



Библиотечка
Общественного совета
Госкорпорации «Росатом»

7 чудес мирного атома

Александр
Емельяненко

Соло на центрифуге

АНО "Информационный
центр атомной отрасли"

2013

Александр
Емельяненко



Соло *на центрифуге*

*Уникальная технология обогащения урана,
созданная в России полвека назад,
и сегодня делает честь ученым и конструкторам.*

УДК 621.039.3
ББК 24.5
Е 601

А.Ф. Емельяненко

Соло на центрифуге. — М.: АНО "Информационный центр атомной отрасли", 2013. — 28 с.



Цикл брошюр под символическим названием «Семь чудес мирного атома» посвящен выдающимся достижениям отечественной атомной науки и сопряженных с нею областей, а также новым перспективным разработкам на этих направлениях.

Каждая из брошюр являет собой законченный сюжет, приоткрывающий малоизвестные страницы истории и повествующий о сегодняшнем уровне развития атомных технологий в Российской Федерации. Среди таких научно-технологических вершин — первый в Европе реактор и первая в мире АЭС, газоцентрифужный метод обогащения урана и атомные ледоколы, промышленный реактор на быстрых нейтронах, перспективные энергоустановки для работы в космосе и российский вклад в создание экспериментального термоядерного реактора.

ISBN 978-5-906237-02-6



При подготовке брошюры использованы данные из открытых источников, в том числе официальная информация с сайтов ГК «Росатом», топливной компании «ТВЭЛ» и ее предприятий, ИЦ «Русская газовая центрифуга», архивные документы ВГЮ «Точмач», а также материалы, ранее опубликованные автором в «Российской газете», на портале Nuclear.Ru, в журнале «Популярная механика».

Вместо пролога

Из курса шпионских историй времен «холодной войны» известен факт: 1 мая 1960 года наши зенитчики подбили над Уралом американский самолет-разведчик «U-2», а его пилот Фрэнсис Пауэрс угодил в советскую тюрьму. Спустя годы выясняются новые подробности: какая цель влекла тогда разведку США, и что помешало шпионскому замыслу.

На рубеже 60-х годов американские высотные самолеты типа «Локхид» чувствовали полную безнаказанность в воздушном пространстве СССР. С высоты 22-23 тысяч километров они беззастенчиво фотографировали секретные оборонные и военные объекты в Сибири, Средней Азии, в районах центральной России и Закавказье, в Прибалтике и на Дальнем Востоке.

9 апреля 1960 года, обследовав Семипалатинский ядерный полигон, авиабазу стратегических бомбардировщиков близ него, полигон противоракетной обороны в Сары-Шагане, ракетный полигон Тюра-Там (в будущем космодром Байконур), «U-2» выскользнул из пределов СССР южнее города Мары. Советское правительство в закрытой ноте сделала резкое заявление. Американцы отмолчались, дав понять, что к нарушению границы не причастны. А уже 1 мая в 5 часов 20 минут утра с аэродрома Пешавар в Пакистане по секретному плану «Оверфлайт» («Перелет») подняли в воздух на таком же «U-2» старшего лейтенанта своих ВВС Френсиса Пауэрса.

Перед стартом полковник Вильям Шелтон «успокоил» летчика — у русских, мол, нет для твоей высоты ни истребителей-перехватчиков, ни зенитных ракет. Он лукавил или ошибался: как раз в это время в СССР возле

КЛЮЧЕВЫЕ ФИГУРЫ



**Кикоин Исаак
Константинович**
(1908–1984).

Физик-теоретик, действительный член АН СССР, дважды Герой Социалистического Труда. С 1954 года осуществлял научное руководство при создании газоцентрифужного метода разделения изотопов урана; до этого был научным руководителем работ по гвездиффузионному методу.

ЦИФРА

В России покрывается 40 % мирового объема услуг по обогащению урана, из которых 47 - приходится на европейские страны, 11 - на страны Азии и 42 процента на США.

крупных экономических центров начали размещать зенитно-ракетные комплексы «С-75», способные поражать цели на высотах свыше двадцати километров.

Как теперь достоверно известно, самолет Пауэрса был разрушен при первом же ракетном пуске — это сделал расчет капитана Воронова. Рискнем предположить, что вместе с зенитчиками к этому приложили руку умельцы одного секретного в ту пору завода (ныне — ВПО «Точмаш» в городе Владимире), их друзья-конструкторы и предприятия-смежники. В этой кооперации на рубеже 60-х в СССР разрабатывались первые неконтактные взрыватели для авиабомб и зенитных снарядов, а потом — для зенитных ракет и ракет «воздух — воздух».

Именно такой дистанционный взрыватель и привал в действие боевую часть ракеты, когда она оказалась на минимальном удалении от высотного «U-2», который не могли достать на двадцати километрах наши истребители-перехватчики «МиГ-21» и «Су-19». Взрывной волной самолет был разрушен, а Пауэрс, чудом уцелевший за бронезащитой двигателя, спасался на парашюте, так и не добравшись до вождельной цели.

А летел он, как утверждают, в направлении нынешнего Новоуральска — известного теперь города атомщиков, которого полвека не было ни на одной туристской карте. Тем самым владимирцы, сами того не подозревая, не только помогли пресечь наглую шпионскую вылазку, но и защитили от посторонних глаз только что пущенный завод по обогащению урана с использованием газовых центрифуг — самое секретное в ту пору предприятие атомной отрасли СССР. И, как оказалось, наиболее перспективное.

Схема Циппе, ноу-хау — Сергеева

На заре создания ядерных вооружений одной из трудно решаемых технологических задач было изотопное обогащение урана. Дело в том, что этот радиоактивный материал встречается в природе в виде смеси двух основных изотопов. Основную долю (чуть меньше 99,3%) составляет уран-238. Содержание более легкого изотопа урана-235 составляет всего 0,7%, но именно он необходим для создания ядерного оружия и работы реакторов.

Разделить изотопы совсем непросто. Их химические свойства идентичны (ведь это один и тот же химический элемент из Периодической системы Менделеева), а разница в атомной массе составляет чуть более 1%, так что физические методы для разделения должны иметь очень высокую избирательность. Этот вопрос в 1950-е годы стал одним из решающих и во многом определил успех советской ядерной отрасли.

Освоенный полвека назад в СССР промышленный метод газоцентрифужного получения урана для военных нужд и ядерной энергетики признан самым эффективным. Он до сих пор обеспечивает нашей стране конкурентные преимущества на мировом рынке ядерного

РАС СЕК Р Е Ч Е Н О

Служба внешней разведки РФ 10

ОСНОВНО СЕКРЕТНО.

412 839

Бомба типа "де" (High explosive).

В конце месяца августа года ожидается прекращение первого взрыва атомной бомбы.

Конструкция бомбы. Антихимическим веществом этой бомбы является элемент 94 с/г применения урана-235. В центре ядра из плутония весом 5 килограмма помещается так наз. координатор - бериллиев-литиевый источник альфа-частиц. Плутоний окружается 50 футами талько-алюид^{х)}, который является "темпером". Все это помещается в капсулу из алюминия толщиной 11 см. Эта алюминиевая оболочка, в свою очередь, окружается слоем взрывчатого вещества "контанит" или "composition C" (по другим данным "composition B") с толщиной стенки 46 см. Корпус бомбы, в который помещаются эти ДВ, имеет внутренний диаметр 140 см. Общий вес бомбы включая контанит, корпус и проч. - около 3 тонн.

Ожидается, что сила взрыва бомбы будет равна силе взрыва 5.000 тонн ТНТ. (Коэффициент полезного действия - 5-6%). Количество "loss" равна $75 \cdot 10^{24}$.

Запасы антихимического материала.

