долгосрочного успеха территории — развитие комфортной городской среды, считает глава города. При этом учитываются интересы всех поколений, в том числе молодежи. В 2022 году в Озерске будут введены в эксплуатацию две ледовые арены. Людей всех возрастов привлекает новый сквер имени Бориса Бреховича, легендарного руководителя «Маяка». Комфортная среда, в которой сохранены исторические имена, — это залог преемственности поколений.

В Озерске рассчитывают на дальнейшее увеличение числа резидентов ТОСЭР. На данный момент к наиболее успешным можно отнести два производства. На первом из них, «Интео», производят уникальное оборудование для безопасного проведения взрывных работ — зарядосмесительные установки на базе автомобиля. Предприятие уже выпускает продукцию и начинает расширяться: планируется создать еще несколько десятков рабочих мест; идет оценка возможности создать площадку в тех регионах присутствия Росатома, где ведется горнодобывающая деятельность.

### Эра лучей добра

Другой успешный проект ТОСЭР «Озерск» — Региональный центр облучательных технологий (РЦОТ «Эра»). Родион Ермолаев, возглавляющий РЦОТ «Эра», называет ряд направлений, для которых центр оказывает услуги гамма-обработки продукции, — это стерилизация сельскохозяйственной продукции, обеззараживание медицинских изделий, модификация полимеров, участие в НИР. Технологию гамма-обработки не следует считать инновационной, она появилась далеко не вчера и широко распространена в развитых странах: центров лучевых технологий в мире примерно 500, лидируют по объему этих услуг США и Китай. В России, несмотря на развитую атомную промышленность, центров лучевой обработки пока немного — около двух десятков. По словам Родиона Ермолаева, РЦОТ «Эра» сразу вырвался в лидеры.

Примерно половина рынка услуг по облучению — это стерилизация медицинского оборудования, еще 40% — модификация полимеров, остальное — обработка пищевых продуктов. Именно в этом сегменте и есть «оперативный простор» для развития технологии, считает Родион Ермолаев. Преимущества гамма-обработки неоспоримы — это возможность облучения в конечной упаковке. Заказчик, привозящий коробки с продукцией, получает их в неизменном виде, но уже стерильными — проникающая способность гамма-лучей позволяет не вскрывать упаковку, кроме того, при обработке никакие параметры продукции не изменятся — ни цвет, ни фактура. Разумеется, при этом не будет ни наведенной, ни остаточной радиации: источники «лучей добра» — кобальт-60 — герметичны и изолированы.

РЦОТ «Эра» — пример отраслевого проекта по созданию новой услуги, ставшего резидентом ТОСЭР. Работа с делящимися материалами отработана на «Маяке» в течение десятилетий, в городе сформирована



огромная производственная, научная школа, наработаны компетенции и культура безопасности. Все это и нашло отражение на площадке резидента.

Что касается кадров для этого производства, то для ЗАТО Росатома, территорий сравнительно благополучных, проблема безработицы не характерна, а при масштабировании производства даже просматриваются шансы столкнуться с нехваткой рабочей силы. «Эра» тоже заблаговременно заботится о пополнении — заключены соглашения с колледжами Озерска, проводится практика для студентов с возможностью дальнейшего трудоустройства. Рассматривается также ротация кадров с градообразующим предприятием.

Планы «Эры» амбициозны. Например, формирование нормативно-правового поля, предписывающего лучевую обработку сухих пищевых смесей российских производителей (некоторые страны запрещают ввоз необработанной продукции). Поскольку важную составляющую в себестоимости услуги имеет транспортное плечо, услугу нужно будет выносить на предприятия переработки или в логистические центры. Возникает интересная возможная стратегия развития бизнеса и трансформация РЦОТ «Эра» из локального поставщика услуг в глобального поставщика оборудования и технологий.

### С открытой душой

«У нас есть популярный слоган: «Снежинск — закрытый город с открытой душой», — рассказывает Андрей Пульников, глава Снежинска, где также создана ТОСЭР. — Городу исполнилось 65 лет, то есть он еще очень молод. Наш город тоже стремится удерживать и привлекать перспективную молодежь. Снежинск славится выстроенной системой образования, буквально с детского сада до вуза. Городские учителя — постоянно в числе призеров региональных и общероссийских конкурсов».

### На фото

Площадь ТОСЭР в Новоуральске сегодня — более 500 га



На ПО «Маяк» уже есть прототип мобильной установки для гамма-обработки, в габаритах стандартного контейнера и на базе автомобиля «Урал». Идет практическая оценка безопасности и надежности решения. Когда будет обоснована безопасность и возможность практической эксплуатации мобильного облучательного центра, такие установки смогут работать в логистических центрах сельскохозяйственной продукции как в России, так и во всем мире. А рынок (и потенциальный мультипликативный эффект) огромен: по отдельным видам сельскохозяйственной продукции потери в процессе хранения доходят до трети. Облучение позволит существенно снизить эти потери.

Территория округа — 374 км<sup>2</sup>, при этом природный потенциал уникальный: больше десятка озер, половину территории занимает лес. Рекреационные зоны гармонично увязаны с жилой застройкой. Характерная черта жителей города — стремление к активному отдыху, спорту, здоровому образу жизни. Эта активность приносит инфраструктурные изменения, проектов для спорта и отдыха все больше. Горожане вовлечены в формирование среды обитания — развитие общественных пространств. Выбор объектов для благоустройства определяется на голосованиях, по их результатам формируются рейтинги востребованности объектов, определяется приоритет вложений.

