



Уральский электрохимический комбинат (УЭК)

В.А. Баженев, С.Б. Варламов, А.П. Кнутаев,
Д.М. Левин, Г.С. Соловьёв, П.П. Харитонов,
И.А. Шаков, Е.П. Шубян

ОСВОЕНИЕ ГАЗОЦЕНТРИФУЖНОГО МЕТОДА РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УРАНА НА УЭК

ПРЕДИСЛОВИЕ

Почти с самого начала работ в СССР по промышленному освоению центрифужного метода разделения изотопов урана (1952 г.) руководство Министерства среднего машиностроения привлекло к этой проблеме учёных и специалистов комбината 813 (ныне УЭХК). Комбинат к этому времени имел успешный опыт освоения и промышленного развития газодиффузионного метода разделения изотопов урана, в нём сформировался творческий коллектив учёных, инженеров, техников, способный решать сложные научно-технические проблемы.

Начало работ по центрифужному методу разделения на УЭХК относится к 1954 году, когда приказом Министра было предложено создать в ЦЗЛ комбината специальную лабораторию по этому направлению. В 1955 г. Советом Министров СССР было принято решение о строительстве на комбинате 813 опытного завода центрифуг, эксплуатация которого должна была ответить на ряд принципиальных вопросов, определяющих перспективы дальнейшего промышленного освоения центрифужного метода: определить работоспособность и надёжность первых промышленных типов центрифуг и новых систем и приборов жизнеобеспечения центрифужного завода, подтвердить технико-экономические преимущества центрифужного метода разделения изотопов урана.

В 1956 г. на комбинате был создан опытный цех (цех 20), в состав которого входил опытный завод, состоящий из 2432 центрифуг конструкции и изготовления ОКБ ЛКЗ. Пуск опытного завода был осуществлён 2-4 ноября 1957 г.

И уже через 4 месяца успешной эксплуатации центрифуг и всех систем опытного завода Приёмной комиссией МСМ была выдана рекомендация и Министерством вскоре было принято



решение о промышленном внедрении центрифужного метода разделения изотопов урана с организацией массового производства центрифуг на основе конструкции ОКБ ЛКЗ.

Принятые решения стимулировали значительное расширение объёма и направлений работ в отрасли и на комбинате. В опытном цехе и ЦЗЛ был создан ряд новых участков, лабораторий и конструкторских бюро по центрифужной тематике.

Научное руководство творческими коллективами комбината осуществляли научные руководители: М.В. Якутович (1953 — 1962 г.г.), Б.В. Жигаловский (1962 — 1987 г.г.), Г.С. Соловьёв (с 1987 г.). Самое пристальное и постоянное внимание работам на комбинате уделяли научный руководитель проблемы академик И.К. Кикоин и начальник 4 ГУ МСМ А.Д. Зверев.

В 1961 г. на комбинате был пущен в эксплуатацию промышленный участок центрифуг (ГТХ), расположенный в отборной части технологической цепочки, на котором проходили испытания первые промышленные типы центрифуг, отрабатывались регламенты промышленной эксплуатации и режимы совместной работы газодиффузионных и центрифужных заводов.

А 4 ноября 1962 г., ровно через 5 лет со дня пуска опытного завода, был начат пуск первой очереди первого в мире про-

мышленного завода центрифуг. Промышленный завод центрифуг (ГТЗ) был введён в эксплуатацию тремя очередями (модулями) в период 1962 — 1964 г.г. Он был укомплектован серийными центрифугами трёх заводов-изготовителей (ПНО ГАЗ, завод «Точмаш», завод им. Дегтярёва). Большую роль в оснащении центрифужного производства приборами контроля, измерения и автоматики (КИПиА) сыграло строительство на комбинате и ввод в эксплуатацию в 1961 г. приборного завода.

Успешная эксплуатация ГТЗ, подтвердившая технико-экономические преимущества центрифужной технологии разделения изотопов урана, вскоре позволила разработать и принять обоснованную концепцию проведения коренной реконструкции разделительных заводов с заменой в существующих корпусах газодиффузионных машин на газовые центрифуги. На комбинате такая реконструкция была начата в 1966 г. и проводилась до 1985 года. А с середины 1970 годов начинается модернизация и ГТЗ: отработавшие 10-летний ресурс газовые центрифуги первых поколений заменялись более производительными машинами.

Разработанные на комбинате отраслевые регламенты пуска и эксплуатации промышленных заводов, высокая технологическая дисциплина и профессиональная подготовка персонала обеспечили безаварийную эксплуатацию всего комплекса центрифужного оборудования в сложных условиях его непрерывной реконструкции, модернизации и обновления.

В результате реконструкции и модернизации шло динамичное наращивание разделительной мощности комбината с одновременным значительным улучшением его технико-экономических показателей. УЭХК стал самым крупным предприятием в мире по разделению изотопов урана.

Широкое промышленное развитие центрифужного метода явилось результатом творческой плодотворной работы многих коллективов учёных, конструкторов, проектантов, заводов-изготовителей центрифуг и конструкционных материалов, предприятий по разделению изотопов урана и многих других коллективов. Особая заслуга в этом принадлежала руководителям отрасли А.Д. Звереву и И.К. Кикоину. Большую организующую роль имели научно-технические конференции

предприятий, периодически проводившиеся под их руководством.

На комбинате работы по внедрению и промышленному развитию центрифужного метода и реконструкции предприятия проводились под руководством и деятельном участии дирекции: И.Д. Морохова (директор 1957 — 1960 г.г.), А.И. Савчука (главный инженер 1957 — 1960 г.г., директор 1960 — 1987 г.г.), П.П. Харитонова (главный инженер 1960 — 1979 г.г.), В.Ф. Корнилова (главный инженер 1979 — 1987 г.г., директор 1987 — 1995 г.г., генеральный директор 1995 — 1997 г.г.), А.П. Кнутарева (главный инженер 1987 — 1997 г.г., генеральный директор с 1997 г.), А.П. Обыденнова (главный инженер с 1997 г.).

За период 1960 — 2000 г.г. сменилось 7 поколений серийных центрифуг. И на долю комбината выпала основная тяжесть промышленного освоения всех новых типов машин, эксплуатация которых проходила не всегда гладко, а, подчас, и драматично. Почти у всех новых типов центрифуг при массовом их производстве и эксплуатации проявлялись недостатки и замечания, связанные, главным образом, с надёжностью и ресурсом центрифуг, которые не выявлялись на стадии стендовых испытаний. Большой заслугой эксплуатационного персонала и творческих коллективов комбината явилось во всех случаях своевременное выявление и исследование причин этих недостатков и их устранение.

На основе статистических методов исследования надёжности и ресурса центрифуг была разработана система планово-предупредительного ремонта, обеспечившая поддержание высокого коэффициента использования оборудования.

Одновременно на комбинате широко были поставлены работы по совершенствованию конструкции серийных центрифуг, повышению их надёжности, ресурса и производительности. Целый ряд существенных разработок был внедрён в конструкции центрифуг разных поколений. Это во многом способствовало тому, что совместными усилиями и творческим трудом всех заинтересованных организаций существенно был повышен ресурс серийных центрифуг и их опорной пары: от 3 — 5 лет для первых поколений до 25 — 30 лет на современных типах ГЦ.

Значительное внимание уделялось в МСМ и на комбинате исследованиям перспектив развития центрифужной техники, исследованиям новых полимерных и композиционных материалов и путей их оптимального использования. В 1967 г. по решению Министерства в ЦЗЛ комбината был создан комплекс лабораторий по испытаниям и разработке новых материалов. В результате исследований, выполненных в ЦЗЛ и опытном цехе в начале 70-х годов (период изготовления центрифуг 5-го поколения), был разработан ряд направлений существенного совершенствования центрифуг с применением новых конструкционных материалов, которые легли в основу конструкции центрифуги 7-го поколения.

В 1988 г. на базе опытного цеха и лабораторий ЦЗЛ по приказу Министерства был создан Отраслевой научно-производственный комплекс — ОНПК (с 1992 г. — Опытный цех разделительного производства — ОЦРП) с правами Главного конструктора. К середине 90-х годов в ОЦРП были завершены разработки и испытания центрифуг 7-го поколения, с 1996 г. начато их серийное производство, а с 1997 г. — промышленная эксплуатация. Промышленное внедрение центрифуг 7-го поколения проходило в сложных условиях реформ 90-х годов, что потребовало больших усилий и средств в организации массового производства новых конструкционных материалов и новой конструкции центрифуг.

Успешная разработка и доведение до серийного выпуска новой высокопроизводительной центрифуги 7-го поколения подтвердили высокую марку УЭХК, как головного предприятия отрасли.

Комбинат с 1973 года вышел на международный рынок оказания услуг по обогащению урана для ядерной энергетики, успешно конкурируя в этой области с предприятиями зарубежных стран. Центробежная технология обогащения урана обеспечила высокое качество конечного продукта, удовлетворяющего требованиям международного рынка, существенную гибкость в сроках и объёмах поставок, строгое выполнение обязательств по контрактам.

Для того, чтобы в современных условиях успешно конкурировать на мировом и внутреннем рынке услуг по обогащению урана, необходимо обеспечить высокие техникоэкономиче-

ческие показатели производства. Поэтому основой проводимой модернизации являются новейшие научно-технические разработки, возможность скорейшего их внедрения на заводах, изготавливающих оборудование, материалы и комплектующие, освоение и ввод новой техники в эксплуатацию. При большом масштабном производстве этот процесс становится непрерывным.

Сейчас на комбинате завершена модернизация зд. 1011, где установлены центрифуги 7-го поколения с новой системой управления АКСУ-2, разработанной в ОКБ приборного завода комбината и современной системой энергоснабжения, разработанной совместно с ВЭИ. А научно-технические подразделения завершают разработку центрифуг 8-го поколения. Разработка центрифуг новых поколений — это непрерывный процесс и залог дальнейших успехов разделительного производства. На комбинате образовался крупный научный центр (по выражению И.К. Кикоина), которому под силу решение этих задач. Большое влияние на развитие научных кадров оказали созданные на комбинате в 1954 г. аспирантура без отрыва от производства и Учёный совет по защите кандидатских и докторских диссертаций, председателем которого до 1984 г. был академик И.К. Кикоин. За период 1954 — 2000 г.г. по центрифужной тематике работниками комбината были защищены более 50 кандидатских и 6 докторских диссертаций.