а) Уран-235. На апрель с/г еще добыто 25 килограмм Уран-235. Его добыча в настоящее время составляет 7,5 кг. в месяц.

б) Плутоний (элемент 94). В лагере-2 имеется 6,5 кг. плутония. Получение его налажено, план добычи перевыполняется.

х) талько-алюид - ускоренное название урана (commercial radium for

Из архива
Службы внешней разведки
Российской Федерации

уран-235 или
используется для получения

Ориентировочные взрыв ожидается 10 июля с/г.

Примечание: Служба составила

для лучшей ориентировки в Кургане

Склад контейнеров с гексафторидом урана
на Уральском электрохимическом комбинате



Более 10 миллиардов долларов
поступило в бюджет России от реализации контракта ВОУ-НОУ.

ЦИФРА

топлива и услуг по обогащению. А созданные за пятьдесят лет запасы позволили «Росатому» без ущерба для национальной безопасности продать в США уже более 10 тысяч тонн энергетического урана в рамках соглашения «Мегатонны в мегаватты», заключенного в 1993 году.

Контракт века, как его окрестили тогда, или «Соглашение ВОУ-НОУ», как называют для краткости сегодня, предусматривает перевод высокообогащенного урана из ядерного оружия в низкообогащенный (энергетический) и поставки его из России в США для использования в качестве топлива на атомных электростанциях. В доход Федерального бюджета от этой сделки поступило уже более 10 миллиардов долларов.

Иными словами, на этом направлении научного и технологического прогресса мы с начала 60-х годов прочно удерживаем лидерство. А ведь еще задолго до истории с Пауэрсом о намерении русских получать обогащенный уран на газовых центрифугах, не таясь, рассказал репатриированный из Советского Союза в Германию инженер-физик Гернот Циппе.

Оказавшись среди немецких военнопленных, Циппе до 1954 года проводил экспериментальные исследования под началом своего соотечественника Макса Штеенбека — сначала в Лаборатории «А» в Сухуми (будущий Сухумский физико-технический институт), а последние два года — в особом конструкторском бюро на Кировском заводе в Ленинграде. Штеенбек и Циппе проводили эксперименты по разделению урана еще в рамках атомного проекта нацистской Германии, а после войны им предложили заниматься тем же самым на территории СССР.

Как свидетельствуют участники и очевидцы тех событий, немецкие ученые не знали отказа в материалах для исследований. И режим у них был почти такой же, как у наших секретных атомщиков. В июле 1952 года специальным постановлением правительства Штеенбека и его помощников перевели из Сухумского института в Ленинград, в ОКБ Кировского завода. Да еще усилили группу выпускниками политехнического института с профильной кафедры ядерных исследований. Была поставлена задача — изготовить и испытать два агрегата по схеме Циппе-

Штеенбека. За дело взялись горячо, однако уже в первом квартале 1953 года работу прекратили, не доводя до испытаний: стало ясно, что предложенная конструкция не годится для серийного производства.

Вместе с тем, как полагают специалисты, знакомые с перипетиями атомного проекта в СССР и США, безусловным достижением группы Штеенбека была оригинальная конструкция опорного узла для ротора. В отличие от центрифуги Фрица Ланге (он бежал из Германии еще в 1936 году, а во время войны, работая в Уфе, изготовил громоздкую машину на подшипнике) ротор в центрифуге Штеенбека-Циппе опирался на стальную иглу, а эта игла — на подпятник из сверхтвердого сплава в масляной ванне. И вся эта хитроумная конструкция удерживалась специальной магнитной подвеской в верхней части ротора. Его раскрутка до рабочей скорости также производилась посредством магнитного поля.

Золотое правило «не складывать яйца в одну корзину», которому неуклонно следовали руководители советского Атомного проекта, особенно на его первых этапах, сработало и на этот раз. В феврале того же 1953 года была выведена на рабочие обороты газовая центрифуга с жестким ротором конструкции советского инженера Виктора Сергеева.

За год до этого Виктор Иванович Сергеев с группой специалистов из особого КБ Кировского завода, где он тогда работал, был командирован в Сочи для ознакомления с экспериментами Штеенбека и его интернациональной команды.

— Именно тогда и был задан Штеенбеку сакраментальный вопрос, — утверждает ветеран ПО «Точмаш» Олег Чернов, хорошо знавший Сергеева и работавший вместе с ним.

Вопрос этот про отборники газа в виде трубок Пито был сугубо техническим и содержал, по сути, подсказку, как сделать конструкцию центрифуги работоспособной. Но доктор Штеенбек, съевший зубы, как он считал, на этой теме, проявил категоричность: «Они станут тормозить поток, вызывать турбулентность, и никакого разделения не будет!» Спустя годы, работая над мемуарами, он об этом пожалеет: «Идея, достойная того, чтобы исходить от нас! Но мне она в голову не приходила...».

ФАКТ

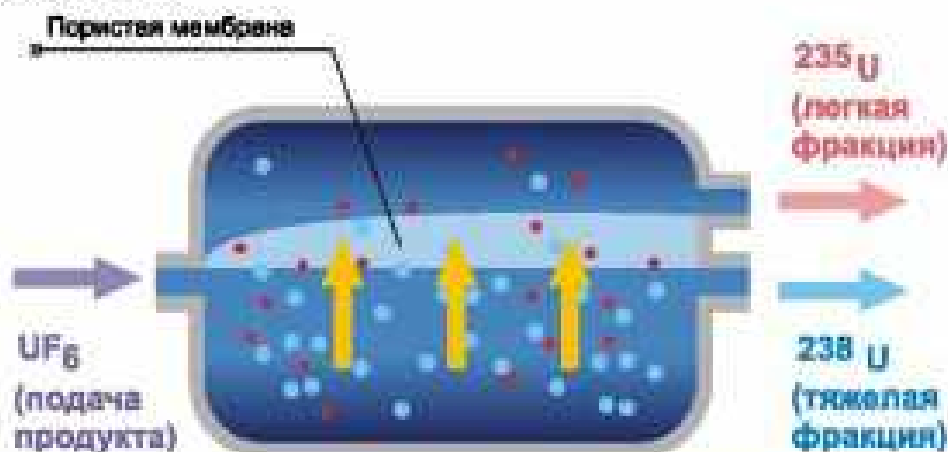
Вопреки бытующему на Западе мнению, что газовая центрифуга является изобретением немецкого ученого Гернота Циппе, который оформил на свое имя патент в 1957 году, первые газовые центрифуги были изготовлены в СССР еще в начале 1953 года. И на это техническое решение было выдано национальное авторское свидетельство, утверждает профессор НИЯУ МИФИ Валентин Борисевич. По его словам, Россия «готова рассекретить национальный патент на изобретение газовой центрифуги», датированный 1953 годом.

Принципы разделения изотопов

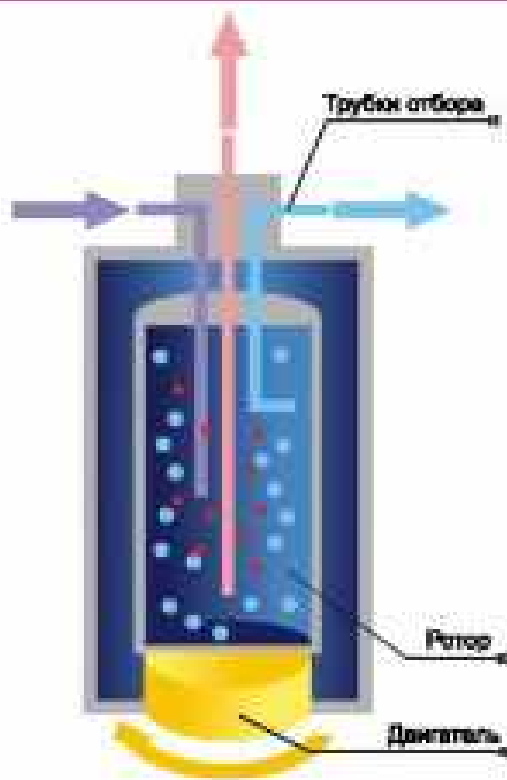
Электромагнитное разделение основано на движении заряженных частиц (ионов) в магнитном поле. В зависимости от массы частиц кривизна их траектории при этом различна, и даже небольшая разница в атомной массе ядер изотопов урана дает возможность их разделения. Такие установки, называемые калютронами, использовались в американском Манхэттенском проекте, поскольку позволяли получить очень высокую степень обогащения урана за считанные проходы. Однако калютроны очень громоздки, дороги в обслуживании, потребляют много энергии и имеют низкую производительность, так что сейчас для промышленного обогащения урана не используются.