В экономическом отношении Снежинск расположен выгодно — между Челябинском и Екатеринбургом. После строительства четырехполосной трассы комфортный путь до Екатеринбурга составляет 100 км, до Челябинска — 120 км. Таким образом, в полутора-двухчасовой доступности находятся и два города-миллионника, и два международных аэропорта. На территорию округа входит железнодорожная ветка — это тоже преимущество для инвесторов.

Для размещения предприятий-резидентов Снежинск располагает десятью участками общей площадью 350 га. Все они расположены внутри охраняемого периметра, но не имеют инфраструктурных ограничений для реализации инвестпроектов. Градообразующее предприятие в состоянии предоставить инвесторам энергетическую инфраструктуру любой емкости.

В числе интересных перспективных резидентов ТОСЭР «Снежинск» — «СТК Развитие», где ведется разработка и внедрение АСУ ТП для промышленных предприятий и производится нестандартное оборудование. Компания работает для нефтегазовой, химической, энергетической, сельскохозяйственной

отраслей. Есть и другие проекты с большими перспективами.

«Таким образом, Снежинский городской округ — привлекательное место и для жизни, и для инвестирования, — подытоживает Андрей Пульников. — Что касается закрытого статуса, мы считаем, что он не препятствует развитию бизнеса. Пропускной режим отсекает определенный нежелательный контингент граждан, но тех, кто хочет работать, здесь ждут и примут. Интересно, что новый ректор НИЯУ МИФИ Владимир Шевченко, посетивший в августе Снежинск, признался, что представлял себе наш город как огромный оборонный завод, но вместо станков и боеприпасов увидел большой потенциал для занятой фундаментальной и прикладной наукой. Поэтому не нужно бояться приходить в закрытые города с инвестициями».

### Инициативообразующее предприятие

Юрий Румянцев, заместитель директора по производству продукции гражданского назначения РФЯЦ-ВНИИТФ, в курсе всех бизнес-инициатив ТОСЭР «Снежинск» не только потому, что город маленький, но и потому, что наиболее яркие проекты родились в стенах института и были «высажены» на ТОСЭР. Не в последнюю очередь для того, чтобы упростить формальности взаимодействия с бизнес-заказчиками.

Ядерный центр расположен на нескольких площадках, объясняет Юрий Румянцев. Основная — в Снежинске. В структуре института есть теоретические отделения, конструкторские бюро, заводы, испытательная база, опытное производство. Ключевая задача — обеспечение безопасности страны, этим и определяется профиль работ центра. Под эту задачу выстроена и работа с кадрами: и взаимодействие со школами, и работа с вузами, и образовательный проект «Новый Снежинск».

Особенность института в том, что здесь привыкли сопровождать продукцию в течение всего жизненного цикла, от идеи и прототипа до серии, обслуживания и утилизации. Еще одна особенность в том, что профильными задачами и гражданскими разработками занимается один и тот же коллектив. При этом гражданских разработок немало — это цифровые продукты, лазерные технологии, технологии вывода из эксплуатации опасных объектов, продукция для нефтегазовых компаний, системы безопасности и электротехника. Одно из направлений с рыночными перспективами — исследования водородной безопасности для нужд энергетики.

Один из зрелых продуктов — это компактные центры обработки данных с максимальной степенью ИТ-безопасности, в том числе в мобильном и контейнерном исполнении. Чтобы обеспечить «последнюю милю» во взаимодействии с клиентом, было создано несколько компаний, получивших статус резидентов ТОСЭР. Так, ООО «Корпорация развития технологий» продвигает услуги хранения и обработки данных с опорой на вычислительные мощности

## Основа инвестиционной инфраструктуры Свердловской области — особые экономические зоны (ОЭЗ) в Верхней Салде и на Уктусе, 10 индустриальных парков и четыре ТОСЭР, в том числе две в ЗАТО Росатома — в Новоуральске и Лесном

института. Задача этого резидента — обеспечить взаимодействие с клиентом, оценить задачу, организовать процесс грамотно и безопасно. Компания ищет заказчиков на расчетные задачи, на хранение данных, а также продвигает микроцентры обработки данных (ЦОДы), которые умеют создавать в институте. У этой разработки сегодня огромный потенциал: например, смонтированный на КАМАЗе контейнерный микро-ЦОД может обеспечить обработку большого объема потоковой видеoinформации из мобильных источников, провести нужный объем вычислений.

Сходная судьба и у другого резидента — компании «Волна Плюс». Примерно десятилетие назад стартовал совместный с «Газпромом» проект по разработке и сопровождению комплекса «Волна» (это программный и аппаратный комплекс по расчетам загрузки в газотранспортных системах). Трубопроводные системы очень сложны в логистическом, газодинамическом и других аспектах, и расчет закономерностей их работы — нетривиальная вычислительная задача. В определенный момент было решено отпустить эту разработку в «самостоятельное плавание» — для этого была создана компания «Волна Плюс», получившая статус резидента, сегодня она в стадии заключения доходного договора с предприятиями газовой отрасли. Компания также взяла на себя задачу по переводу программы на Linux: требования по технологической независимости актуальны для всей национальной инфраструктуры.