За внедрение и развитие центрифужного метода разделения 17 работников комбината удостоены звания Лауреатов Ленинской и Государственной премий, 3 — премии Совета Министров, в том числе пяти работникам присуждена Государственная премия РФ за разработку и промышленное внедрение центрифуги 7-го поколения.

Этот краткий обзор предваряет более подробную историческую справку о событиях и активных участниках почти полувековой истории становления и развития центрифужной технологии разделения изотопов урана на УЭХК.

Составители благодарят за помощь в подготовке и оформлении материала Ю.П. Забелина, Г.А. Лапина, А.А. Пермякова, В.А. Якубовского, а также В.А. Крыщенко — за подготовку фотоматериалов.

В справке широко использованы материалы книги по истории УЭХК [1], авторы которой вправе считаться также и составителями настоящей справки.

ОПЫТНЫЙ ЗАВОД ЦЕНТРИФУГ

Начиная с 1954 года, центрифужная тематика становится одним из основных направлений деятельности ученых и специалистов комбината 813 (УЭХК). Приказом Министра среднего машиностроения СССР № 228 от 1 апреля 1954 года было предложено организовать на комбинате № 813 лабораторию для проведения исследовательских и экспериментальных работ по центрифужному методу разделения изотопов урана.

Приказом директора комбината от 3 мая 1954 года в составе ЦЗЛ создается такая лаборатория. В нее вошли квалифицированные специалисты, начальником лаборатории был назначен П.А.Халилеев. Лаборатория проводила комплекс работ по экспериментальному исследованию характеристик ГЦ, выясняла главные закономерности центрифужного метода разделения, так как теория этого процесса тогда еще только начинала развиваться. Разрабатывались методики исследования центрифуг, проектировались и изготавливались испытательные стенды, приборы.

10 октября 1955 года Совет Министров СССР принимает решение о строительстве опытного центрифужного завода (ОЗЦ) на комбинате № 813 (УЭХК). Начальником опытного завода был назначен В.А. Акинфиев, заместителем М.Л. Райхман. В начале 1956 года по инициативе М.Л. Райхмана при поддержке директора комбината И.Д. Морохова в составе опытного завода был образован экспериментальный участок, персонал которого на первых порах выполнял разнообразные функции, в том числе и обучение персонала опытного завода. Начальником участка был назначен И.А. Шмаков.

Опытный завод ГЦ был построен и смонтирован в 1956-1957 годах на площадях демонтированного ГД завода Д-1. Его

основными задачами являлись испытания в промышленных условиях газовых центрифуг, принципиально новых технологических схем, систем аварийной защиты и технологического контроля, выяснение всех других вопросов, связанных с эксплуатацией нового оборудования, а также выявление резервов повышения разделительной способности, устойчивости и ресурсной надежности ГЦ.

На начальном этапе вызывала сомнение надежность центрифуг, которая по некоторым экспертным оценкам могла быть низкой. Кроме того, вызывала беспокойство система аварийной защиты и ее надежность.

По причине того, что практически все оборудование нигде и никем в промышленных условиях не испытывалось и не эксплуатировалось, технологические схемы не применялись, а сама центрифуга являлась «хрупким» созданием, особенно по сравнению с ГД машинами, и могла выйти из строя по многим причинам, на плечи работников опытного завода легла колоссальная ответственность. Один неверный шаг мог отбросить решение вопроса на долгие годы в лабораторные исследования, а может быть и навсегда похоронить идею промышленного использования центрифужного метода. Результаты работы опытного завода были чрезвычайно важны: должен был однозначно получен ответ на вопрос — возможно ли промышленное использование центрифужного метода для разделения изотопов урана.

На момент принятия решения о строительстве ОЗЦ, специалистов по эксплуатации ГЦ в нашей стране не было. Поэтому весь коллектив опытного завода приобретал знания и накапливал опыт в процессе монтажа и наладки оборудования, а также на экспериментальном участке. Необходима была тщательная подготовка всего обслуживающего персонала, готового правильно и оперативно действовать в любых штатных и нештатных ситуациях. В этих условиях создание экспериментального участка, на котором помимо решения научных и перспективных проблем, на первом этапе решались и многие другие вопросы, необходимые для ввода в эксплуатацию ОЗЦ и дальнейшей его работы, оказалось своевременным.

Параллельно с монтажом каскада ОЗЦ на экспериментальном участке изготавливались и монтировались испытательные стенды для одиночных ГЦ, отдельных агрегатов и нескольких

агрегатов. Здесь же были смонтированы все так называемые двухъярусные монтажные секции с центрифугами Е.М. Каменева, изготовленными в г. Свердловске на Уральском электромеханическом заводе (завод № 707).

Работники экспериментального участка и ученые комбината должны были ответить на непростые вопросы: выявить резервы повышения разделительной способности, устойчивости и надежности ГЦ, определить ориентировочный ресурс ГЦ, сроки и объем планово-предупредительного ремонта.

Когда ученые и специалисты комбината начинали работу с ГЦ, они не представляли себе с какими трудностями и неожиданными поворотами, помимо предполагаемых, им придется столкнуться в дальнейшем. Бывало и такое, когда техническое решение предлагалось довольно быстро, труднее было преодолеть психологический барьер.

Первое, с чем пришлось столкнуться, это получение высокого вакуума. Ранее в таких больших объемах со многими рабочими элементами (ГЦ, коммуникации, приборы АЗ и ТК, регуляторы и др.), с множеством болтовых соединений опыта работы с таким высоким вакуумом не было. Для его обеспечения нужны были не только специально оборудованные откачные системы, но и должна быть обеспечена минимальная натечка воздуха в процессе работы. Высокий вакуум был особенно необходим для разгона роторов ГЦ до заданных оборотов. Время разгона ротора составляло несколько часов, и заметно колебалось в зависимости от величины начального давления и «способности» откачной системы. Время же остановки ротора могло быть до суток и более, что представляло определенные трудности для персонала и приводило к задержке работ.

Внедрение принудительного торможения потребовало проведения длительных испытаний на одиночных ГЦ, агрегатах ГЦ. И только после испытаний на ОЗЦ оно было внедрено, когда все опасения были сняты. Как представлялось, ресурс ГЦ на ОЗЦ может быть непродолжительным, в частности, из-за износа опорной пары, коррозионных потерь, связанных с испарением масла из опоры и попаданием влаги при натечках из атмосферного воздуха, с ухудшением смазочных свойств масла в опоре и других причин. Работы в этих направлениях были начаты еще до включения в работу ОЗЦ.

Для проверки износостойкости опорной пары были созданы специальные «волчковые» стенды с различным повышенным давлением на опору. Через определенное время иглы для определения износа и состояния поверхностей снимались и измерялись, трущиеся части иглы и подшипника осматривались. И хотя в процессе работы некоторые «волчки» разрушались, состояние опорных пар не вызывало опасения, а внедрение в дальнейшем ряда новшеств позволило продлить ресурс опорной пары на годы.

Были проведены испытания для использования в опорах различных типов масел. При этом все опоры (по 80 штук каждого типа) до и после испытаний взвешивались с точностью до 0,01 г. Во всех испытаниях убыли масла не было обнаружено, не зафиксировано и других существенных различий. Выбор сделан в пользу ранее применяемого масла.

На специальных агрегатных стендах ГЦ, оборудованных самопишущими приборами, проводились испытания приборов аварийной защиты (АЗ) с целью выработки требований к параметрам настройки порогов их срабатывания при работе на ОЗЦ.

Известно, что при срыве вакуума ГЦ первых поколений выходили из строя (разрушался ротор), а при определенных натечках, не приводящих к разрушению, ротор может остановиться под рабочим газом, при этом смазка в опоре прореагирует с UF_6 и ее необходимо будет менять, могут забиться и отборники ГЦ. С другой стороны, слишком жесткие требования к параметрам, могут приводить к частому неоправданному срабатыванию АЗ и, следовательно, к нарушению технологического режима. Таким образом, необходимо было найти оптимальное значение, отвечающее обоим условиям. По результатам испытаний были выданы рекомендации для настройки приборов АЗ на ОЗЦ.

При всех аварийных ситуациях аварийный участок технологической цепочки должен отсекается от остального оборудования и очень быстро. Применяемые на ГД заводах моторные клапаны не могли использоваться на ОЗЦ не только по причине их больших габаритов, но и из-за их медленного срабатывания, так как при этом аварийная ситуация распространится дальше. На ОЗЦ впервые были применены быстроза-

порные клапаны со скоростью срабатывания в доли секунды. К сожалению, открывать их приходилось только вручную, что создавало определенные неудобства. В этих и других работах помимо работников экспериментального участка, принимал непосредственное участие и персонал ОЗЦ.

В 1958 году в состав экспериментального участка были переведены работники ЦЗЛ, занимавшиеся центрифужной тематикой. С одной стороны, это позволило значительно расширить работы по повышению разделительной способности и устойчивости ГЦ, увеличению ресурса ГЦ и др. С другой стороны, квалифицированные специалисты лаборатории в условиях ОЗЦ получили более широкие возможности для своих исследований. Значительное время в работе экспериментального участка уделялось испытаниям ГЦ Е.М. Каменева. Несмотря на исключительную работоспособность, настойчивость и изобретательность, Евгений Михайлович зачастую не доводил свои работы до конца и они не получили развития.

Вместе с тем, необходимо отметить, что двухэтажная компоновка монтажных секций явилась прообразом монтажных компоновок будущих промышленных заводов, а ряд решений, использованных в ГЦ Е.М. Каменева, были рекомендованы Приемной комиссией к внедрению в конструкцию ГЦ ЛКЗ.

Частым гостем на экспериментальном участке был научный руководитель проблемы разделения изотопов академик И.К. Кикоин. Он не только рассматривал и обсуждал со специалистами получаемые результаты, но и участвовал в работах непосредственно на стендах.

К сентябрю 1957 года монтаж всего оборудования ОЗЦ был закончен, обслуживающий персонал полностью укомплектован и прошел обучение, в том числе на экспериментальном участке. Подготовлены инструкции по эксплуатации оборудования, электрооборудования и аварийной защиты, противоаварийные инструкции, в последних были прописаны действия персонала в нештатных ситуациях.

Для проведения пуско-наладочных работ, проверки работы электрооборудования и систем АЗ в конце сентября 1-я очередь ОЗЦ (ступени 1-8) была запущена в работу и до 25 октября 1957 года работала на вакууме. Непосредственно перед са-

мым пуском всего ОЗЦ были проведены приемные испытания всей аварийной защиты.