Газовая диффузия использует разницу в скоростях движения молекул газа, содержащего различные изотопы урана (гексафторид урана). Различная масса обуславливает различную скорость молекул, так что легкие проходят мембрану с тонкими порами (по диаметру сравнимыми с размерами молекул) быстрее тяжелых. Метод прост в реализации и использовался на заре атомной отрасли в СССР, в США используется до настоящего времени. Степень обогащения каждой ступени очень мала, так что необходимы тысячи ступеней. Это приводит к огромному потреблению энергии и высокой стоимости разделения.

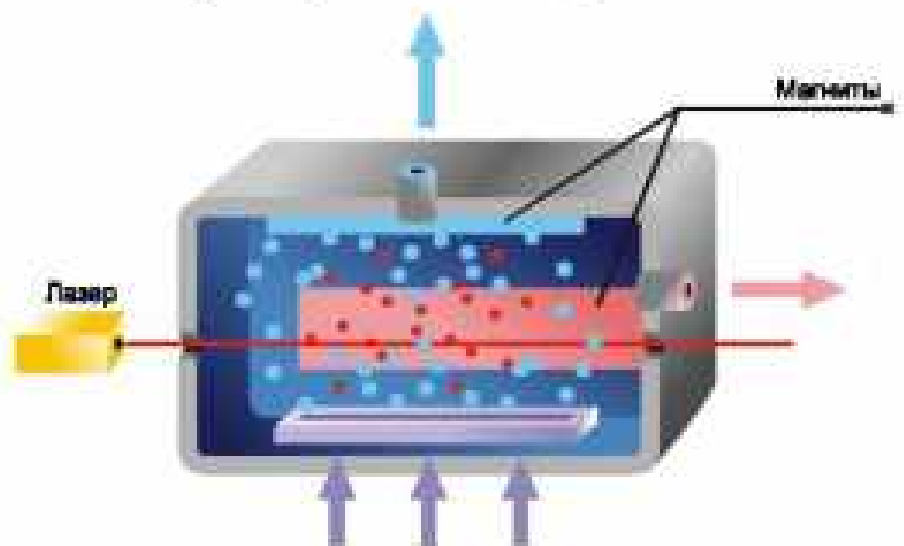


Газовое центрифугирование



с помощью быстро вращающегося ротора закручивает поток газа таким образом, что молекулы, содержащие более тяжелые изотопы урана, центробежная сила отбрасывает к внешним краям, а более легкие ближе к оси цилиндра. Центрифуги объединяют в каскады, подавая с выхода каждой ступени частично обогащенный материал на вход следующей ступени так удается получать уран даже очень высокой степени обогащения. Метод используется в России и странах Европы.

Лазерное разделение изотопов урана основано на том, что молекулы, содержащие различные изотопы, имеют немного различные энергии возбуждения. Облучив смесь изотопов лазерным лучом строго определенной длины волны, можно ионизовать только молекулы с нужным изотопом, после чего разделить изотопы с помощью магнитного поля. Существует несколько разновидностей этого метода воздействующие на атомный пар AVLIS (Atomic Vapor Laser Isotope Separation), SILVA (французский аналог AVLIS), и на молекулы MLIS (Molecular Laser Isotope Separation), CRISLA (Chemical Reaction Isotope Separation) и SILEX (Separation of Isotopes by Laser EXcitation). В настоящее время корпорация General Electric пытается коммерциализировать технологию SILEX, разработанную специалистами из ЮАР и Австралии. Лазерная сепарация имеет низкое энергопотребление, низкую стоимость и высокую степень обогащения (поэтому она используется сейчас для получения малых количеств сверхчистых изотопов), однако пока существуют проблемы с производительностью, со сроком службы лазеров и отбором обогащенного материала без остановки процесса.



«Русская центрифуга»
Циппе в деталях



Геронт Циппе, по словам Олега Чернова, перед отъездом в Германию имел возможность ознакомиться с опытным образцом центрифуги Сергеева и гениально простым принципом ее работы. Оказавшись на Западе, «хитрый Циппе», как его нередко называли, запатентовал конструкцию центрифуги под своим именем (патент №1071597 от 1957 года заявлен в 13 странах). Первые лица в советском атомном ведомстве

тех лет, узнав о таком интеллектуальном коварстве, шум поднимать не стали. Если следовать официальной версии, «чтобы не вызывать подозрений и повышенного интереса к этой теме у военно-технической разведки США». Пусть, мол, думают, что Советы довольствуются неэкономичным, как и у них, газодиффузионным методом...

В 1957 году, переехав в США, Циппе построил там работающую установку, воспроизведя по памяти опытный образец Сергеева. И назвал ее, отдадим должное, «Русской центрифугой». Однако увлечь американцев, распалить их самолюбие не сумел. В отношении новой машины, как в свое время и по конструкции Штеенбека, был вынесен вердикт: для промышленного использования непригодна.

Про секретные иголки и академика Кикоина

А тем временем в Советском Союзе, в мало приметном местечке Верх-Нейвинск на среднем Урале, в обстановке строжайшей секретности монтировалась на площадке действующего диффузионного завода первая опытная линия разделительных газовых центрифуг.

Четвертого октября 1957 года запустили первый спутник — об этом с ликованием узнал весь мир. А о том, что всего через месяц, 4 ноября того же года, в Верх-Нейвинске был пущен опытный завод, на котором обогащать уран стали методом центрифужного разделения изотопов, долго не могли пронюхать самые лучшие разведки мира. В 1958 году завод вышел на расчетный режим и показал, что при таком методе, как минимум, в двадцать (!) раз сокращается энергопотребление на единицу разделения и в два раза снижается себестоимость.

До этого и мы, и наши конкуренты в США получали обогащенный уран на газодиффузионных установках, которыми оснащались первые обогатительные комбинаты. Метод основан на медленном проникновении атомов через пористую перегородку. Этот своеобразный фильтр позволяет отделять одни изотопы от других — в данном случае уран-235 от урана-238.

В США разработки в области газовой диффузии для Манхэттенского проекта велись под началом лауреата Нобелевской премии Гарольда Юри. У нас до 1954 года этим направлением руководил академик Борис Константинов, потом его сменил Исаак Кикоин. Поначалу, как это нередко бывает, метод газовой диффузии с применением фильтров казался доступнее в реализации. Даже при том, что он требовал огромных затрат электроэнергии — Саяно-Шушенская ГЭС и первая очередь Белоярской атомной, как теперь выясняется, прежде всего, для этих целей строились.

Кроме общей дороговизны и низкого КПД метод газовой диффузии был не безопасен для работающих — главным образом, из-за высоких температур и шума в цехах. Плюс большие объемы химически активных смесей под давлением, а это потенциальные выбросы и загрязнение природы.

— То, что газоцентрифужный метод лишен подобных недостатков, было известно с 1895 года. Но попробуй возьми нужный слой из цилиндра, который с бешеной скоростью вращается в вакууме! — восклицает Олег Чернов.