### Инструменты для развития

«Свердловская область сохранила 12-е место в стране по объему инвестиций в основной капитал, — говорит заместитель министра инвестиций и развития Свердловской области Юлия Курносенко. — За последние четыре года инвестиционные вложения в регионе в экономический комплекс составили 1,6 трлн руб. Основа инвестиционной инфраструктуры региона — особые экономические зоны (ОЭЗ) в Верхней Салде и на Уктусе, 10 индустриальных парков и четыре ТОСЭР, в том числе две в ЗАТО Росатома — в Новоуральске и Лесном. Еще две — в моногородах Красноуральск и Верхняя Тура».

Опыт работы ТОСЭР показал, что этот режим ведения деятельности привлекателен для инвесторов,



Памятник Курчатову  
в Озерске



считает Юлия Курносенко. Суммарно по всем ТОСЭР в реестре находятся 37 резидентов; в 2022 году заключены новые соглашения с 13 инвесторами. Объем привлеченных инвестиций по итогам первого полугодия 2022 года — почти 15 млрд руб., создано около 1,5 тыс. рабочих мест. Всего инвестиционный потенциал ТОСЭР Свердловской области, с учетом потенциальных проектов, оценивается в 39 млрд руб., планируется создание более 3,5 тыс. рабочих мест.

ТОСЭР в Новоуральске и Лесном создавались как инструмент сохранения высокого потенциала городов. Новоуральск — одна из лидирующих ТОСЭР атомной промышленности по привлеченным инвестициям и количеству заявленных резидентов. Учитывая интерес бизнеса к развитию, правительство региона в сентябре направило заявку на расширение границ ТОСЭР в Новоуральске.

В 2022 году вступили в силу изменения правовых актов, регламентирующих деятельность ТОСЭР. В июле 2022 года на два года были продлены сроки существования ТОСЭР в моногородах — эта мера затронула Красноуральск и Верхнюю Туру. В августе 2022 расширен список разрешенных видов деятельности для ТОСЭР в ЗАТО. В результате в Лесном и Новоуральске разрешена практически вся деятельность за исключением ограниченного перечня.

Кроме налоговых льгот и административных преференций, которые предоставляет федеральное законодательство, регион предлагает и другие меры поддержки для резидентов — возмещение затрат на создание энергетической, коммунальной, транспортной, социальной и цифровой инфраструктуры для реализации проекта. Актуальный инструмент — соглашения о защите и поощрении капиталовложений (СЗПК), означающие, что инвестору на определенный срок гарантируется сохранение условий ведения деятельности. Минимальная планка таких контрактов

в регионе — 200 млн руб. Также для резидентов ТОСЭР интерес представляет система офсетных контрактов (стимулирование организации производств за счет гарантированного спроса на потребление новой продукции): по инициативе региона планка для таких проектов в 2022 году была снижена с 1 млрд до 100 млн руб.

### Новая энергия Урала

ТОСЭР «Новоуральск» — одна из лидеров по количеству привлеченных резидентов. «На ТОСЭР «Новоуральск» с 12 февраля 2019 года зарегистрированы 22 резидента с 24 инвестиционными проектами. Прорабатывается вопрос вхождения на территорию еще трех предприятий — есть перспектива «округлить» счет к концу года», — рассказывает Вячеслав Лобан, заместитель главы администрации Новоуральского городского округа. Режим не сразу проявил свою результативность: первый год ушел на решение организационных и административных задач, но затем бизнес поверил в перспективы льготного режима и начал активно регистрироваться. На 1 июля 2022 года инвестировано порядка 500 млн руб., фактически создано 727 рабочих мест. В условиях санкционных ограничений семь резидентов обеспечивают импортозамещение в таких видах продукции, как электроника, комплектующие для автотранспортных средств, электроустановочные изделия, гидравлическое и пневматическое оборудование — всего десять актуальных позиций.

Привлекательность ТОСЭР в Новоуральске не в последнюю очередь объясняется географическим расположением, а также производственными и интеллектуальными возможностями. Площадь ТОСЭР сегодня — более 500 га; часть площадок (brownfield) находится в режимной зоне, зато обеспечена инфраструктурой. Идет развитие greenfield-площадки индустриального парка (этот проект, признанный стратегически важным для экономики региона, реализует АО «Атом-ТОР»). Минус в том, что инфраструктуру придется создавать, но плюс в расположении вне периметра закрытой территории. На территории будущего индустриального парка проводятся инженерные изыскания, предстоит подготовка документов территориального планирования. Чтобы удалить зеленые насаждения, на местном уровне была разработана нормативная база: процедура выдачи порубочного билета, определен порядок проведения торгов на право заключения договоров купли-продажи лесных насаждений, отработана практика подключения к автоматизированной информационной системе учета древесины и сделок «ЛесЕГАИС» и работы в этой системе.