На время пуска и включения в работу технологической цепочки ОЗЦ были твердо установлены все правила и последовательность действий. На каждую операцию составлены на отдельных листах конкретные схемы с указанием всех элементов и их номерами. По этим схемам при пуске производилось оперативное руководство. По всем вышеуказанным документам каждый работник, в пределах своего участка действий, сдавал специальной комиссии экзамены, в том числе и руководители пуска.

По сложившейся в те годы традиции включение в работу ОЗЦ было приурочено к 40-й годовщине Октябрьской революции.

На ОЗЦ было установлено 2432 центрифуги конструкции ОКБ ЛКЗ, изготовленных на Кировском заводе в г. Ленинграде. ГЦ по 16 штук смонтированы в агрегаты на чугунных литых рамах с креплением за статор. ОЗЦ состоял из 80-ти ступеней, соединенных в 25 блоков в одноярусной компоновке. Ступени 1-44 включали в себя один или несколько агрегатов (наибольшее число 7). Ступени 45-80 состояли из 8-ми или 4-х ГЦ, то есть агрегат делился на две или четыре части.

Для поддержания заданного режима работы на трассах тяжелой фракции ступеней 2-44 были установлены снятые с ГЦ завода регуляторы РД с дистанционным управлением, обеспечивавшие необходимую величину корня статике, а также настройку (перестройку) режима работы ступеней с пульта управления. Из-за отсутствия в то время регуляторов малой пропускной способности и отсутствия места для их установки стабилизацию режима на ступенях 45-80 обеспечивали ламинарные сопротивления. Перестройка (настройка) режима на этих ступенях могла быть осуществлена только путем замены ламинаров. Каждый блок был оборудован приборами АЗ от быстрых изменений давления и прорывов воздуха, от превышения давления, от медленных натеканий и в случае необходимости мог байпасироваться.

В течение нескольких дней перед пуском цеха В.А. Акинфиев устраивал после работы ежедневные вечерние «бдения» с ведущими специалистами, начальниками служб, смен, тех-

нологами. На этих «бдениях», продолжавшихся 4-5 часов, еще раз обговаривались вопросы готовности к пуску, возникавшие замечания, происходил обмен мнениями.

Для проведения пуска и обеспечения безаварийной работы оборудования в первые дни эксплуатации помимо постоянного сменного персонала были созданы две пусковые бригады из числа наиболее квалифицированного персонала под руководством опытного технолога. В состав бригады входили 3 инженера-технолога, инженер-электрик, инженер-приборист, инженер-механик. Одну бригаду возглавлял Д.А. Старостин, другую И.А. Шмаков. Бригады сменяли друг друга через каждые 12 часов в течение двух недель.

Накануне пуска руководители бригад сдавали экзамены комиссии, возглавлял которую директор комбината И.Д. Морохов. В состав комиссии входили также главный инженер комбината А.И. Савчук, научный руководитель комбината М.В. Якутович и Приемная комиссия в полном составе во главе с ее председателем М.Д. Миллиончиковым. Учитывая то обстоятельство, что ничего подобного ранее нигде не происходило, первый вопрос, который задавал И.Д. Морохов, звучал так: «Познакомьте нас с тем, что и как Вы будете делать».

Пуск завода был начат 4 ноября 1957 года и был рассчитан на три дня с окончанием 6 ноября. В качестве консультантов — наблюдателей при обеих пусковых бригадах были члены Приемной комиссии. Пуск начинался с отвальной части, то есть со ступеней с самым большим количеством ГЦ (7 агрегатов, 112 ГЦ) и прошел в этой полке сравнительно быстро и без замечаний. Но после включения последней ступени пуск несколько затормозился из-за большого количества легких примесей в ней. Их было так много, что откачка всего отбора 8-й ступени в КИУ не приводила к нужным результатам, ГЦ данной ступени начали выходить из синхронизма (терять обороты). Примерно через час — полтора ступень была снова открыта и заполнена рабочим газом. В дальнейшем пуск проходил без замечаний и в ускоренном темпе.

Здесь необходимо отметить, что методики подготовки ГЦ к пуску не существовало, а используемая на ГД машинах горячая обработка фтором с последующей пассивацией рабочим газом не могла быть применена. К сожалению, вакуумная суш-

ка ГЦ, позволявшая удалять из внутренних полостей основное количество сорбированных легких примесей и влаги была испытана и внедрена значительно позднее.

Накопленный за первые сутки пуска и заполнения опыт позволил значительно ускорить проведение всех операций, и 5 ноября технологическая цепочка ОЗЦ была полностью выведена на заданный гидравлический режим.

Для принятия оперативных решений в нештатных ситуациях с целью недопущения выхода из строя ГЦ и нарушений гидравлического режима пусковые бригады в полном составе, в том же режиме, но без представителей Приемной комиссии продолжали еще некоторое время работать.

Включение в работу ОЗЦ явилось революционным этапом в разделительном производстве. Это был первый в мировой практике опыт массовой эксплуатации газовых центрифуг при работе на гексафториде урана.

Вывод ОЗЦ на расчетный режим по концентрации был осуществлен только 15 января 1958 года. Почему так долго? Ведь гидравлический режим был настроен полностью 5 ноября 1957 года. Соединение последней (отборной) ступени с КИУ отбора на ОЗЦ было выполнено по схеме ГД заводов. В первые дни после пуска из-за большого числа примесей отбор 80-й ступени конденсировался полностью. Когда количество примесей несколько снизилось, начался вывод ОЗЦ на расчетный режим по концентрации. Для этого большая часть отбора 80-й ступени закольцовывалась (возвращалась в 80-ю ступень), расчетная часть должна была отбираться в КИУ. Многочисленные попытки осуществить заданный режим не увенчались успехом, так как ГЦ 80-й ступени выходили из синхронизма из-за накопления в ней большого числа легких примесей.

О.Д. Саблиным и И.А. Шмаковым была предложена и одобрена Приемной комиссией другая схема связи ГЦ-КИУ, по которой весь отбор 80-й ступени конденсировался в КИУ, а необходимая часть возвращалась из КИУ в 80-ю ступень (закольцовка через твердую фазу). К концу декабря 1957 года каскад был выведен на расчетный режим по концентрации. Приведенные выше некоторые случаи, а также те, с которыми пришлось столкнуться в дальнейшем, показывают, что путь первопроходцев не так уж и был усыпан розами, а иногда

был просто драматичен. И только то, что на данном объекте были собраны многие ведущие специалисты разных областей, стало возможным оперативно находить нужные решения и быстро воплощать их в жизнь. Вот список только некоторых специалистов: Ю.П. Антаков, И.А. Банькин, С.И. Барсов, М.А. Валиулин, С.Б. Варламов, И.В. Держинский, Н.Н. Жидков, Ю.П. Забелин, В.К. Землянский, С.Г. Кислицин, Ю.А. Кухмаков, Д.М. Левин, Н.Я. Лобынцев, И.М. Низовцев, В.Д. Петров, Ф.В. Петухов, А.С. Полков, Н.Н. Рыскунова, Л.В. Савельев, Л.А. Шерстобитова, Б.А. Шмелев, Е.П. Шубин, а также рабочие высокой квалификации: С.Т. Костюченков, А.М. Лаврушенко, Е.И. Марамзин, В.И. Пономарев, Н.Ф. Третьяков, В.И. Уваров, Н.И. Шевляков.

Руководство комбината постоянно было в курсе событий и, при необходимости, оказывало помощь. Главный инженер комбината А.И. Савчук в процессе пуска и в первые дни работы часто звонил прямо на ЩТК (щит технологического контроля), где находились руководители пуска, даже в ночное время. Постоянно был в курсе всех событий.

Уже в первые дни работа большого количества ГЦ подтвердила хорошие санитарно-гигиенические условия для работающего персонала: нормальная температура воздуха и практически отсутствие шума. Первые месяцы работы оборудования на ОЗЦ были крайне ответственными и в этом смысле очень тяжелыми. По понятным причинам опыта эксплуатации ГЦ в заводских условиях ни у кого не было. Работа персонала заключалась в основном в поддержании заданного режима и освоении методов и технологии эксплуатации.

Работа ОЗЦ находилась под пристальным вниманием Приемной комиссии. В преддверии первого после пуска этапа работы Приемной комиссии на ОЗЦ производились работы, связанные с комиссионными испытаниями: пуски и остановки, изменения гидравлического режима, что позволило проверить работоспособность ГЦ в условиях более тяжелых, чем условия нормальной эксплуатации отлаженного центрифужного завода.

Первый анализ работы ОЗЦ с обследованием ГЦ происходил в период 01.02.–14.02.1958 года, то есть примерно через 3000 часов работы. По результатам работы ОЗЦ и осмотра боль-

был просто драматичен. И только то, что на данном объекте были собраны многие ведущие специалисты разных областей, стало возможным оперативно находить нужные решения и быстро воплощать их в жизнь. Вот список только некоторых специалистов: Ю.П. Антаков, И.А. Банькин, С.И. Барсов, М.А. Валиулин, С.Б. Варламов, И.В. Держинский, Н.Н. Жидков, Ю.П. Забелин, В.К. Землянский, С.Г. Кислицин, Ю.А. Кухмаков, Д.М. Левин, Н.Я. Лобынцев, И.М. Низовцев, В.Д. Петров, Ф.В. Петухов, А.С. Полков, Н.Н. Рыскунова, Л.В. Савельев, Л.А. Шерстобитова, Б.А. Шмелев, Е.П. Шубин, а также рабочие высокой квалификации: С.Т. Костюченков, А.М. Лаврушенко, Е.И. Марамзин, В.И. Пономарев, Н.Ф. Третьяков, В.И. Уваров, Н.И. Шевляков.

Руководство комбината постоянно было в курсе событий и, при необходимости, оказывало помощь. Главный инженер комбината А.И. Савчук в процессе пуска и в первые дни работы часто звонил прямо на ЩТК (щит технологического контроля), где находились руководители пуска, даже в ночное время. Постоянно был в курсе всех событий.

Уже в первые дни работа большого количества ГЦ подтвердила хорошие санитарно-гигиенические условия для работающего персонала: нормальная температура воздуха и практически отсутствие шума. Первые месяцы работы оборудования на ОЗЦ были крайне ответственными и в этом смысле очень тяжелыми. По понятным причинам опыта эксплуатации ГЦ в заводских условиях ни у кого не было. Работа персонала заключалась в основном в поддержании заданного режима и освоении методов и технологии эксплуатации.