Исаак Кикоин еще в 42-м году сталкивался с газовой центрифугой конструкции Фрица Ланге, изготовленной в Уфе. И даже испытывал ее в своей лаборатории в Свердловске. Те эксперименты желаемых результатов не дали, и академик скептически относился к самой возможности создания промышленных газовых центрифуг. Но в работу включился и в 1971-1972 годах сам предложил использовать центрифугу для получения других химических элементов, в которых была острая нужда.

А до этого случались ситуации поистине комические. Рассказывают, что в один из приездов Кикоина на завод во Владимире, когда там осваивали производство центрифуг третьего поколения, он мимоходом бросил: «Да вы сделайте, чтобы она работала, а теорию мы подгоним!»

Главной бедой самых первых таких установок была их недолговечность. И хотя вращались они

КЛЮЧЕВЫЕ ФИГУРЫ

**Константинов
Борис
Павлович
(1910-1969).**



советский ученый-физик, действительный член АН СССР, внес существенный вклад в разработку методов промышленного разделения изотопов. С 1950 научный руководитель проблемы создания промышленного производства в СССР «нового продукта»: организовал и возглавил Лабораторию исследования физико-химических свойств изотопов. Заведовал созданной им кафедрой физики изотопов Ленинградского политехнического института. Вице-президент Академии наук СССР (1966-1969), в 1968-м возглавил Комитет по ядерной физике АН СССР. Герой Социалистического Труда, лауреат Сталинской (1953) и Ленинской (1958) премий.

поначалу со скоростью «всего» 10 тысяч оборотов в минуту, не просто было совладать с огромной кинетической энергией ротора.

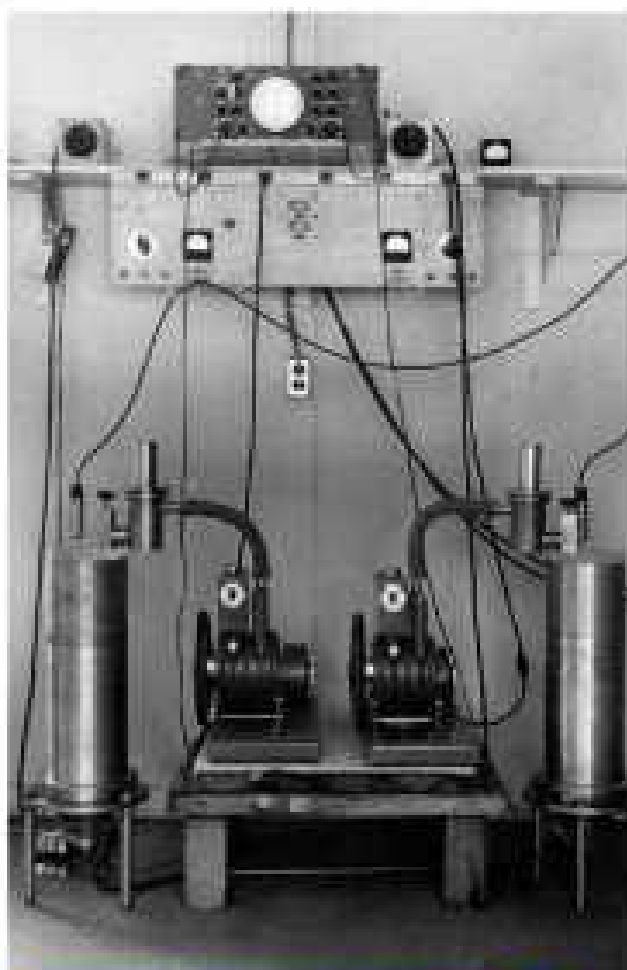
— Машины-то ваши разрушаются! — язвительно упрекнул разработчиков на одном из совещаний в Минсредмаше начальник главка Александр Зверев, имевший звание генерала НКВД.

— А вы что хотели? Чтобы они еще и размножались?! — дерзко парировал руководивший в то время проектом заместитель главного конструктора Анатолий Сафронов.

По первоначальным расчетам, которые сделали привлеченные специалисты, толщина наружных стенок корпуса центрифуги должна была быть 70 миллиметров. Это все равно, что броня на танке. Попробуй такую машину раскрути!

Но методом проб и ошибок нашли-таки компромиссное решение. Был создан специальный сплав — прочнее и легче стали. Корпуса современных центрифуг, которые довелось увидеть во Владимире и даже подержать в руках,

С 1960 года в СССР и России разработано и внедрено в промышленную эксплуатацию восемь поколений газовых центрифуг, сейчас серийно производится девять. При практически неизменившихся весовых, габаритных, энергетических показателях производительность центрифуги увеличена более чем в шесть раз, ресурсная надежность повышена с трех до тридцати лет, а стоимость Единицы работы разделения многократно уменьшена.



Центрифуга первого поколения на испытательном стенде

никаких ассоциаций с танковой броней не вызывают. Обычные с виду пустотелые цилиндры с отшлифованной до блеска внутренней поверхностью. Издали можно принять за обрезки труб с соединительными фланцами на концах. Длина — не больше метра, в диаметре — сантиметров двадцать. И сложены, прямо скажем, без особого почтения — по несколько десятков штук в обычные для механических цехов клетки-поддоны.

На Уральском электрохимическом комбинате из них собраны гигантские каскады длиной в сотни метров. Знаки на стенах и специальная разметка на окрашенном бетонном полу в технологических проходах указывают, что здесь принято перемещаться на велосипеде. Правда, не быстрее 5-10 километров в час.

А внутри гудящих едва слышно центрифуг совсем другие скорости — ротор на игле с корундовым подпят-

ником, «подвешенный» в магнитном поле вакуума, дает теперь 1500 оборотов в секунду! Представляете?

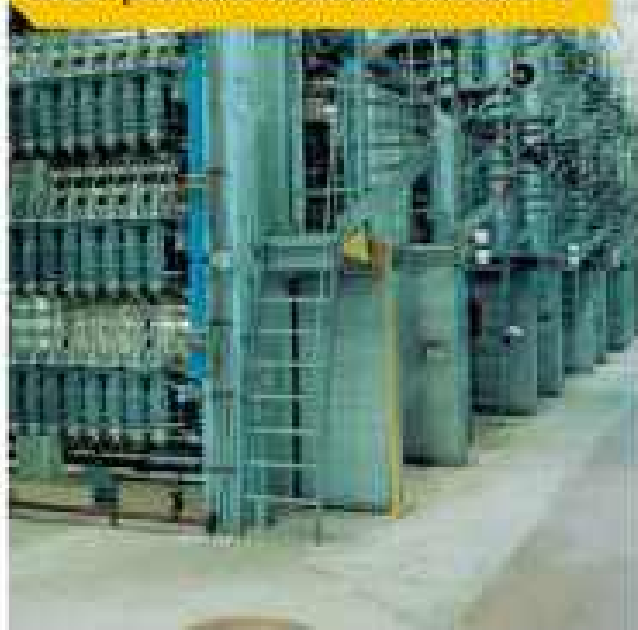
В сравнении с первым изделием ВТ-3Ф 1960 года выпуска разогнали почти в десять раз. А срок безостановочной работы увеличили с трех лет до тридцати. Трудно даже найти другой пример, когда бы наша техника демонстрировала такую надежность при таких экстремальных параметрах.

— На комбинате в Новоуральске еще работают машины, которые поставлялись туда из Владимира тридцать лет назад, — уверял меня инженер «Точмаша» Валерий Лемперт. — Это было, наверное, третье поколение центрифуг, а теперь уже восьмое и девятое...