Поскольку инвесторы нуждаются в дополнительных площадях, администрация совместно с АО «Атом-ТОР» подготовила документы на расширение границ ТОСЭР — предложено добавить 22 участка площадью 88 га. Включение этих площадок позволит реализовать как минимум семь инвестиционных проектов: изготовление металлических конструкций, производство кузовов для трамвайных вагонов,

### Никита Филимошкин

Руководитель проекта АО «Уральский электрохимический комбинат»:

— УЭХК — крупнейшее предприятие по обогащению урана; продукция предприятия занимает весомую долю на мировом рынке. Существует три основных способа взаимодействия комбината с малыми и средними предприятиями. Первый, самый доступный и рациональный, — участие в поставке товаров, работ и услуг в соответствии с отраслевым стандартом закупок. Второй — это создание предприятий в статусе резидентов ТОСЭР и взаимодействие с предприятием. На сегодняшний момент уже реализуются 24 инвестиционных проекта на территории промышленной площадки градообразующего предприятия. Для входа на эти площадки необходимо наличие договорных отношений с комбинатом. Но плюс работы на землях комбината — наличие инфраструктуры и энергетических ресурсов. Третий способ взаимодействия и построения бизнеса в Новоуральске — это включение в промышленный кластер, созданный при УЭХК и внесенный в реестр Минпромторга РФ. Статус участника промышленного кластера позволяет воспользоваться правом на получение из федерального бюджета субсидий в рамках ПП № 41 на возмещение части затрат при реализации совместных проектов участниками; при этом кластерные проекты должны быть нацелены на импортозамещение.

химическая продукция. Есть план создать термальный курорт (гостиничный комплекс) в прибрежной зоне озера. Суммарный объем инвестиций в эти будущие истории — более 2 млрд руб., количество рабочих мест — порядка 700. Бюджетный эффект оценивается в размере 4 млрд руб. дополнительных доходов. По нескольким проектам предполагаются соглашения о защите и поощрении капиталовложений (СЗПК), что позволит гарантировать окупаемость.

### Лесные сокровища

Дмитрий Хоруженко, советник генерального директора комбината «Электрохимприбор», а также представитель АО «Атом-ТОР» на ТОСЭР, рассказал о возможностях комбината по сотрудничеству в сфере выпуска гражданской продукции. По его словам, «Электрохимприбор» — флагман

оружейно-промышленного комплекса, но параллельно с основными задачами предприятие занимается и выпуском гражданской продукции, ее перечень есть на сайте предприятия. Основные направления сотрудничества с гражданскими предприятиями — машиностроение, электротехническая продукция, медицина (радиофармпрепараты), производство 3D-принтеров, производство систем лазерной маркировки.

На ТОСЭР «Лесной» сегодня зарегистрированы шесть резидентов. Один из ярких и наиболее динамичных примеров — «Атомгазсервис», проект развития заправок с газомоторным топливом. Этот проект опирается и на потребности комбината, и на возможности инвестора (это «РариТЭК», крупный машиностроительный холдинг из Татарстана). Пилотный образец газозаправочного комплекса, который будет реализован в Лесном для «Электрохимприбора», уже получил разрешение на строительство. Комбинат вкладывает средства в покупку автотранспорта, который может работать на газе, и по решению генерального директора к 2025 году 70% автопарка должно быть переведено на этот вид топлива. Это даст заметную экономию затрат, улучшит экологию. Дополнительно на «Иннопроме-2022» между резидентом, комбинатом и администрацией города было заключено соглашение о сотрудничестве, согласно которому резидент обязался наладить производство оборудования, обеспечить разработку новых газовых систем, производство газомоторной техники. Планируется крупноузловая сборка модульных газонаполнительных компрессорных станций с последующей поставкой на другие территории. Производить предполагается как стационарные, так и модульные, а также передвижные газонаполнительные станции.

### Точку ставить рано

«Изначально преференциальные территории создавались как спасательный круг, средство борьбы с безработицей, инструмент быстрого вывода из кризиса в случае системных проблем на градообразующем предприятии, — говорит Николай Пегин, генеральный директор АО «Атом-ТОР». — В случае ЗАТО Росатома, а также градообразующих предприятий в моногородах речь не идет ни о кризисе, ни о безработице — как правило, уровень жизни и средней заработной платы там мало отличается от региональных столиц. Однако и состоявшиеся, и формирующиеся сегодня примеры старта малых и средних предприятий на ТОСЭР Росатома показывают: это хороший, востребованный инструмент для формирования инновационных предприятий. Это важно и для сохранения и развития человеческого потенциала наших территорий присутствия, и для выполнения стратегической цели Росатома по увеличению объема гражданской продукции. Уверен, преференциальные территории, стартовавшие лишь несколько лет назад и еще не набравшие большого числа инвесторов, скоро проявят себя как площадки для технологичных стартапов, вывода на рынок гражданских продуктов госкорпорации».



Текст: Наталия Фельдман  
Фото: АО «ТВЭЛ»

Каскад газовых центрифуг на УЭХК

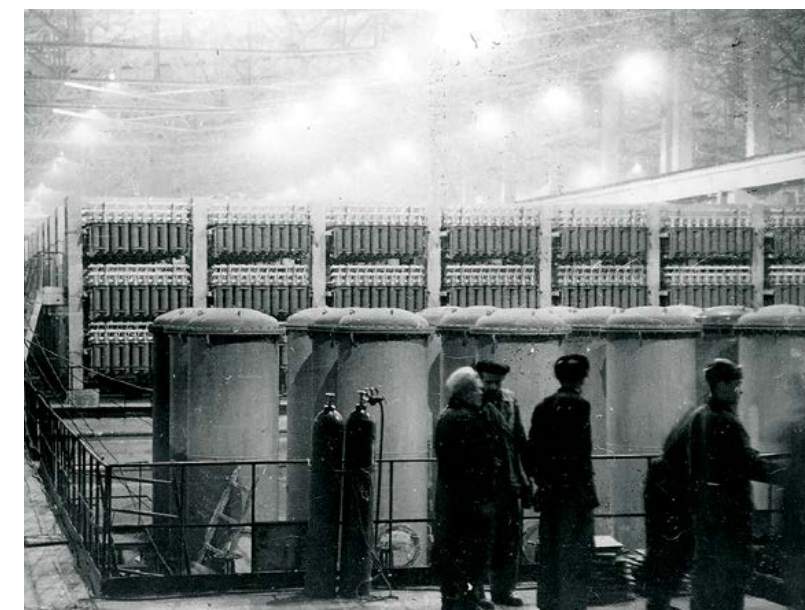
## «И все-таки она вертится!»