Работа ОЗЦ находилась под пристальным вниманием Приемной комиссии. В преддверии первого после пуска этапа работы Приемной комиссии на ОЗЦ производились работы, связанные с комиссионными испытаниями: пуски и остановки, изменения гидравлического режима, что позволило проверить работоспособность ГЦ в условиях более тяжелых, чем условия нормальной эксплуатации отлаженного центрифужного завода.

Первый анализ работы ОЗЦ с обследованием ГЦ происходил в период 01.02.–14.02.1958 года, то есть примерно через 3000 часов работы. По результатам работы ОЗЦ и осмотра боль-

дует Министерству Среднего Машиностроения СССР принять решение о развертывании массового производства газовых центрифуг на базе ГЦ конструкции и изготовления ЛКЗ сб. 128-01-0012 с внесением в нее конструктивных улучшений и упрощений, отраженных в сборке 128-01-0016, и отмеченных в изложенных выше рекомендациях и замечаниях Приемной комиссии». Требовалась большая техническая смелость, глубокое понимание состояния техники, экономики и перспектив, научная интуиция, чтобы сделать столь ответственное заключение на ограниченной, как мы сейчас представляем, базе испытаний.

Результаты работы оборудования ОЗЦ были рассмотрены 5 мая 1958 года на Научно-техническом совете МСМ под председательством И.В. Курчатова, на котором было принято историческое решение о переходе к промышленному использованию центрифужного метода разделения изотопов урана.

В декабре 1958 года Приемная комиссия подвела итоги годовой работы ОЗЦ и выдала заключение: «Эксплуатация ОЗЦ доказала работоспособность центрифужных установок и механическую надежность машин конструкции и изготовления ЛКЗ и работоспособность системы АЗ и системы ТК. Все это дает основание дополнительно подтвердить ранее выданную рекомендацию о развертывании центрифужного производства и его промышленном внедрении, с учетом изложенных выше замечаний».

К 1959 году стало окончательно ясно, что центрифужный метод будет внедрен в промышленность, но отсутствие в коллективе ОЗЦ расчетной, конструкторской и механической базы сдерживало решение многих проблем, связанных как с изучением действующего оборудования, так и с совершенствованием и разработкой ГЦ следующих поколений. Для интенсификации всего комплекса работ с учетом рекомендаций Приемной комиссии было решено объединить подразделения комбината 813, которые занимались центрифужной тематикой в составе ОЗЦ. Помимо объединения экспериментального участка с лабораторией ЦЗЛ, было организовано два бюро: расчетно-теоретическое во главе с Д.М. Левиным и конструкторское во главе с Ю.А. Кухмаковым. Созданы станочный и слесарно-сборочный участки для изготовления опытных об-

разцов ГЦ и их отдельных узлов. Участок ревизии по разборке и переборке ГЦ был создан ранее.

В феврале 1960 года начальником опытного цеха был назначен М.Л. Райхман, заместителем — Е.П. Шубин, а в декабре 1960 года — И.А. Шмаков (Е.П. Шубин был назначен главным инженером строящегося промышленного завода).

В 1957-1959 годах главной задачей работы ОЗЦ было доказать возможность промышленного использования ГЦ, определить их ресурсную надежность, технологические режимы эксплуатации, проверить работу приборов АЗ и ТК и всей аварийной защиты в целом, изучить поведение оборудования в аварийных ситуациях. Эта задача была успешно решена, что позволило начать в 1959 году серийное производство ГЦ и развернуть строительство промышленного завода.

Вместе с тем к концу второго года работы ОЗЦ возникли неожиданные явления: на блоках 19-25 стало падать давление на трассе питания, а поскольку стоявшие в них на трассах тяжелой фракции ламинары были нерегулируемыми, восстановить режим без остановки ГЦ и замены ламинаров было невозможно. В технологической цепочке стали появляться течи. Но нет худа без добра. Течи отыскивались по заранее разработанной методике, что позволило ее проверить без проведения специальных опытов. При этом, в методику отыскания течей были внесены некоторые уточнения. Все течи были непосредственно в ГЦ, текущие ГЦ выключались из работы, отсекались от агрегата, роторы останавливались.

В сентябре 1959 года были остановлены блоки 23-25, а в феврале 1960 года блоки 19-22. Для проведения большого количества работ в июне 1960 года ОЗЦ был остановлен для реконструкции. Необходимо было выполнить следующие работы:

1. Выяснить причины появления течей в ГЦ.
2. Разобраться с причинами падения давления в трассах питания блоков 19-25.
3. Установить несколько агрегатов ГЦ 2-го поколения, выпуск которых начался на заводах изготовителях.
4. Провести монтаж дополнительных коммуникаций для проверки работы ОЗЦ по двухполочной схеме.

5. Установить на конечных ступенях отборной части на трассах отвала регуляторы давления.
6. Установить взамен устаревших новые приборы АЗ и ТК.

После остановки полностью были демонтированы ГЦ сборок 11 и 12 блоков 19-25, в дальнейшем они не участвовали в работе ОЗЦ. С других блоков сняты все ГЦ с течами и вышедшие из строя по другим причинам.

Разборка ГЦ сборок 11, 12 показала, что причина их ненормальной работы в каскаде была вызвана забитием отборников продуктами взаимодействия гексафторида урана с влагой, парамаи масла и другими соединениями. Отборники этих ГЦ имели тонкие стенки - 0,15 мм. И хотя прямых температурных измерений не проводилось, косвенные оценки показывают, что «носики» отборников имели высокую температуру, что могло явиться одной из причин их забития. В дальнейшем подобные отборники больше не применялись. Осмотр ГЦ с течами позволил определить причину возникновения течей. В июле 1959 года с целью снижения коррозионных потерь (ранее было выяснено, что летом коррозионные потери увеличиваются), а также увеличения разделительной способности и ресурсной надежности ГЦ, температура охлаждающей воды была снижена до $\sim 8^{\circ}\text{C}$.

При осмотре было обнаружено, что у всех текущих ГЦ в масляных ваннах (в проточке верхней крышки) масло отсутствует, а в дне проточки имеется свищ. В проточке верхней крышки нормально работающих ГЦ имеется некоторое количество воды. В металле самой проточки имеется точечная коррозия, приводящая в дальнейшем к образованию свища в дне масляной ванны. Дно масляной ванны покрыто пленкой черного цвета нерастворимой ни в воде, ни в бензине, ни в ацетоне, ни в соляной, ни в серной кислотах. Магнит имеет пятна коррозии. Эти факты явились следствием снижения температуры охлаждающей воды до $\sim 8^{\circ}\text{C}$, в результате чего в масляных ваннах конденсировалась влага из воздуха производственного помещения и возникающая электрокоррозия привела к появлению свищей.

Было принято решение о промывке масляных ванн всех ГЦ и заливке в них нового масла. После пуска по этой причине

вышло еще 12 ГЦ. Как в результате выясненного явления, так и высокой стоимости «плавающих» магнитов, во всех дальнейших типах ГЦ они не применялись.

На место снятых с испытаний ГЦ сборок 11, 12 были установлены ГЦ второго поколения в агрегатной компоновке в количестве 100 ГЦ (5 агрегатов, по 20 ГЦ в каждом), работавших на более высокой скорости. Включение в работу опытного завода состоялось 25-29 июля 1960 года. Последующая работа ОЗЦ показала, что все проведенные при реконструкции изменения были своевременны и необходимы.

После включения в работу ГЦ 2-го поколения быстро начали выходить из строя (разрушался ротор). Потребовалась остановка ГЦ и выяснение причины, которая была найдена быстро. Это было «сползание» в процессе работы крышек с ротора. При первом анализе работы ОЗЦ в феврале 1958 года были обнаружены перетечки рабочего газа в процессе работы из-под крышек ротора в зароторное пространство. Посадка крышек была признана Приемной комиссией несовершенной. Совместными работами сотрудников ОЗЦ и ЛКЗ (Г.С. Минин) непосредственно на УЭХК было проработано несколько вариантов посадки крышек. В конечном итоге наилучшие результаты были получены после существенного изменения технологии сборки. Этот вариант был внесен в конструкцию ГЦ. Введена опрессовка роторов после сборки при определенном давлении.

После реконструкции ОЗЦ, помимо проведения ресурсных испытаний ГЦ, был проведен широкий комплекс технологических испытаний, совершенно необходимых для промышленных заводов с большим количеством ГЦ.

Проведены теоретические исследования нестационарных гидравлических режимов на каскадах центрифуг, в том числе при колебаниях частоты тока и отключении электропитания (М.А. Ханян, Д.М. Левин, Ю.П. Забелин).

Определены оптимальные скорости наполнения и откачки каскада. Лучшим способом откачки газа в аварийных случаях признана откачка в сбросную линию. Определено допустимое количество выключенных ГЦ в ступени, при котором не происходит перегрузки оставшихся в работе ГЦ.

Очень важным было определение максимально допустимой продолжительности отключения электропитания ГЦ на всем

опытном заводе без откачки газа из ГЦ. Всем испытаниям на ОЗЦ предшествовали многочисленные испытания на одиночных ГЦ и агрегатах. Полученные при этом результаты на ОЗЦ только подтверждались и конкретизировались. Что же касается отключения электропитания, то достоверные и окончательные результаты могли быть получены только на большом количестве последовательно соединенных ступеней. Исследовано влияние частоты электрического тока на гидравлику. Определено влияние различных возмущений в каскаде на величину разделительной способности. Оработана методика отыскания течей. Все испытания на ОЗЦ прошли без замечаний, что говорит о тщательной подготовке и профессионализме персонала.

Параллельно с проведением испытаний на технологической цепочке ОЗЦ, на экспериментальном участке проводились работы по многим направлениям, в частности, по поиску способов подготовки ГЦ к длительной работе в составе промышленных заводов.

Уже во время пуска ОЗЦ в ноябре 1957 года было замечено, что при заполнении ГЦ гексафторидом урана возникает большое количество примесей, ведущих к ненормальной работе ГЦ. При постоянном наблюдении за величиной коррозионных потерь было обнаружено, что в начальный период работы ГЦ потери заметно выше. При осмотре внутренних полостей ГЦ, снятых с технологической цепочки ОЗЦ, в их отборниках были обнаружены отложения продуктов разложения гексафторида урана, а отборники с малым проходным сечением забиты практически полностью. Возникла настоятельная необходимость поиска путей устранения этих неприятных явлений.

С высоты наших современных представлений проведение вакуумной сушки смонтированных ГЦ и их последующее фреонирование кажутся само собой разумеющимся. А тогда, в конце 50-х годов, так не представлялось. Потребовались длительные испытания при различных температурах воды по отработке режимов вакуумной сушки. По полученным результатам испытаний был выбран и рекомендован оптимальный по температуре воды и продолжительности режим сушки. Контрольные сравнительные ресурсные испытания на агрегате

ГЦ, не прошедшем вакуумную сушку, и на аналогичном агрегате, прошедшем таковую, показали значительную эффективность сушки.