В 1983 году в серийное производство пошла знаменитая теперь «шестисотка» — «Изделие 351» или «ВТ-33Д». При тех же габаритах и энергопотреблении производительность в сравнении с первым поколением центрифуг была увеличена в шесть раз. Одновременно с этим в разы сократилась стоимость работ по разделению.

Шестое поколение центрифуг, главным конструктором которых был Виктор Иванович Сергеев, в свое время решились продать Китаю. На условиях «под ключ» поставили, смонтировали и запустили три завода. Не так давно Пекин добился от нас контракта на поставку газовых центрифуг для еще одного предприятия, жестко увязав это в пакетное соглашение с контрактом на

Каскад центрифуг на Уральском электрохимическом комбинате



Центрифуга пятого поколения в музее Зеленогорска

строительство второй очереди Тяньваньской АЭС по российскому проекту. Иными словами: вы нам центрифуги, мы вам — подряд еще на два реактора Тяньваньской атомной станции.

Что имеем, то храним. И пока не плачем

Оказавшись на «Точмаше», я не единожды задавал — ветеранам и нынешним руководителям — один и тот же вопрос: как могло случиться, что при столь изощренных методах научно-технической и просто разведки в США, Великобритании, других натовских странах, мы столько лет сохраняли в секрете свой метод обогащения урана и тонкости устройства газовых центрифуг, поставленных на серийное производство.

**Синев
Николай
Михайлович**

(1906 - 1991).

Выпускник МВТУ им. Н.Э. Баумана (1932), инженер-механик, доктор технических наук. Будучи главным конструктором ОКБ Кировского завода и начальником технического отдела Уральского электрохимического комбината, в 40-х - 50-х годах принимал активное участие в разработке центрифужного метода разделения изотопов урана, руководил конструкторскими работами по созданию газовых центрифуг. В 1961-1966 годах заместитель председателя Государственного комитета по атомной энергии, в 1966 - 1986 заместитель начальника научно-технического управления Министерства среднего машиностроения. Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, лауреат Ленинской (1963) и Государственных премий СССР (1943, 1951, 1953, 1967).



Однозначного ответа, конечно, не получил. Но кое-какие моменты прояснились. Режимные ограничения, безусловно, были, и очень жесткие. Иные сохраняются и по сей день. Ведущие специалисты центрифужного производства, по словам Валерия Лемперта, да и он сам, никогда не были и сейчас не могут без специального разрешения выехать за границу. Но этим разве удивишь? Так было заведено почти во всех «почтовых ящиках», на оборонных предприятиях и в системе Минсредмаша. Однако наши технологические секреты, а то и готовые чертежи нет-нет да и уплывали за кордон. А тут — словно заговорили.

— Может, потому, что в конструкции нашей центрифуги ничего сверхсложного нет? А все дело в отработке технологии до мельчайших деталей и строгом контроле качества? — вопросом на вопрос ответила Татьяна Сорокина, которая уже десятки лет «ведет» на заводе технологию изготовления опорной иглы для ротора. Такие иглы, объясняла, делают из обычной рояльной проволоки. Из нее же тянут струны. А вот способ закалки наконечника — это наше ноу-хау, заключила Сорокина. По ее же словам, очень многое значат стабильные отношения с поставщиками. Тот же корундовый камень для подпятников владимирцы уже 40 лет получают из Армении. Одно время были попытки такой же камень найти у себя, но

скоро поняли, что от добра добра не ищут.

Свое объяснение неразгаданному феномену российской центрифуги дал на склоне лет и один из главных ее создателей — Герой Социалистического труда Виктор Иванович Сергеев. По свидетельству инженера Олега Чернова, на вопрос спецслужб, а что же охранять в этом изделии, в чем его главный секрет, конструктор ответил лаконично: «Люди».

Разговорить его, узнать детали и подробности уже нельзя. В декабре 2008 года Сергеева не стало. И двойной юбилей: 75 лет со дня основания завода и 50 — с начала производства во Владимире газовых центрифуг — коллеги и ровесники отмечали без него.

Ленька Фомин, можно сказать, родился и вырос у заводской проходной. Когда-то тут была бумаготкацкая фабрика Белова, где

работала его мать. Потом, после революции и гражданской войны, открыли пролетарское предприятие — фабрику «Пионер». В 30-е годы стали выпускать дефицит — первые советские патефоны и особо прочные иголки к ним. А перед самой войной переключились на взрыватели к минам и снарядам. Фомину пришлось встать к токарному станку в неполные пятнадцать лет, когда отец и старший брат ушли на фронт. В военном 42-м тут ковали, точили, фрезеровали много всего, что требовалось и на передовой, и в тылу. Шесть валов за смену для трактора «Владимирец» поначалу были непосильной задачей. Но сообразительный и рукастый парень быстро освоился и стал выдавать по четыре нормы в день.

— И строгий допуск в 23 микрона всегда выдерживал, — воскрешает то время Леонид Алексеевич. — А когда в 44-м пришла похоронка на отца, не стерпел. Самовольно, с воинским эшелоном, рванул на фронт. Даже матери не сказал — так хотелось отомстить.

В районе Петушков его вычислили и через комендатуру вернули во Владимир. За прогул по «указу 6-25», как его называли меж собой, могли на шесть месяцев вперед скостить четверть зарплаты и урезать хлебный паек. Но парня пожалели и, первым делом, отправили в заводскую столовую.

— С голодухи, — пальцы ветерана от таких воспоминаний слегка дрожат, — я так жадно набросился на горячую кашу, куда чья-то добрая рука еще и кусок масла запустила, что сжег себе и пищевод, и все во рту...

Таким людям, как Леонид Алексеевич Фомин — ветеранам, фронтовикам — почет и уважение не только на стендах заводского музея. С 1963 года на предприятии действует Совет ветеранов. Всем, чьи имена представлены в заводской Галерее трудовой славы, пожизненно выплачивают материальное вознаграждение — в дополнение к пенсии.

КЛЮЧЕВЫЕ ФИГУРЫ

Сергеев Виктор Иванович
(1921-2008).



Выпускник МВТУ им Н.Э. Баумана, он с 1945 года до последних дней жизни был связан со специальным конструкторским бюро Кировского завода в Ленинграде (Санкт-Петербурге), в 1975-1997 годах руководил этим КБ. Сергеев стал одним из активнейших участников разработки центробежного метода обогащения урана и создания самих центрифуг — от первого их поколения до восьмого. За что в 1985 году ему было присвоено звание Героя Социалистического Труда. В. И. Сергеев — автор 53 изобретений в области центробежной техники для разделения изотопов, он лауреат Ленинской премии и заслуженный изобретатель РСФСР. Уже будучи на заслуженном отдыхе, щедро передавал свои знания и опыт тем, кто разрабатывал девятое поколение газовых центрифуг и сейчас работает над десятым.

Патефон
фабрики
«Пионер»



Анатомия волчка, или Как она вертится?

При центрифужном методе разделения за счет высокой скорости вращения создается центробежная сила, превышающая силу тяготения Земли в сотни тысяч раз.

- За счет этого более тяжелые молекулы гексафторида урана-238 «сбиваются» на периферии вращающегося цилиндра, а более легкие молекулы гексафторида урана-235 концентрируются возле оси ротора.

- Через отдельные выводные трубопроводы (типа трубок Пито, о которых говорил советский инженер Сергеев немцу Штеенбеку) газ, содержащий изотопы уран-238, выводится «в отвал», а обогащенная фракция с возросшим содержанием урана-235 перетекает в следующую центрифугу.