### Газовая центрифуга глазами филолога

Порой школьникам бывает непросто разобраться в устройстве сложных механизмов или оценить значение изобретения для развития науки и технологий. Помогают решить эту проблему образные сравнения, метафоры и живые истории о людях, давно ставших легендами для атомщиков. Например, работу газовой центрифуги можно сравнить с вращением юлы или с фуэте, которое исполняют балерины. А чтобы посетители смогли оценить скорость вращения центрифуги, в сети Информационных центров по атомной энергии (ИЦАЭ) посчитали, что она примерно в 100 раз быстрее скорости вращения барабана стиральной машины в режиме отжима.

Образное мышление и склонность к аналогиям свойственны не только детям, но и взрослым. Поэтому параллельно с терминами, точно называющими устройства, механизмы, процессы и явления, возникают профессионализмы — неформальные, неофициальные названия. Они, в отличие от терминов, могут обладать дополнительным эмоционально-образным или переносным значением. Как называли газовую центрифугу ее создатели, как они жили, какие профессионализмы используют работники Росатома сейчас, а также факты из истории этой уникальной «машины, помогающей работать целой отрасли» (так говорят о ней атомщики) заслуживают отдельного рассказа.

На УЭХК в 1962 году состоялся пуск первой очереди первого в мире завода по обогащению урана центрифужным методом



### Интернациональный продукт

Над созданием газовой центрифуги после Великой Отечественной войны совместно работали советские и немецкие специалисты. Остановимся на иностранцах, потому что их имена так или иначе стали частью ономастического пространства лексики атомной отрасли, да и с самими немецкими учеными были связаны интересные истории.

Так, например, немецкий физик Манфред фон Арденне уехал работать в Советский Союз, захватив с собой не только оборудование из лаборатории и документацию, но и часть сотрудников<sup>1</sup>. Для немецких специалистов близ Сухуми были созданы два специальных института: Институт «А», названный так по первой букве фамилии его руководителя Арденне, и Институт «Г», получивший наименование по фамилии его главы — немецкого физика, лауреата Нобелевской премии Густава Герца<sup>2</sup>. Руководил разработкой газовой центрифуги в Институте «А» немецкий инженер Макс Штеенбек. При этом в истории советской атомной промышленности Штеенбек остался и как Стейнбек — его фамилию чаще всего произносили именно так<sup>3</sup>.

Интересна история еще одного немецкого специалиста — Фрица Ланге. Он вынужден был эмигрировать из Германии в 1933 году из-за своей антифашистской деятельности, а в 1935 году переехал из Лондона в СССР (в Харьков) по приглашению Александра Лейпунского. Работая в Украинском физико-техническом институте в Харькове, Ланге вплотную занялся разработкой центрифуги для разделения изотопов урана. Рабочий проект и расчеты для производства газовой центрифуги ученый подготовил уже в 1939 году. Но руководство оценило результаты как далекие от практического использования. При этом Фриц Ланге считал свой проект настолько важным, что при эвакуации, когда ему отказали в погрузке научного багажа, оставил личные вещи прямо на перроне и взял с собой детали будущей центрифуги<sup>4</sup>. Одна из проблем центрифуги Ланге заключалась в том, что она получилась довольно громоздкой, весом около тонны.

Общей главной проблемой обеих групп (в Харькове и Сухуми) было то, что успехи по центрифужной технологии разделения урана в лабораториях никак не удавалось воспроизвести в промышленных условиях — не был решен вопрос передачи обогащенного продукта от центрифуги к центрифуге<sup>5</sup>.

### Трубка Пито и хитрый Циппе

В 1951 году сухумский Институт «А» было решено перевести на Ленинградский Кировский завод (ЛКЗ). Для решения этого вопроса в Сухуми приехал главный конструктор ОКБ ЛКЗ Николай Синев, а через несколько месяцев — инженеры, среди которых был Виктор Сергеев. Они и спросили у Штеенбека, почему нельзя вместо конденсации обогащенного урана применить отборники типа трубок Пито? Именно эта идея, которую Штеенбек отверг как неудачную, была в числе важных конструкторских решений, которые

в итоге привели к созданию надежной и экономической эффективной технологии.

Кстати, трубки Пито получили свое название по фамилии французского инженера-гидравлика, который изобрел их в 1732 году, — Анри Пито. Это трубки, изогнутые под углом в 90 градусов, которые используются в качестве устройства, создающего перепад давления. Современные трубки отбора газа имеют несколько изгибов под разными углами, и точное соблюдение размеров и параметров очень важно — от этого зависит эффективность работы.