Выбор режимов снятия отложений в отборниках оказался сложнее. После одних испытаний отборники становились чистыми, после других оставался еще большой налёт. При проверке оказалось, что используемый для чистки фреон содержит до 5-10% вредных примесей. Понадобилась выработка новых ТУ и организация передела по очистке фреона. И только после этого были получены необходимые результаты.

Наличие в составе УЭХК приборного завода оказалось очень выгодным для центрифужного производства, в том числе и для ОЗЦ. В частности, на начальном этапе работы ОЗЦ одна из важных характеристик ГЦ — мощность трения — измерялась с помощью громоздкой установки, состоящей из звукового генератора и осциллографа, и перевозилась на специальной тележке, что представляло определенные трудности. ОКБ приборного завода был разработан компактный измеритель мощности трения, облегчивший труд экспериментаторов и технологов.

Для получения достоверных результатов при оптимизации ГЦ необходима стабильная частота, чего не могли обеспечить применявшиеся вращающиеся генераторы из-за колебаний частоты электрического тока, доходившей до 0,5 гц и более.

По просьбе руководства ОЗЦ ОКБ приборного завода были начаты разработки небольших статических преобразователей для обеспечения электротоком одиночных центрифуг. Они были еще несовершенными, часто выходили из строя, но, обеспечивая постоянную заданную частоту, позволяли получать достоверные результаты.

В марте 1963 года на УЭХК под руководством зам. министра МСМ А.И. Чурина состоялось совещание, на котором в связи с успешным началом в 1962 году пуска и вводом в эксплуатацию первой очереди промышленного центрифужного завода было принято решение о прекращении работы ОЗЦ. ОЗЦ был остановлен 23 апреля 1963 года. Опытный цех переведен в другое помещение.

В апреле 1962 г. начальником опытного цеха был назначен И.А. Шмаков, заместителем — И.В. Дзержинский, а в

феврале 1963г. — Д.М. Левин (И.В. Дзержинский был переведен начальником ЦЗЛ). В такой «связке» руководство опытным цехом осуществлялось до 1992 г.

После остановки ОЗЦ, часть ГЦ каждой сборки была подвергнута тщательным осмотрам и обмерам.

Для проверки предложенной ГСПИ-11 и ОКБ ЛКЗ трехрусной компоновки агрегатов ГЦ на железобетонных колоннах с последующим применением ее на промышленных центрифужных заводах, расположенных в сейсмических зонах, на экспериментальном участке ОЗЦ был произведен монтаж опытного стенда «240» (в дальнейшем стенд был преобразован путем установки дополнительных колонн и навески соответствующего числа агрегатов в стенд «480» для сейсмических испытаний и получения высокообогащенного изотопа U_{235}).

Неприятности начались сразу, еще в процессе монтажа при навеске агрегатов на колонны. На первых консолях, на которые навешивались агрегаты, не удалось даже выставить ГЦ в строго вертикальном положении, что требуется для их нормальной работы.

Консоли были срезаны и на их место установлены консоли другой конструкции. Вскоре после пуска стенда, начался выход ГЦ из строя, в основном по несколько штук сразу (групповые разрушения). В ходе работы, которую сначала возглавил М.В. Якутович, а затем Б.В. Жигаловский, были выяснены конструктивные и проектные недоработки, связанные с отсутствием каких-либо известных ранее разработок по предложенной конструкции. Опыт ОЗЦ, накопленный к этому времени, мало чем мог помочь, так как конструкция агрегата и его навеска на колонны были совершенно другими. Первое, что удалось определить, это недостаточная жесткость вновь установленных консолей, их пришлось снова усиливать.

Постоянно в курсе всех работ ОЗЦ был начальник 4ГУ МСМ А.Д. Зверев. Ежегодно, иногда чаще, на секции НТС заслушивались отчеты о работе ОЗЦ и ходе экспериментальных работ. Один-два раза в год А.Д. Зверев бывал на ОЗЦ, заслушивая результаты проведенных работ, принимая соответствующие решения. А.Д. Зверев в необходимых случаях, будучи на комбинате, заслушивал не только штатных докладчиков, но и де-

журный персонал, присутствовавший при возникновении нестандартных ситуаций.

Во время очередного заседания секции НТС, на одном из заводов-изготовителей при проведении обкаточных испытаний агрегата произошло групповое разрушение всех ГЦ (20 штук). А.Д. Зверев из числа присутствовавших на секции сформировал комиссию в составе М.Д. Миллионщикова, Х.А. Муринсона, Н.М. Лысцова, И.А. Шмакова и направил ее на завод для выяснения причин выхода. Комиссия очень быстро установила, что причина разрушения ГЦ агрегата явилась следствием отсутствия усилия продольной стяжки агрегата, гайки продольной стяжки повернулись на 2-3 оборота. В ЧТД усилия продольной стяжки не регламентировались. Кроме того, оказалось, что при одиночном или групповом разрушении продольная стяжка ослабевала и ее необходимо было восстанавливать.

После установки новых консолей, внесения в ЧТД оптимального усилия продольной стяжки, количество групповых разрушений (при принудительном разрушении одной ГЦ) несколько снизилось. Полностью устранить групповые разрушения или хотя бы снизить их до приемлемого уровня не удалось.

Сложность проблемы и важность ее быстрее разрешения заключалась в том, что агрегаты на промышленном заводе уже были навешены на колонны и требовалось найти такое решение, которое исключало бы групповые разрушения, но не требовало переделки самих ГЦ. На стенде «240» велись интенсивные работы по поиску такого решения. Было испытано много вариантов крепления ГЦ в агрегате, разрушено много ГЦ, но нужного решения не находилось. Об интенсивности работ говорит такой факт. Во время проходившей на УЭХК научной конференции, совпавшей по времени с проведением указанных работ, на замечание руководителя конференции А.И. Чурина о слабой интенсивности испытаний, один из докладчиков под общий смех участников ответил: «Стараемся, Александр Иванович, бьем машины в три смены».

И только использование «двойной иглы», разработанной в 1959 году на экспериментальном участке ОЗЦ, позволило свести количество групповых разрушений к минимуму, вполне

приемлемому на первых порах для смонтированных ГЦ на промышленном заводе. Требовалась только замена игл и некоторые другие переделки. Все другие решения как предлагавшиеся, но неудачные, так и те, которые были разработаны позднее и вошли в конструкции ГЦ следующих поколений, требовали той или иной переделки ГЦ.

27.10.1964 года коллективу авторов в составе Б.В. Жигаловский, В.Ф. Корнилов, Д.М. Левин, Ф.В. Петухов, А.И. Савчук, П.П. Харитонов, И.А. Шмаков было выдано авторское свидетельство на изобретение № 28810.

На стенде «480» были проведены испытания с моделированием сейсмических воздействий (Е.К. Львов, Б.Н. Серегин). Вместе с выполненными одновременно расчетами колебаний конструкций при землетрясениях (Б.В. Жигаловский, Д.М. Левин, Ю.П. Забелин) были выданы рекомендации о возможности применения многоярусной компоновки агрегатов в пятибальной сейсмической зоне при определенных требованиях к параметрам колонн (частоте и декременту колебаний). Впоследствии подобная компоновка была применена на промышленных заводах. Выданные рекомендации были достаточно «смелыми», поскольку для машин первых поколений, которыми комплектовался промышленный завод центрифуг, расположенных на верхнем ярусе, оставалась определенная вероятность отказов при землетрясении. Было ясно, что для следующих моделей более скоростных центрифуг следует разработать специальные меры по обеспечению их сейсмической безопасности.

На ОЗЦ и в его подразделениях решено множество вопросов, давших в конечном итоге путевку в жизнь газовым центрифугам для использования их при разделении изотопов урана в промышленных масштабах.

1. Газовые центрифуги могли работать без остановки в течение длительного времени. За время работы в течение 5,5 лет ГЦ первого поколения их физический ресурс далеко не был исчерпан. Среднегодовой выход ГЦ за 5,5 лет составил около 0,8 %, что в тот период являлся хорошим показателем. Увеличения выхода ГЦ из строя к моменту остановки ОЗЦ зафиксировано не было.

- В процессе работы ОЗЦ в ГЦ были выявлены ряд недостатков и резервов, что позволило уже в ГЦ второго поколения внести некоторые изменения (замена магнита, деаэрация масла, изменение компоновки агрегата и увеличение ГЦ в нем, совершенствование технологии посадки крышек ротора и др.).
2. Определены оптимальные температурные режимы работы ГЦ, даны рекомендации по их охлаждению.
 3. Подтверждена недопустимость попадания воздуха в ГЦ как с точки зрения нарушения их устойчивости, так и с точки зрения увеличения коррозионных потерь, которые, в свою очередь, могут приводить к забитию отдельных элементов ГЦ.
 4. Испытаны приборы АЗ и ТК, проверена и рекомендована для применения на промышленном заводе аварийная защита в целом.
 5. Исследовано поведение ГЦ и АЗ в различных аварийных ситуациях, разработаны и подтверждены на практике методики выхода из аварийных ситуаций, действия персонала при этом.
 6. Отработана методика отыскания течей в каскаде.
 7. Разработана методика массового торможения ГЦ полем переменного электрического тока.
 8. Определены возможные скорости наполнения и откачки каскада и отдельных ступеней. Определена величина корня статики.
 9. Предложен и проверен длительной эксплуатацией способ взятия отбора через твердую фазу, то есть закорцовкой через КИУ.
 10. Исследовано влияние на гидравлику каскада длительного выключения в одной из ступеней определенного числа ГЦ; допустимого времени отключения электропитания всего каскада; снижения частоты питающего тока; различных гидравлических возмущений.