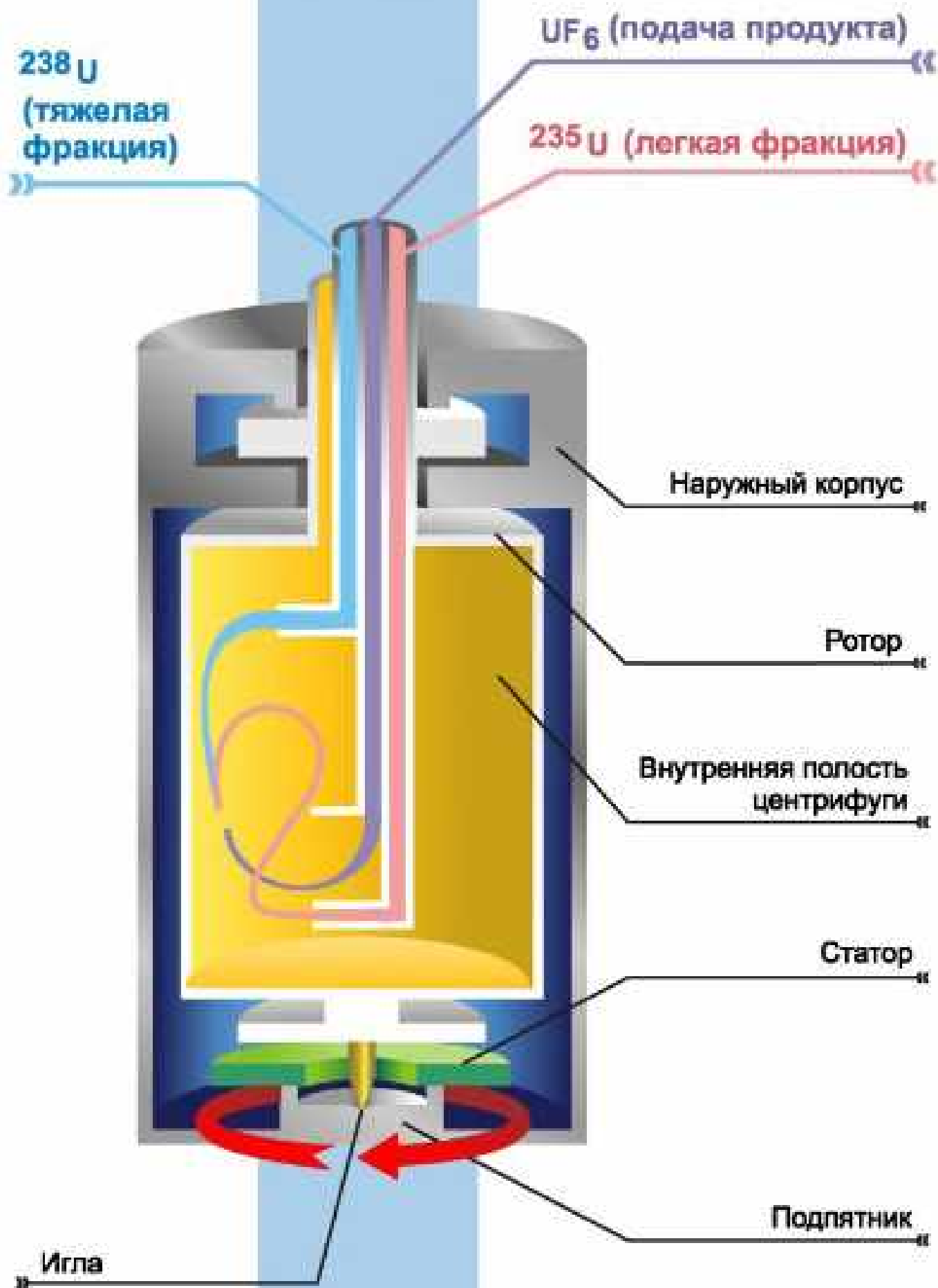
- Каскад таких центрифуг, содержащий сотни и тысячи машин, позволяет быстро увеличивать содержание легкого изотопа. Условно говоря, их можно назвать сепараторами, на которых превращенное в газ урановое сырье (гексафторид урана, UF_6) с низким содержанием изотоп ^{235}U последовательно переводят из консистенции парного молока в сливки и сметану. А при необходимости могут и «масло» сбить довести обогащение до 45%, а то и 60%, чтобы использовать в качестве топлива в реакторах подводных лодок и на исследовательских установках.

- А еще недавно, когда это требовалось в большом количестве, крутили центрифуги до тех пор, пока не получали на выходе дорогущий «сыр» оружейный уран с обогащением более 90%. Но к концу 1980-х на четырех советских комбинатах «насепарировали» столько оружейного урана, что его запасы на складах и в готовых ядерных зарядах были признаны избыточными, и производство высокообогащенного урана для военных целей было прекращено.

1500 оборотов в секунду – с такой скоростью вращается ротор газовой центрифуги.

ЦИФРА

Центрифуга в разрезе



Заводская служба «Милосердие», в штате которой семь человек, оказывает медицинскую помощь на дому одиноким ветеранам предприятия, а таких более ста человек. Часть подопечных этой службы ежедневно получают на дом полноценное горячее питание из заводской столовой. Про стариков здесь вспоминают не только в День Победы — о них не забывают и под Новый год, и в Рождество, и 8 марта, и на Пасху. А по осени, в День пожилого человека, завод организует для ветеранов большой праздник, на который собирается до 300 человек.

USEC contra URENCO: нас не догонишь

В свое время оказавшись в Новоуральске, я стал свидетелем закрытого совещания по перспективам развития газоцентрифужного метода. Но только свидетелем. Журналистов тогда пустили в святая святых — в секретные цеха Уральского электрохимического комбината и позволили увидеть каскады газовых центрифуг в действии. Больше того — посвятили в тонкости процесса «Разубоживания», то есть перевода высокообогащенного оружейного урана в энергетический. Но даже близко не подпустили к дверям, за которыми укрылись приехавшие из Москвы, Санкт-Петербурга, Ангарска, Владимира, Зеленогорска, Коврова, Нижнего Новгорода и Северска ученые, конструкторы, технологи и командиры центрифужного производства.

Специально на это совещание из Института молекулярной физики РНЦ «Курчатовский институт» прилетел академик Юрий Каган. На обратном пути Юрий Моисеевич в самых общих чертах просветил нас, о чем шла речь на совещании, но в детали углубляться не стал. Ясно было одно: на пятки нашим атомщикам наступает со своими центрифугами консорциум URENCO, объединивший в этой узкой сфере интеллектуальные и финансовые возможности трех европейских государств — Великобритании, Германии и Голландии.

Научившись обогащать уран на газовых центрифугах в промышленном масштабе только в конце прошлого столетия, наши

ДОСЛОВНО

«Когда испытывали и проверяли новое, более «оборотистое» поколение центрифуг, один из сотрудников не стал дожидаться полной остановки ротора, отключил ее из каскада и решил перенести на руках на стенд. Но вместо движения вперед, как ни упирался, он с этим цилиндром в обнимку стал двигаться назад. Так мы воочию убедились, что земля вращается, а гироскоп — это великая сила...»

Из воспоминаний бывшего гендиректора УЭХК Александра Куркина.

западные конкуренты немало преуспели в его развитии. URENCO уже сейчас располагает собственными предприятиями в Европе и ведёт строительство завода в США, в штате Нью-Мексико. Глядя на успехи европейцев, в который раз пытается реанимировать свои наработки в этой сфере американская корпорация USEC.

Известно, что еще в начале 80-х министерство энергетики США построило большой завод, центрифуги для которого разрабатывались в Окриджской национальной лаборатории. Однако в 1985 году, когда были установлены и опробованы первые 1300 машин, правительство США постановило закрыть центрифужную программу. Производственные цеха в местечке Пайктон (штат Огайо), по свидетельству очевидцев, на двадцать с лишним лет превратились в мавзолей секретных технологий.

«У нас было такое ощущение, что со временем здание завода превратится в подобие Стоунхенджа, — приводит «Вашингтон пост» слова профессора Хьюстона Вуда из университета Вирджинии. — Люди приходили бы сюда и удивлялись фигурам молчащих исполинов...».