Не обошлось и без шпионских страстей. В команде Макса Штеенбека работал Гернот Циппе, получивший прозвище Хитрый Циппе<sup>6</sup>. Он имел доступ к работам по газовым центрифугам на ЛКЗ в 1952–1954 годах и, вернувшись в Германию, запатентовал «центрифугу Циппе», заявив, что получил на это согласие советской стороны. В 1957 году Циппе переехал в США и там по памяти воспроизвел опытный образец газовой центрифуги Сергеева, назвав ее «русской центрифугой», но в Соединенных Штатах посчитали, что она непригодна для промышленного использования. СССР не предъявил претензий, и отсутствие шумихи позволило нашей стране не раскрывать информацию об успехах в области газодиффузионного метода обогащения урана в течение еще почти 30 лет.

Совместные наработки специалистов группы Штеенбека и группы, которой руководил Исаак Кикоин (под его началом работал Фриц Ланге), позволили создать прорывную технологию, которая до сих пор остается передовой<sup>8</sup>. А конструктор Синев вместе с командой ленинградских инженеров, включая Виктора Сергеева, а также специалистов с заводов Владимира и Коврова создали уникальное устройство<sup>9</sup>.

Николай Синев, помимо конструкторской деятельности, занимался и научной: получил ученую степень

<sup>1</sup>URL: [http://www.biblioatom.ru/founders/ardenne\\_manfred\\_fon/](http://www.biblioatom.ru/founders/ardenne_manfred_fon/)

<sup>2</sup>URL: [http://www.biblioatom.ru/founders/gerts\\_gustav\\_lyudvig/](http://www.biblioatom.ru/founders/gerts_gustav_lyudvig/)

<sup>3</sup>Чернов О. Русская газовая центрифуга, или Приключения французской «трубки Пито» в России. М., 2017. С. 9. (Серия «Библиотека ТВЭЛ»)

<sup>4</sup>URL: [http://www.biblioatom.ru/founders/lange\\_fritz/](http://www.biblioatom.ru/founders/lange_fritz/)

<sup>5</sup>Чернов О. Русская газовая центрифуга, или Приключения французской «трубки Пито» в России. М., 2017. С. 11. (Серия «Библиотека ТВЭЛ»)





<sup>6</sup>Чернов О. Там же. С. 12

<sup>7</sup>Чернов О. Там же. С. 15

<sup>8</sup>URL: [http://www.biblioatom.ru/founders/shteenbek\\_maks/](http://www.biblioatom.ru/founders/shteenbek_maks/)

<sup>9</sup>Чернов О. Там же. С. 17, 22

<sup>10</sup>Синев Н. М. Мемуары. Воспоминания. М.: ИздАТ, 2000. С. 163. (Творцы атомного века)

<sup>11</sup>Материал предоставлен пресс-службой УЭХК

доктора технических наук и преподавал в Ленинградском политехническом университете и в МЭИ на кафедре «Атомные электростанции». Сын Николай Синев вспоминал о курьезных случаях в преподавательской деятельности отца: «Иногда Николай Михайлович, человек довольно мягкий, все же ставил «неуды». Почему-то эти двоечники были в основном черными студентами, из Мали и еще откуда-то из Африки. Однажды отец из-за нехватки времени пригласил одного из них на передачу экзаменов к нам домой. Сердобольная мама, пожалев одинокого негра-студентика, закатали тому обед по полной программе. Уже в следующую сессию к нам в квартиру, пугая соседей, повалили обедать и сдавать экзамены черные двоечники»<sup>10</sup>.

#### «Угадайте, кто я?»

Для советского атомного проекта в первые годы работы была характерна замена одних терминов на другие, и эта тенденция наблюдалась практически во всех областях. Так, слово «уран» заменяли на «фосфор», «обогащение» — на «увлажнение», а сама центрифуга обозначалась как газовая турбина<sup>11</sup>. И в итоге «обогащение урана с помощью газоцентрифужной технологии» превратилось в «увлажнение фосфора на газовой турбине». С точки зрения любого

специалиста — бессмыслица, но люди, посвященные в тему, прекрасно понимали, о чем идет речь.

Еще одна специфическая особенность — нумерация в названии вместо обозначения характера деятельности и/или места расположения предприятия. Например, Уральский электрохимический комбинат, на котором впервые в мире была внедрена промышленная газоцентрифужная технология, первоначально назывался завод № 813 — с обозначением номером, как и многие другие заводы и комбинаты, связанные с оборонным комплексом и атомной промышленностью. А Ковровский механический завод начал свою деятельность как филиал № 1 завода № 2 (так в годы Великой Отечественной войны назывался современный ЗиД — Завод им. Дегтярева).

#### Современное словотворчество

Сейчас большинство российских газовых центрифуг производят на Ковровском механическом заводе (КМЗ). Обогащением урана занимаются разделительные производства, крупнейшее из них — Уральский электрохимический комбинат (УЭХК). И, конечно, часть официальных названий различных деталей центрифуг сотрудников предприятий дополняют профессионализмами.

Так, на КМЗ внутри газовой центрифуги можно найти все для чаепития — «самовар», «стакан» и «печенье», а также «гранату» и «лягушку». Еще в газовой центрифуге обнаруживаются «семечки», «блоха» (она же «шайба») и «соломка»<sup>12</sup>. Как возникают подобные названия и насколько они типичны для атомной промышленности? Основной способ возникновения — метафорический перенос, когда внешнее сходство детали или объекта с другим предметом приводит к тому, что метко подмеченная общность становится новым именем объекта. И этот процесс характерен для любой профессиональной сферы. Например, «козел» в авиации — это жесткая посадка самолета<sup>13</sup>, и здесь за основу метафорического переноса взяты неровные прыжки животного, с которыми и возникают ассоциации, когда самолет подпрыгивает и трясется при жесткой посадке.