11. Проведены первые длительные испытания ГЦ, которые предназначались для серийного производства. В ходе испытаний были выявлены ряд недостатков, в том числе сползание крышек ротора. Разработаны способы устранения выявленных недостатков с выдачей соответствующих рекомендаций.
12. Проведены широкомасштабные испытания предназначенной для использования на промышленном заводе компоновки агрегатов ГЦ на железобетонных колоннах. По выявленным просчетам и недостаткам даны соответствующие рекомендации.
13. Разработана, испытана и внедрена в короткие сроки «двойная игла», снявшая проблему групповых разрушений.
14. Показана возможность получения чистых изотопов урана.
15. Подготовлены кадры для работы на промышленном заводе. Перед пуском промышленного завода из опытного цеха было передано около 50 % наиболее квалифицированных специалистов: аппаратчиков, электриков, прибористов, слесарей, инженеров, начальников смен.
16. Результаты эксплуатации опытного завода центрифуг и проведенных на нем опытных работ позволили сделать вывод о работоспособности и надежности ГЦ; возможности дальнейшего совершенствования ГЦ с целью увеличения их разделительной способности и ресурсной надежности; правильности выбранных принципиальных решений по аварийной защите, технологическому контролю и автоматическому регулированию. Выданы рекомендации по проектированию и строительству промышленных заводов.

Создание опытного завода центрифуг предопределило колоссальный прорыв в технике разделения изотопов урана. Промышленные заводы центрифуг получили в основном готовые методики ведения технологических режимов в различных ситуациях, подготовленный персонал разных специаль-

ностей. Установленные на промышленных заводах ГЦ работами ОЗЦ были «освобождены» от многих недостатков.

За разработку и освоение центрифужного метода разделения изотопов урана в 1961 г. наряду с учеными и конструкторами ИАЭ и ОКБ ЛКЗ работникам комбината М.Л. Райхману, П.А. Халилееву, И.А. Шмакову была присуждена Ленинская премия.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ ЦЕНТРИФУЖНОГО МЕТОДА НА УЭХК.

ПРОМЫШЛЕННЫЙ УЧАСТОК ЦЕНТРИФУГ

Успешная эксплуатация опытного завода центрифуг показала перспективность центрифужного метода разделения изотопов урана и целесообразность его промышленного внедрения.

Было признано целесообразным на первом этапе промышленное внедрение центрифужного метода произвести на отдельном небольшом производственном участке. При этом ставились задачи по доработке систем крупного центрифужного завода, проверке их в условиях промышленной эксплуатации, а также по отработке методов эксплуатации и ведения технологического процесса при совместной работе центрифужного оборудования в единой технологической цепочке с диффузионным оборудованием. Поэтапное внедрение центрифуг, начиная с проектирования и строительства такого участка, позволяло наилучшим образом осуществить решение стоящих в то время задач.

Руководство комбината: директор И.Д. Морохов, главный инженер А.И. Савчук, научный руководитель М.В. Якутович — в январе 1959 года в письме начальнику Главного управления химического оборудования (ГУХО) Минсредмаша А.Д. Звереву аргументировано доказали, что строительство перво-

го промышленного газоцентрифужного завода целесообразно начать на Урале. Они обосновали это тем, что на комбинате работали высококвалифицированные кадры, имевшие опыт эксплуатации оборудования на опытном заводе, имелась необходимая экспериментальная база в виде лабораторий и технологической цепочки опытного завода, ЦЗЛ располагала крупными учёными по смежным областям науки и техники, способными решать весь комплекс задач, связанных с пуском и эксплуатацией промышленного завода. Комбинат также обладал конструкторской и производственной базой по разработке и изготовлению вспомогательного оборудования, аппаратуры технологического контроля и аварийной защиты оборудования.

Министерство согласилось с приведенными доводами. Первый промышленный участок центрифуг был установлен в отборной части технологической цепочки завода Д-4 взамен устаревших маломощных диффузионных машин ОК-19 и Т-44. Строительство такого участка позволило ускорить промышленное внедрение центрифуг, так как для его размещения была использована площадь, освободившаяся при демонтаже части диффузионных машин.

Участок ГТХ (газотурбинный «хвост»), как он в то время назывался, был построен при одноярусном расположении агрегатов центрифуг и был укомплектован газовыми центрифугами первого поколения — изготовленных ЛКЗ и второго поколения — трёх заводов-изготовителей. Пуск участка был осуществлён в июне-сентябре 1961 года. За четыре месяца работы участка ГТХ в виде самостоятельной технологической цепочки был накоплен необходимый опыт эксплуатации большого количества машин и завершены подготовительные работы, обеспечивающие газовую связь между центрифужным и диффузионным оборудованием.

9 ноября 1961 года ГТХ был включён в отборную часть технологической цепочки комбината. С этого времени начался основной этап промышленного использования центрифуг. Его эксплуатация в дальнейшем показала надёжность совместной работы центрифуг и диффузионных машин и позволила отработать методики регулирования технологического режима завода центрифуг. ГТХ стал, по сути, первым в мире опытом

совместной работы диффузионных машин и центрифуг в единой технологической цепочке. Руководили вводом ГТХ в эксплуатацию Б.Ф. Алейников (начальник Управления 27 — управления разделительного производства комбината), Г.А. Иванов (заместитель начальника Управления 27), Н.П. Бисярин (старший инженер наладочного бюро Управления 27), руководители цеха 45 (завода Д-4) А.Н. Зырянов, В.И. Булычев, Д.А. Старостин.

Руководство комбината воочию убедилось в перспективности промышленного применения центрифужного метода и стало настойчиво добиваться форсирования строительства промышленного завода. В Минсредмаше ещё до конца не определились где строить первый завод — на Урале или в Сибири. Директор комбината И.Д. Морохов в январе 1960 года направляет письмо Е.П. Славскому о недопустимости переноса срока начала строительства промышленного ГЦ завода на комбинате № 813 с 1960 года на 1961 год. Одним из ключевых аргументов, который мог перевесить чашу весов в пользу комбината, стало предупреждение о возможных трудностях выполнения семилетнего плана по выпуску высокообогащённого урана, утверждённому комбинату.

Длительная эксплуатация опытного завода газовых центрифуг, создание промышленного образца и освоение серийного производства центрифуг второго поколения позволили в короткие сроки спроектировать и осуществить на комбинате строительство первого в мире промышленного завода с центрифужной технологией разделения изотопов урана.

ПЕРВЫЙ В МИРЕ ПРОМЫШЛЕННЫЙ ЦЕНТРИФУЖНЫЙ ЗАВОД.

22 августа 1960 года приказом Министра среднего машиностроения было утверждено проектное задание, разработанное ГСПИ-11 (ныне ВНИПИЭТ), на строительство первого в мире завода газовых центрифуг на комбинате № 813, в то время названного «газотурбинным заводом» (ГТЗ).

К центрифужному заводу предъявлялись беспрецедентные в истории мировой техники требования по обеспечению его безаварийной эксплуатации. Это объяснялось тем, что на таком предприятии в единой технологической цепочке работа-

ют сотни тысяч машин. Поэтому нарушение режима работы может привести к массовому выходу из строя центрифуг, к нарушению технологического режима работы технологической цепочки. В связи с этим проектным заданием было предусмотрено проектирование целого комплекса систем и устройств, обеспечивающих практическую нечувствительность завода по отношению к любым неполадкам и аварийным ситуациям. В частности к таким системам относятся системы контроля работы каждой центрифуги, системы контроля технологического процесса, системы автоматики и аварийной защиты оборудования, сбросная и откачная системы. Степень автоматизации центрифужного производства на порядок выше диффузионного.

Чрезвычайные требования предъявлялись и к герметичности машин и технологического оборудования. Монтаж требовалось осуществить в сравнительно короткие сроки, поэтому были разработаны специальные приёмы его проведения, оснастки и схемы работ. Предстояло проверить не только готовность и качество монтажа основного оборудования — сотен тысяч центрифуг, но и правильность принятых проектных решений, работоспособность всего комплекса систем.

Большое внимание ускорению строительства ГТЗ уделяли Министр Е.П. Славский и начальник ГУХО А.Д. Зверев, деятельность которого в деле внедрения центрифужного производства играла решающую роль.

12 ноября 1960 года Е.П. Славский во время посещения комбината подробно ознакомился с итогами трёхлетней эксплуатации опытного завода центрифуг, а также с состоянием научно-исследовательских работ, проводимых на экспериментальном участке опытного завода и лабораториях ЦЗЛ комбината по центрифужной тематике. После обсуждения вопроса строительства первого промышленного завода центрифуг Е.П. Славский подписал поручение директорам ГСПИ-11 и комбината № 813 о совместном составлении в декабре 1960 года заказных спецификаций на оборудование и материалы для обеспечения строительства первой очереди завода.

Для организации подготовительных работ, рассмотрения и согласования проектов, своевременного заказа оборудования и решения отдельных проблемных вопросов при строительст-

ве завода в декабре 1960 года приказом директора комбината И.Д. Морохова была создана дирекция строящегося объекта № 28 (ГТЗ). Этим же приказом главным инженером завода был назначен Е.П. Шубин (1964-1992 годах — руководитель разделительного производства, заместитель главного инженера комбината), начальником техотдела завода — Е.С. Худяков.

В январе — апреле 1961 года в состав дирекции были назначены высококвалифицированные специалисты: В.К. Землянский — главным энергетиком, К.И. Косотуров — главным механиком, Н.Я. Лобынцев — главным прибористом.

На дирекцию объекта была возложена ответственность за проведение первоочередных подготовительных работ по всем направлениям, начиная с проектной документации, поступающей на комбинат, её тщательного рассмотрения и выдачи заключений.

Понимая важность проблем строительства, назначенный в декабре 1960 года директором комбината А.И. Савчук уделял подготовке к пуску ГТЗ самое пристальное внимание. А.И. Савчук и главный инженер комбината П.П. Харитонов оказывали всемерную помощь дирекции завода в рассмотрении проектной документации, привлекая к подготовке заключений по проектам лучших специалистов комбината. В результате проведенных согласований рабочая проектная документация выдавалась оперативно и достаточно высокого качества, что обеспечило своевременное выполнение работ строительными и монтажными организациями.

Генеральным подрядчиком строительства ГТЗ было назначено Средне — Уральское управление строительства. Субподрядными организациями являлись Монтажно-строительное управление № 2 (механический монтаж), Монтажно-строительное управление № 72 (электромонтаж), Монтажно-строительное управление № 70 (наладочные работы электромонтажа). Выполнение наладочных работ систем КИПиА, являющихся последней предпусковой операцией, выполняла наладочная группа отдела главного прибориста комбината.

Ввиду отсутствия в стране, в то время, специализированных организаций, способных осуществить качественный монтаж технологического оборудования, комбинат взял выполнение этих работ на себя. Для этого был образован цех ревизии

центрифуг (цех № 29, нач. цеха С.С. Самойленко, зам. нач. цеха Р.В. Голубев). Контроль за выполнением требований проектной и конструкторской документации при монтаже технологического оборудования был возложен на отдел технического контроля (ОТК) комбината.