Все это время в Соединённых Штатах продолжали обогащать уран на заводах с газодиффузионными установками. В конце 90-х такие заводы были приватизированы вместе с государственной корпорацией USEC. А с 1999 года, утверждает та же газета, вновь начались работы на расконсервированной площадке в Пайктоне, оставшейся под контролем министерства энергетики США.

Среди привлеченных экспертов оказался бывший сотрудник Окриджской лаборатории Дин Уотерс, возглавлявший американский центрифужный проект накануне его закрытия. Любопытно, что в 60-е годы именно он работал над усовершенствованием конструкции Циппе.

Согласившись на контракт с USEC, Уотерс помог получить старые технические отчёты, компьютерные коды и связанное с производством центрифуг оборудование, хранившиеся в Ок-Ридже.

Тем временем центрифуги 80-х годов в Пайктоне демонтировали, перевозили на секретный полигон в Неваде и



Академик
Ю.М. Каган

На участке сборки
газовых центрифуг



надежно захоронили. А на завод доставили первую партию центрифуг нового поколения.

«В большом пустынном зале она выглядела как группа высоких призраков в белых одеждах, — описывает свои впечатления очевидец. — Внутри каждой центрифуги можно найти пустотелый цилиндр, называемый ротором. Его высота превышает 40 футов, а диаметр составляет почти два фута. Цилиндр сделан из тщательно сплетённых углеродных волокон. Он идеально сбалансирован и, опираясь на иглу, крутится подобно высокому и стройному волчку...»

Ок-Ридж, США



Габариты этих машин, если поверить на слово очевидцу и перевести футы в метры-сантиметры, превышают размеры наших серийных центрифуг в 10-15 раз по высоте и в два-три раза — по диаметру. Самонадеянные американцы уже тогда именовали центрифуги от USEC «технологическим чудом» и утверждали, что они намного превосходят аналоги всех прочих производителей ядерного топлива, включая Россию, Германию, Великобританию, Нидерланды, Пакистан и Бразилию.

Правда, были и другие аналитики, которые резонно полагали, что непроверенным технологиям USEC будет трудно выдержать конкуренцию с URENCO. Но Дин Уотерс из Ок-Риджа и его новые работодатели настойчиво сравнивали американскую центрифугу с «Мерседесом», а машины своих конкуренты — в лучшем случае с «Фольксвагеном».

Согласно планам, к 2005 году предполагалось смонтировать 96 каскадов по 120 американских «волчков» в каждом и «приступить к продаже обогащённого урана для АЭС по всему миру». Однако и к началу 2013 года амбициозный проект в заявленных масштабах так и не был реализован.

1895 — немецкий ученый (физикохимик) Георг Брэди́г, ставший в 1929 году иностранным членом-корреспондентом АН СССР, впервые предложил использовать центрифугу для разделения смеси газов, имеющих различные молекулярные массы.

1919 — после открытия изотопов химических элементов британские физики Фредерик Линдеманн и Фрэнсис Астон (Нобелевская премия по химии, 1922) провели первые исследования и опыты по разделению изотопов с применением газовой центрифуги.

1939 — американским ученым Гарольдом Юри выдвинута идея противоточной центрифуги, в которой используется тепловая конвекция для осевой циркуляции газа внутри ротора.

1941 — немецкие ученые Мартин и Кун теоретически показали, что наибольшие перспективы может дать предложенная в 1939 году американским ученым Гарольдом Юри противоточная центрифуга, в которой используется тепловая конвекция для осевой циркуляции газа внутри ротора.

1945 — постановление Совета народных комиссаров СССР о строительстве диффузионного

завода по обогащению урана Д-1 (ныне Уральский электрохимический комбинат). Создавался на базе ранее возведенных цехов авиационного завода № 813 в местечке Верх-Нейвинск (Свердловская область).

1952 — газодиффузионный метод разделения изотопов урана успешно освоен в Советском союзе. Но поскольку этот метод требовал огромных затрат электроэнергии и ложился тяжелым бременем на экономику страны, руководство Министерства среднего машиностроения СССР по инициативе начальника 4-го Главного научно-технического управления МСМ А. Д. Зверева, обратилось в правительство с предложением о разработке в стране промышленной газовой центрифуги для разделения изотопов урана.



1952, 8 июня — постановление правительства СССР о возложении на ОКБ Кировского завода (главный конструктор Н. М. Синев) задач по созданию промышленной газовой центрифуги для разделения изотопов урана.

1952 — группу ученых-физиков, включая немецких военнопленных Гернота Циппе и Макса Штеенбека, из лаборатории «А» (город Сухуми) переводят в Ленинград, в ОКБ Кировского завода и ставят задачу изготовить два агрегата по схеме Циппе-Штеенбека.

1953 февраль — в ОКБ Кировского завода на рабочие обороты выведена газовая центрифуга с жестким ротором конструкции советского инженера Виктора Сергеева.

1954 — научным руководителем проблемы по газоцентрифужному методу разделения изотопов урана назначен академик И. К. Кикоин, который до этого являлся научным руководителем работ по газодиффузионному методу.

1957, 4 ноября — на площадке газодиффузионного завода в Верх-Нейвинске пущено опытное производство, на котором стали обогащать уран методом центрифужного разделения изотопов.

1957 — вернувшийся в Германию, и затем переехавший в США Гернот Циппе запатентовал под своим именем конструкцию центрифуги (патент №1071597 заявлен в 13 странах как «Русская центрифуга»).

1958 — комиссия Министерства среднего машиностроения СССР во главе с академиком М.Д. Миллиончиковым, оценив работу первой партии газовых центрифуг на Урале, рекомендует развернуть массовое производство центрифуг для обогащения урана.

1960 — по приказу Министра среднего машиностроения СССР на комбинате начато создание первого в мире завода по переработке урана на основе центрифужной технологии.

1964 — завод по переработке урана на основе центрифужной технологии выведен на полную мощность.

1973 — введена в эксплуатацию первая очередь участка «Челнок», обеспечивающего выполнение первых государственных экспортных поставок низкообогащенного урана для атомной энергетики Франции.

1975 — в Стокгольме состоялась первая международная конференция, на которой обсуждались результаты исследований в области газокинетических, лазерных и плазменных методов разделения изотопов (урановых и неурановых), научные основы сепарации изотопов, вопросы нераспространения. Начиная с 1985 года, тематика конференции была расширена, она получила нынешнее название «Разделительные явления

В жидкостях и газах (Separation Phenomena in Liquids and Gases) и проводится раз в два-три года в различных городах мира. Последняя, 10-я конференция состоялась в Бразилии, 9-я в Пекине, 8-я в США. Россия принимала 7-ю конференцию SPLG в 2000 году.

1980 — на УЭХК введена в промышленную эксплуатацию первая промышленная партия газовых центрифуг шестого поколения.

1987 — в СССР завершен газодиффузионный этап промышленного получения обогащенного урана.

1992 — в России показана возможность и создана технология конверсии (разубоживания) высокообогащенного (оружейного) урана в низкообогащенный гексафторид урана и его последующего использования для производства ядерного топлива.

1993 — Россия и США заключили соглашение BOU-NOU.



1995 - по технологии УЭХК начата промышленная переработка высокообогащенного урана (BOU), извлеченного из ликвидируемого ядерного оружия, в низкообогащенный уран (NOU) для атомных станций.

1997 — на УЭХК включен в работу первый технологический блок, оснащенный центрифугами седьмого поколения.

2003 — пресечена контрабандная поставка в Ливию центрифуг PakSat-I, разработанных Пакистанским физиком Абдул Кадир Ханом в 1980 году.