Профессионализмы соседствуют с новыми терминами, появившимися с внедрением ПСР (Производственной системы «Росатом»). Каждый сотрудник, производящий детали газовой центрифуги, ежедневно посещает «супермаркет» — открытую этажерку с полками, на которых расположены ящики с готовыми элементами<sup>14</sup>. Кстати, термин «супермаркет» схож с профессионализмом, потому что еще не утратил метафорической связи — сравнения с реальным супермаркетом, в котором на рядах полок лежат продукты в открытом доступе.

Если на КМЗ профессионализмы употребляются в основном для названия различных деталей и узлов газовой центрифуги, то на УЭХК неофициальные названия чаще получают сами механизмы. Газовую центрифугу, например, называют и машинкой, и мешалкой, и кристаллизатором, и изделием<sup>15</sup>. При этом «машинка» и «изделие» — это в какой-то степени дань

традиционной закрытости, потому что по этим профессионализмам невозможно понять, о каком именно изделии идет речь, а «мешалка» и «кристаллизатор» косвенно и образно указывают на принцип действия газовой центрифуги, хотя она как раз не смешивает, а разделяет разные изотопы урана, да и кристаллизация в процессе обогащения урана не происходит.

Гексафторид урана сокращенно называют гексом, нафталаном или просто газом<sup>16</sup>. Название какого-либо конкретного объекта или вещества обобщающим словом с более широким значением — достаточно распространенный процесс в языке. Так, например, жители города — спутника АЭС зачастую говорят «станция», имея в виду совершенно конкретный объект — атомную электростанцию, расположенную рядом с их городом.

Мы все стремимся сократить длинное слово и тем более словосочетание, сделать его более емким и выразительным. На нас влияет стремление к экономии языковых средств — желание повысить эффективность общения и передать максимум информации с помощью минимального набора.

Почему же возникают профессионализмы, если уже существуют термины? Их образность и эмоционально-оценочный оттенок значения помогают выразить отношение к своей работе и одновременно подчеркнуть свою принадлежность к узкой группе людей — тех, кто понимает общий «тайный» язык для посвященных.

*Автор благодарит пресс-службы Ковровского механического завода и Уральского электрохимического комбината за предоставленный материал о профессионализмах, которые сотрудники употребляют в устной речи.*

<sup>12</sup>Информация предоставлена пресс-службой КМЗ

<sup>13</sup>URL: <https://scipress.ru/philology/articles/professionalizmy-v-rechi-lyudej-raznykh-professij.html>

<sup>14</sup>Информация получена на экскурсии по цеху механической обработки КМЗ

<sup>15</sup>Информация предоставлена пресс-службой УЭХК

<sup>16</sup>Информация предоставлена пресс-службой УЭХК

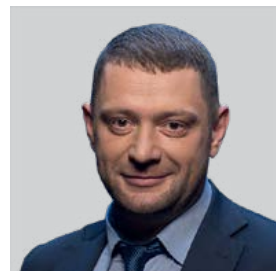
## Кстату

### Танцем и едим сладости

Балерина в пуантах и балетной пачке во время выступления молодого ученого — запросто! Именно так прошел один из «Научных боев: U-раунд», в процессе которого спикер объяснял принцип действия газовой центрифуги. А еще о газовой центрифуге можно рассказывать на примере любого вращающегося устройства, даже аппарата по производству сахарной ваты. Именно такие понятные примеры, используемые Информационными центрами по атомной энергии, помогают сформировать эмоциональное отношение к получаемой информации, вследствие чего она лучше усваивается и запоминается надолго.







Федор Буйновский,  
обозреватель «Вестника атомпрома»

## Зачем стремиться к идеалу

*Цель как инструмент преобразования среды*

Еще в 1974 году в издательстве «Советское радио» в редакции кибернетической литературы вышла крайне интересная книга Р. Акоффа и Ф. Эмери «О целеустремленных системах». Рассел Линкольн Акофф — выдающийся мыслитель современности, замечательный теоретик и практик в области управления социальными системами и менеджмента. Эта книга представляла собой попытку выработки понятий, позволяющих описать и объяснить человеческое поведение как «систему целеустремленных действий».

Разумеется, авторы — далеко не первые исследователи человеческого поведения того времени. Достаточно указать на бихевиористов, критическому анализу работ которых в книге уделено немало места. Акофф и Эмери критически переработали обширный материал и предложили свою концепцию: книга знакомит читателя как с их собственными взглядами, так и с историей вопроса.

Системный подход, системные исследования не являлись чем-то принципиально новым, возникшим в период, предшествующий изданию книги. «Это естественный и единственно научный метод решения и теоретических, и практических проблем, используемый на протяжении веков», — считают авторы.

Р. Акофф много лет занимался практическими приложениями методов исследования операций к решению различных промышленных, экономических и социальных проблем. Данная книга представляет собой попытку выработать систему понятий, относящихся к целеустремленным системам и к поведению таких систем.

### Моделирование реальности

Рассел Акофф заслуженно считается главным идеологом и практиком системной парадигмы в преобразовательной деятельности человека в прошлом и наступившем веках. Заслуга Акоффа в том, что он первым сосредоточил внимание на особенностях преобразования социальных систем, самой существенной частью которых являются люди.