Курирование монтажа технологического оборудования и проведение пуско-наладочных работ были поручены пуско-наладочной группе управления разделительного производства и технологическому персоналу ГТЗ.

В начальный период строительства первой очереди основного корпуса возникали некоторые затруднения, связанные с особенностями строительной части. Поэтому для решения отдельных вопросов, которые могли привести к задержкам строительства, привлекались такие видные учёные как академики И.К. Кякоин, М.Д. Миллиончиков. На строительство для решения отдельных оперативных вопросов по ускорению работ неоднократно приезжал заместитель Министра по строительству А.Н. Комаровский. Так одной из трудностей при строительстве в начальный период была установка опорных железобетонных рам для навески агрегатов центрифуг при трёхъярусной компоновке. К установке рам предъявлялись очень жёсткие требования в части допусков по отклонениям от вертикали и расстояниям между рамами. Всего в корпусе необходимо было установить более четырёх тысяч рам и трудности в их установке могли привести к срыву сроков сдачи корпуса под монтаж технологического оборудования. Решение проблем в начальный период строительства позволило в дальнейшем монтаж рам произвести в установленные сроки.

При проектировании второй очереди была предусмотрена установка центрифуг третьего поколения, в связи с чем оказалось, что компоновка технологического оборудования, аналогичная первой очереди не годится. Вопрос принципиального подхода к компоновочным решениям и диаметрам трубопроводов газовых коммуникаций при дальнейшем проектировании рассматривался в ноябре 1961 года у первого заместителя Министра А.И. Чурина. Было принято решение: при проектировании последующих очередей и объектов принять диаметры газовых коммуникаций, удовлетворяющих все последующие поколения машин, хотя это ведёт к некоторому удоро-

жанию строительства. Это решение полностью оправдало себя, так как при дальнейшей модернизации оборудования ГЦ заводов не потребовалась замена газовых коммуникаций.

В ноябре 1961 года, когда назрела необходимость в приёмке под монтаж технологического оборудования первой очереди здания ГТЗ, директором ГТЗ был назначен Н.Ю. Желтковский, ранее работавший главным механиком комбината.

В конце 1961 года и начале 1962 года началось комплектование кадров объекта. Дирекция комбината предоставила руководству нового завода привилегии при подборе квалифицированных специалистов и рабочих из опытного завода, с участка ГТХ завода Д-4 и других подразделений комбината. Для ГТЗ потребовались специалисты всех направлений: технологи, прибористы, электрики и механики. В числе первых на объект были направлены А.С. Полков — начальником технологической службы, С.И. Барсов, Г.В. Лавров, И.М. Низовцев, В.Д. Петров — начальниками смен, В.И. Камаганцев — начальником ВПП (высокочастотная преобразовательная подстанция).

Весь персонал, независимо от опыта работы на аналогичном производстве, прошёл обучение на опытном заводе, участке ГТХ, ГТЗ, в электротехнических цехах комбината. В мае 1962 года в составе наладочного бюро управления № 27 была организована специальная наладочная группа для приёмки из монтажа и наладки основного оборудования ГТЗ. В дальнейшем в 1964 году группа была преобразована в самостоятельное наладочное бюро по центрифужному оборудованию. Наладочную группу (бюро) возглавил Н.П. Бисярин. В дальнейшем начальниками наладочного бюро работали А.П. Кнутаев (генеральный директор УЭХК с 1997 года), В.Е. Кадыров, В.Г. Шубин и вновь В.Е. Кадыров. Группа была укомплектована наиболее квалифицированными специалистами технологами из состава наладочного бюро (по диффузионному оборудованию) опытного завода и ЦЗЛ. Наладочная группа (бюро) сыграла большую роль как в проведении подготовительных, так и пусконаладочных работ на ГТЗ, а в дальнейшем и при реконструкции диффузионных заводов.

Одновременно с созданием наладочной группы руководителем пуско-наладочных работ ГТЗ был назначен заместитель начальника управления № 27 Б.С. Пужаев.

На первом этапе после комплектации персонала все специалисты служб ГТЗ, а также наладочной группы, не занятые курированием монтажа и выполнением контрольных операций, были привлечены к разработке эксплуатационной документации: пуско-наладочной инструкции, инструкции по эксплуатации основного оборудования, противоаварийной инструкции, инструкций по эксплуатации вспомогательных технологических систем, инструкций по эксплуатации систем КИПиА, систем электроснабжения, механических систем.

В связи с тем, что к пуску первой очереди ГТЗ не были готовы проектные установки КИУ (установки конденсации и испарения гексафторида урана), для проведения пуска и начальной эксплуатации первой очереди ГТЗ отделами главного конструктора и главного прибориста были спроектированы временные установки КИУ, которые были изготовлены на комбинате. Это позволило обеспечить пуск первой очереди ГТЗ в установленные сроки.

4 ноября 1962 года был начат пуск первой очереди завода ГТЗ. Пуск был сопряжён с рядом трудностей, которые возникали, в основном, из-за отказов отдельных элементов систем контроля и управления, которые приходилось оперативно устранять. Поэтому руководителям пуска, служб завода и наладочных организаций порой приходилось сутками не покидать своих рабочих мест.

В декабре 1962 года пуск и ввод в эксплуатацию первой очереди объекта был закончен. Тем самым был завершён первый этап сложной и напряжённой работы, но строительные, монтажные и пусковые работы следующих очередей завода были продолжены: вторая и третья очереди завода были введены в эксплуатацию в 1963 и 1964 годах, соответственно.

Самоотверженный труд коллективов ГТЗ, других подразделений комбината позволил выполнить стоящие перед ними задачи в установленные сроки. Успешный ввод в эксплуатацию первого в мире промышленного завода с центрифужной технологией разделения изотопов урана — результат научных и технических достижений целого ряда подразделений комбината и многочисленных проектных, конструкторских, исследовательских институтов, заводов-изготовителей центрифуг, строительных и монтажных организаций.

Пуск завода проходил в несколько этапов, на каждом из которых вводилось по несколько блоков. Возможность поблочного пуска оборудования была предусмотрена проектом, однако в процессе подготовки к пуску в ряде технологических и КИПиА схемах были внесены изменения, улучшающие проектные решения. На ГТЗ была применена трёхъярусная компоновка агрегатов центрифуг. Разработки, выполненные на комбинате совместно со строителями, позволили первую секцию последнего вводимого блока выполнить в 4-хъярусной компоновке, что дало возможность проверить такую компоновку в условиях эксплуатации и в дальнейшем использовать при модернизации ГТЗ.

После ввода в эксплуатацию первой и второй очереди ГТЗ возникли проблемы, связанные с повышенным выходом из строя центрифуг из-за большого количества случаев групповых разрушений машин, нестабильности частоты тока в сети. Также летом 1963 года возникла необходимость значительной разгрузки оборудования в связи с высокой температурой охлаждающей воды и воздуха в помещении машзала. В дальнейшем эти недостатки были устранены путем замены опорных игл на «двойные», постепенным переводом электроснабжения оборудования на источники со стабилизированной частотой, а также вводом в эксплуатацию летом 1964 года мощной холодильной станции.

Включение ГТЗ в технологическую цепочку увеличило разделительную мощность комбината почти на 40%, а расход электроэнергии на единицу работы разделения (ЕРР) понизился на 25%.

Ввод в эксплуатацию промышленного завода на комбинате тремя очередями в 1962-1964 годы позволил уменьшить себестоимость продукции, снизить газосодержание диффузионных машин высокообогащённым продуктом, практически исключить вероятность возникновения СЦР на диффузионных машинах единого разделительного каскада.

В апреле 1964 года директор комбината А.И. Савчук, начальник ГТЗ Н.Ю. Желтковский, зам. начальника управления 27 Б.С. Пужаев, руководитель расчётно-теоретического сектора Р.Г. Ваганов и главный инженер ГТЗ Е.П. Шубин вместе с работниками ЦКБМ, ИАЭ, ВНИПИЭТ, МСМ, ВИАМ,

КУМЗ, заводами — изготовителями были удостоены званий лауреатов Ленинской премии.

Большая группа руководителей, специалистов и рабочих в 1966 году были награждены государственными наградами.

Опыт монтажа и пуска большого количества центрифуг позволил внести в конструкции машин и технологию их изготовления ряд усовершенствований отдельных элементов, необходимость в которых не могла быть выявлена при изготовлении, монтаже и эксплуатации небольших групп центрифуг.

КОРЕННАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ РАЗДЕЛИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА КОМБИНАТА.

Эффективная эксплуатация оборудования на первом в мире центрифужном заводе, ГТЗ, не оставляла сомнений в необходимости проведения коренной реконструкции разделительных заводов путём замены морально устаревших диффузионных машин на газовые центрифуги. Однако предстояло преодолеть ряд значительных трудностей. Необходимо было учитывать, что производственные корпуса газодиффузионных заводов имели весьма специфическую конструкцию и поэтому для размещения в них нового оборудования требовались серьёзные проектно-конструкторские доработки. Кроме того, все работы предстояло проводить в условиях действующего производства.

Реконструкция диффузионного производства стала возможной благодаря целенаправленной научно-исследовательской и опытно-конструкторской работе, проводимой во ВНИПИЭТ, в ЦКБМ, Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова, ОКБ ГАЗ и на УЭХК.

Работы по реконструкции диффузионных заводов выполнялись организациями, которые выполняли работы по строительству ГТЗ, за исключением технологического монтажа, который выполняло специализированное монтажно-строительное управление (МСУ-20).

Для решения задач по реконструкции диффузионных заводов было принято решение провести вначале реконструкцию отдельного участка завода Д-4. Для этого в 1963 году были выключены из работы и демонтированы две группы малоэф-

фективных диффузионных машин Т-45, а на освободившихся площадях построен участок ГТХ-3. По проектам, выполненным ГСПИ-11, участок был выполнен в трёхъярусном исполнении.

Участок ГТХ-3 был укомплектован центрифугами второго поколения, оставшимися от первой очереди ГТЗ, и введён в эксплуатацию в 1965 году.

Строительство участка ГТХ-3 показало возможность проведения реконструкции диффузионных заводов в условиях действующего производства и пути решения проблем реконструкции. Опыт эксплуатации участка ГТХ-3 показал необходимость, при проектировании реконструкции заводов Д-3 и Д-4, изменения компоновочных решений, принятых на ГТХ-3 в части размещения технологического и КИПиА оборудования.

Совместным решением ГСПИ-11 и комбината при реконструкции заводов Д-3 и Д-4 была принята новая компоновка, аналогичная ГТЗ. Первым для реконструкции был выведен из эксплуатации диффузионный завод Д-3.