2003 — на Сибирском химическом комбинате (СХК, город Северск Томской области) начата поэтапная замена газовых центрифуг пятого поколения на каскады машин восьмого поколения, которые отличаются повышенной в 2,5 раза производительностью, надежностью и экономичностью. А срок службы вместо прежних 15 — достигает 30 лет.

2004 — в Новоуральске пущен в промышленную эксплуатацию технологический блок, оснащенный газовыми центрифугами восьмого поколения, разработанными на УЭХК.



2012, август — на Ковровском механическом заводе (Владимирская область) начато серийное производство газовых центрифуг девятого поколения. Некоторое время спустя президент топливной компании Росатома «ТВЭЛ» Юрий Оленин сообщил об уже ведущихся разработках принципиально новой центрифуги. «В районе 2014-2015 годов мы сможем, наверное, принять решение о ее запуске в промышленное производство», — заявил Оленин на семинаре «Развитие атомной энергетики — фактор устойчивого межгосударственного сотрудничества».

2012, октябрь — «Сибирский химический комбинат» (СХК, входит в топливную компанию Росатома «ТВЭЛ») завершил плановый этап модернизации газоцентрифужного оборудования и ввел в эксплуатацию блок №26 с центрифугами восьмого поколения. Сумма вложений составила 1,5 миллиарда рублей.

2012 год, декабрь — на Электрохимическом заводе в городе Зеленогорске (Красноярский край) введен в эксплуатацию первый блок центрифуг нового, девятого, поколения. Пуск состоялся 26-го декабря в 12 часов 5 минут. ЭХК стал первым предприятием «Росатома», где в рамках модернизации оборудования началась установка и освоение газовых центрифуг девятого поколения. Вектор развития ЭХЗ был определен в 2011-м году во время визита генерального директора Госкорпорации «Росатом» Сергея Кириенко в Зеленогорск. Перед предприятием поставлена задача стать самым эффективным разделительным предприятием в России и в мире. Сегодня на ЭХЗ сосредоточена примерно треть российских разделительных мощностей, однако в ближайшие годы это соотношение должно измениться. До 2020-го года госкорпорация планирует инвестировать в развитие предприятия до 70 млрд. рублей.



2013, март — «Уральский завод газовых центрифуг» (Город Новоуральск, предприятие топливной компании Росатома «ТВЭЛ») перенастроило свою производственную базу под выпуск газовых центрифуг девятого поколения. Новые агрегаты были направлены в технологические цеха Уральского электрохимического комбината уже в феврале. Существенную роль сыграло то обстоятельство, что на полгода раньше производство подобных центрифуг было запущено на Ковровском механическом заводе, специалисты которого передали уральцам свой опыт.

2013 — на блоке №25 Сибирского химкомбината началось освоение центрифуг девятого поколения.



На заметку

Где рождаются технологии будущего и уже сейчас ждут новых Кикоина, Константинова и Сергеева

Конструкторское бюро «Центротех-СПб»,
Санкт-Петербург

<http://centrotech.ru>

Конструкторское бюро «ОКБ-Нижний
Новгород»

[http://www.ecrgc.ru/
enterprises/science/okb](http://www.ecrgc.ru/enterprises/science/okb)

«Новоуральский научно-конструкторский
центр» (ННКЦ), Свердловская область

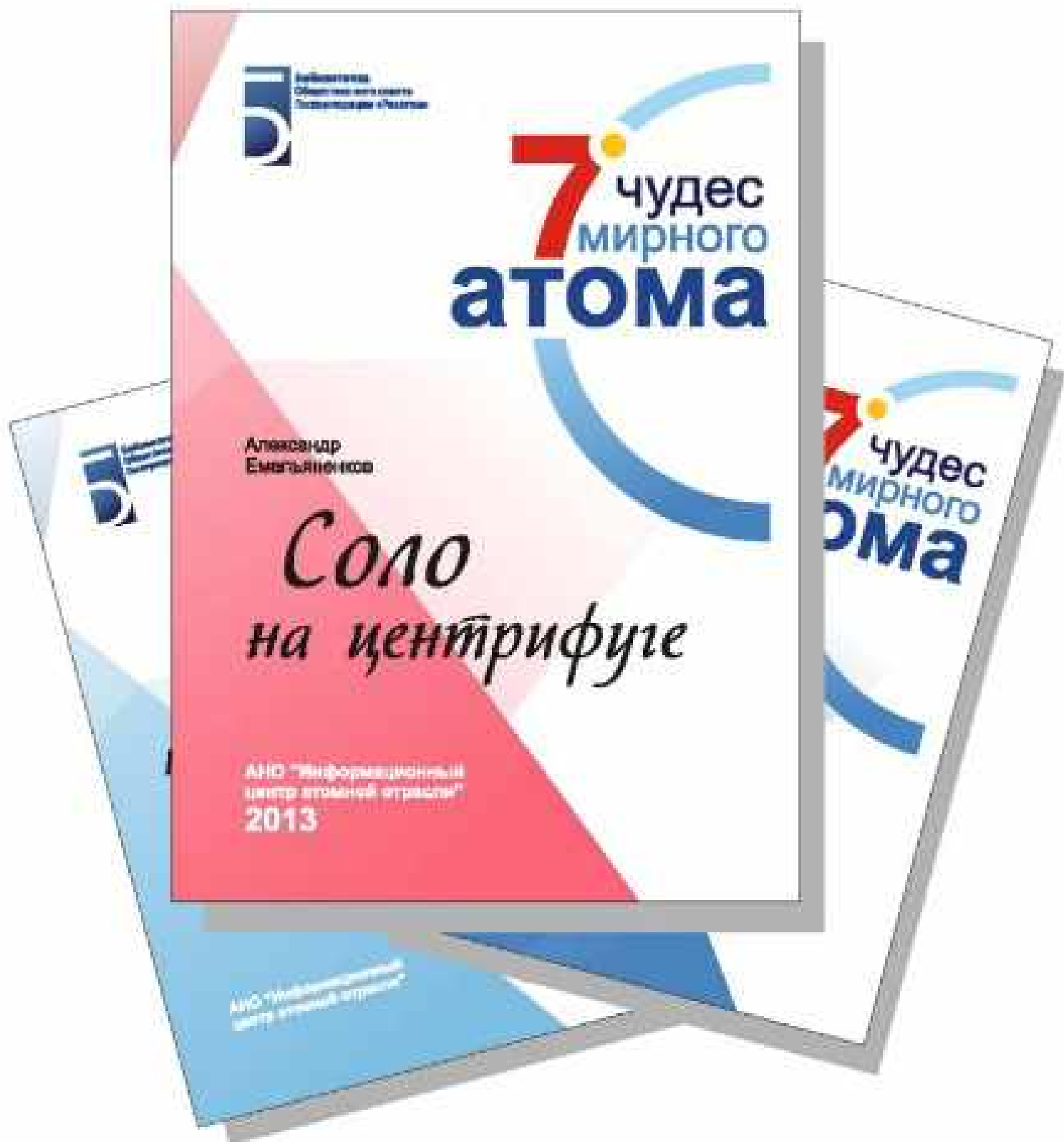
<http://nrdc.ru>

Инжиниринговый центр «Русская газовая
центрифуга», Москва

<http://www.ecrgc.ru>

Серия информационных брошюр “Семь чудес мирного атома”

История и тайны разработки центрифуг.



Атомные ледоколы России.

Как все начиналось — первый реактор.

Александр
Емельяненко

Соло 7 на центрифуге



Библиотека
Общественного совета
Госкорпорации «Росатом»



Издательство: АНО "Информационный центр
атомной отрасли"

Подписано в печать 12.07.2013

Формат: 60x90/16 Бумага: мелованная

Гарнитура: Arial Тираж: 2000 экз.

2013 год