Их принципиальное отличие от всех других природных объектов заключается в сугубо субъективной способности людей к творчеству, целеполаганию, в стремлении к реализации целей и связанной с этим принципиально неустранимой неопределенностью поведения социальных систем. Теория целеустремленных систем — классическая концепция в моделировании социальной реальности.

Исходный тезис теории сводится к тому, что структура, функции и динамика систем особого вида (речь идет именно о целеустремленных системах) формируются под влиянием цели, которая объективно присуща системе в качестве ее атрибута. Способность

системы выбирать из нескольких альтернативных целей, преследовать цель и менять цель в зависимости от внешних и внутренних вызовов рассматривается как инструмент реагирования на внешнюю среду (адаптации) и одновременно преобразования внешней среды.

К целеустремленным обычно относят множество как физических, так и социальных систем. Их отличительными чертами являются гибкость, адаптивность, эффективность. И Р. Акофф фокусирует свое внимание именно на социальных системах, но не рассматривает их как сущностно отличные от физических, на которые распространяются объяснительные схемы теории целеустремленных систем.

Для Р. Акоффа память, как и цель, — предмет конструктивистского, манипулятивного воздействия, определяющего облик и динамику системы. Можно сказать, что конструирование памяти о несуществующем прошлом и определение цели в несуществующем будущем детерминирует структуру и поведение системы во вполне реальном настоящем.

### Память как инструмент выбора

Известно, что управление целеполаганием — это управление памятью, но известно и другое: управление памятью — это управление представлением о цели. Вопрос о том, что первично — цель или память, является псевдовопросом о первичности курицы или яйца. Память и цель — два объекта, посредством которых осуществляется управление развитием социальной группы.

Р. Акофф утверждает, что текущие наблюдения, способы и результаты анализа этих наблюдений «сопродуцируются прошлым опытом данного индивида»: «Прошлый опыт, по-разному организованный, поступает из памяти индивида в форме его убеждений и отношения. Убеждения — это заключения, выведенные из прошлого и текущего восприятий, а отношение — это совокупность чувств, вызванных тем, что было воспринято».

На материале психологических исследований и курсов в философию истории Р. Акофф приходит к заключению, что память — личная и/или коллективная — не является простой записью некоторых событий, наблюдаемых субъектом в прошлом; и, следовательно, функция памяти не сводится к простому воспроизведению некоторым образом зафиксированных сведений о событиях.

Информация, которую человек помнит, используется в процессе выбора. И наоборот: информация, хранящаяся, но не используемая в процессе выбора, не является памятью.

### Цели и идеалы

Рассмотрим социальные смыслы теории целеустремленных систем в связи с представлениями Р. Акоффа о памяти. Социальная группа, в его определении, — это «целеустремленная система, участниками

**Рассел Линкольн Акофф** (Russell Lincoln Askoфф, 1919–2009) — американский ученый, исследователь системного подхода и организационного управления. Автор и соавтор 35 книг, в том числе широко известных — «Перепроектирование будущего», «Искусство решения проблем», «Идеализированное проектирование», «Победа над системой», «Перепроектирование общества», а также более 150 статей. Его работы внесли значительный вклад в развитие теории систем и научных методов управления. Разработки и идеи Акоффа использовали многие корпорации и государственные структуры в разных странах.

которой являются целеустремленные индивиды, умышленно сопродуцирующие достижение общей цели».

Стремление к достижению общих целей вызывает взаимодействия, которые и объединяют группу. Конечно, понимание общих целей и социальное взаимодействие далеко не всегда могут возникнуть из непосредственного общения (прямых контактов) всех участников группы. Значит, должен существовать механизм для опосредованного вовлечения участников в достижение общей цели: «Участники социальной группы могут сотрудничать друг с другом либо на основе той или иной формы непосредственного общения, либо через посредников».

Р. Акофф подчеркивает: «Из того, что у участников социальной группы есть общая цель, еще не следует, что они не могут конфликтовать по поводу других целей или по поводу того, какой способ действия избрать для достижения общей цели». Некоторые суперцели, недостижимые в принципе, Р. Акофф определяет как идеалы. Цели по отношению к идеалам подобны задачам по отношению к целям. Однако с течением времени ранее недостижимый идеал в связи с развитием инструментов может превратиться во вполне конкретную достижимую цель — в этом случае возникает новый идеал. «Целеустремленную систему тогда можно считать стремящейся к идеалу, когда при достижении одной из своих целей она избирает другую цель, более близкую к идеалу». Подобного рода размышления Р. Акоффа предвосхищают современные представления о роли утопии в целеполагании: конечные цели всегда утопичны, но утопия является естественной социальной потребностью.

«Очень может быть, что способность стремиться к идеалам является чертой, отличающей человека от устройств, которые он изготавливает, в том числе от ЭВМ», — говорит Р. Акофф. Таким образом, можно сказать, что стремиться к идеалу не просто не бессмысленно, но даже необходимо, чтобы достигать результатов.



Фото: АСЭ

На реакторном здании первого энергоблока АЭС «Руппур» устанавливают нижнюю часть купола наружной защитной оболочки



# Давай поделимся

## От А до Я!

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

## Будьте в курсе!

В нашем телеграм-канале — горячие новости и оперативные комментарии, в том числе выходящие далеко за пределы отрасли.

## Выигрывайте призы!

Каждый месяц мы проводим конкурс среди подписчиков.

## Спрашивайте!

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

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



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