Учитывая необходимость обеспечения надёжной безаварийной эксплуатации вновь введённого центрифужного оборудования в условиях проведения колоссального объёма работ по реконструкции, было принято решение об изменении организационной структуры разделительного производства комбината. Предусматривалось создание двух заводов (объектов), в состав каждого из которых входили службы объекта и по два технологических цеха. При этом основной задачей цехов являлось обслуживание и обеспечение безаварийной эксплуатации действующего диффузионного и центрифужного оборудования и поддержание заданного технологического режима. На службы объектов возлагались обязанности по обеспечению проведения работ по реконструкции и ремонту оборудования в подчинённых цехах, по техническому руководству цехами и подготовке производства, анализу работы оборудования.

Первым в 1969 году был создан завод ГТЗ-2 (объект № 57), который состоял из объектовых служб и двух цехов № 24 (Д-3) и № 45 (Д-4). Возглавил ГТЗ-2 С.М. Михеев, затем им руководили В.Ф. Корнилов (генеральный директор УЭХК в 1987-

1997 годах), А.Н. Аршинов; главным инженером был назначен В.В. Панфилов, затем Д.Н. Безруков. Цех № 24 возглавил В.Д. Петров, затем В.Ф. Корнилов, Ю.А. Дмитриев; заместителем начальника цеха работали В.Ф. Корнилов, затем Ю.А. Дмитриев, Э.М. Нестеров, В.П. Чепов, В.Г. Троценко. Цех № 45 возглавил Б.П. Масленников, затем В.С. Войтехов, заместителем начальника цеха работали В.И. Александров, Э.М. Нестеров, В.Г. Троценко, А.И. Остапович, И.В. Ледовских.

В 1972 году на базе ГТЗ и цеха № 54 (Д-5) был образован завод ГТЗ-1 (объект № 47). В состав ГТЗ-1 вошли объектовые службы и цехи № 53 (ГТЗ) и № 54. Начальником объекта был назначен С.Г. Тиханов, главным инженером А.П. Кнутарев. Цех № 53 возглавил В.Д. Петров, затем В.В. Раёв, А.В. Тунин. Заместителями начальника цеха работали А.С. Полков, В.И. Бульчев, А.С. Быстров, Г.И. Абрамов, Ю.М. Зудин. Цех № 54 возглавил В.С. Зимин, затем Ю.Н. Ульныров. Заместителями начальника цеха работали А.С. Бушмелев, В.А. Налимов, Ю.Н. Ульныров, В.И. Александров, А.С. Быстров, В.В. Раёв, Ю.М. Зудин, А.П. Обыденнов, А.А. Корнилицин, А.М. Николаев, М.И. Леонтьев.

Одновременно с созданием завода ГТЗ-2, в 1969 году была изменена структура управления всего разделительного производства комбината. Во главе разделительного производства был поставлен заместитель главного инженера комбината Е.П. Шубин. На базе Управления № 27 были созданы два отдела: производственный отдел (начальник отдела Е.И. Пшенин) и отдел главного технолога (главный технолог Н.П. Бисярин, зам. главного технолога А.П. Кнутарев, затем В.Е. Кадыров).

В 1988 году после окончания работ по реконструкции диффузионных заводов (в 1985 году) и выключению из эксплуатации последнего участка диффузионного производства во II корпусе завода Д-5 (в 1987 году) заводы ГТЗ-1 и ГТЗ-2 были аннулированы с переводом разделительного производства на цеховую структуру без изменения наименования и руководства цехов, а производственный отдел и отдел главного технолога преобразованы в производственно — технологический отдел во главе с заместителем главного инженера комбината Е.П. Шубиным. Заместителем начальника отдела по производству стал Д.Н. Безруков, а заместителем по технологии

Н.П. Бисярин. В 1992 году производственно-технологический отдел возглавил начальник разделительного производства В.В. Раёв.

Как в дальнейшем показал опыт реконструкции диффузионных заводов и массовой модернизации центрифужных заводов, реорганизация управления разделительным производством, проведённая в 1969-1972 годах полностью оправдала себя.

Коренная реконструкция диффузионных заводов началась в 1966 году и продолжалась до 1985 года, а модернизация центрифужного оборудования шла непрерывно и продолжается до настоящего времени.

В 1966 году был выведен из эксплуатации диффузионный завод Д-3, а в 1967 году — заводы Д-4 и СУ-3. Цех № 24 (завод Д-3) был введён в эксплуатацию после реконструкции в 1968-1970 годах, а цех № 45 (завод Д-4) в 1970-1972 годах. При реконструкции заводов Д-3 и Д-4 произведена замена газодиффузионных машин Т-49, Т-47 и Т-45 на центрифуги четвёртого и пятого поколений. При реконструкции завода Д-4 была также проведена модернизация участка ГТХ-3 с заменой центрифуг второго поколения на центрифуги четвёртого поколения. При этом на месте участка ГТХ-3 была смонтирована «хвостовая» часть технологической цепочки. После включения в работу новой «хвостовой» части в декабре 1970 года был выключен из работы участок ГТХ.

Реконструкция завода Д-5 осуществлялась по корпусам. В 1969 году был выведен из эксплуатации четвёртый корпус машин ОК-26 и установка вместо них центрифуг пятого поколения. Четвёртый корпус был введён в эксплуатацию после реконструкции в 1973-1974 годах. В декабре 1973 года был остановлен третий корпус завода Д-5 машин Т-51 и ОК-26, который после оснащения центрифугами пятого поколения был введён в эксплуатацию в 1977-1979 годах. Первый корпус завода Д-5 был выведен из эксплуатации в 1979 году и после оснащения центрифугами пятого и шестого поколений введён в эксплуатацию в 1984 — 1985 годах.

В 1987 году была остановлена оставшаяся часть диффузионного оборудования второго корпуса завода Д-5, после чего разделительное производство комбината стало полностью высокоэффективным центрифужным производством.

Значение и результаты реконструкции диффузионных заводов были высоко оценены Правительством ещё на первом этапе реконструкции. За комплекс работ по реконструкции завода Д-4 в 1973 году была присуждена премия Совета Министров СССР. От комбината звание лауреатов премии Совета Министров СССР удостоены: директор комбината А.И. Савчук, заместитель директора по капитальному строительству Е.Я. Писаренко, начальник объекта С.М. Михеев и начальник наладочного бюро отдела главного технолога В.Г. Шубин.

Дальнейшее развитие разделительного производства с окончанием реконструкции диффузионных заводов не остановилось. Ещё в 1972 году начались работы по модернизации ГТЗ. При этом центрифуги второго и третьего поколений, отработавшие 10 лет, заменялись на центрифуги пятого поколения, увеличивалось на треть количество установленных центрифуг за счёт наращивания четвёртого яруса агрегатов центрифуг. Ввод нового оборудования на ГТЗ был закончен в 1976 году.

Проведённый комплекс мероприятий позволил существенно улучшить технико-экономические показатели работы комбината: производительность возросла в 2,4 раза, а расход электроэнергии на единицу работы разделения (ЕРР) снизился почти в пять раз.

Процесс дальнейшего развития разделительного производства комбината, сопровождающийся ростом производительности и повышением экономической эффективности производства, не прекратился и продолжается в настоящее время за счёт модернизации действующих центрифужных объектов. Причём эта модернизация отличается не только заменой центрифуг, отработавших ресурсный срок работы, на более совершенные, но и совершенствованием систем КИПиА и систем электроснабжения центрифуг.

В 80-х годах приборным заводом комбината было разработано и освоено промышленное производство агрегатированного комплекса средств управления (АКСУ), базировавшегося на широком применении полупроводниковых элементов. Впервые система АКСУ-М применена при реконструкции первого корпуса завода Д-5 и введена в эксплуатацию в 1984 году. В дальнейшем эта система внедрена и на других объектах ком-

бината при модернизации основного оборудования. В системах электроснабжения центрифуг также произошли прогрессивные изменения. Вместо вращающихся преобразователей частоты (ВГТ) внедряются новые источники электропитания центрифуг — статические преобразователи частоты стабилизированные (СПЧС).

В 1981-1991 годах проведена модернизация оборудования цеха № 24 с заменой центрифуг четвёртого и пятого поколений на центрифуги пятого, шестого поколений. В целях снижения потерь от простоев оборудования модернизация проводилась с выводом оборудования поблочно. Технология поблочной модернизации была предложена начальником РТЛ Г.С. Соловьёвым и детально разработана специалистами объекта № 57 и цехов № 24 и № 45, а также отделами главного механика, главного прибориста, главного технолога и специалистами цеха ревизии машин. Много усилий для её реализации приложили В.В. Панфилов, Д.Н. Безруков, Э.М. Нестеров, Ю.А. Дмитриев, В.С. Войтехов. При модернизации оборудования цеха № 24 система электроснабжения центрифуг переведена на СПЧС-190, а система КИПиА — на АКСУ-М.

В 1976-1980 годах проведена посекционно модернизация в одном из зданий цеха № 45, при которой центрифуги пятого поколения заменены на более надёжные в эксплуатации центрифуги того же поколения. В 1981-1983 годах проведена поблочная модернизация оборудования в остальных зданиях цеха № 45 с заменой центрифуг четвёртого и пятого поколений на более надёжные центрифуги пятого поколения, а электроснабжение «хвостовой» части цеха № 45 переведено на СПЧС-190.

В 1985-1988 годах была проведена модернизация оборудования четвёртого корпуса цеха № 54 с заменой центрифуг пятого поколения на центрифуги шестого поколения.

В 1991-1995 проведена вторая модернизация оборудования цеха 53 путём замены центрифуг пятого поколения на центрифуги шестого поколения на двух очередях пуска. При этом прошедшее модернизацию оборудование переведено на электроснабжение от СПЧС-190, а система КИПиА всего цеха переведена на АКСУ-М.

В 1995-1996 годах было выведено из эксплуатации оборудование одного из зданий цеха № 45 для проведения модерни-

зации как основного оборудования, так и систем КИПиА и электроснабжения центрифуг. При этой модернизации всё устанавливаемое оборудование является новейшим. Впервые установлены центрифуги седьмого поколения, сконструированные на УЭХК. Впервые применена новейшая система КИПиА, представляющая собой программируемый комплекс АКСУ-2, разработанный и изготовленный на приборном заводе комбината. Впервые в качестве источника электроснабжения центрифуг применены СПЧС-200, изготовленные приборным заводом комбината. В 1997 году начался ввод в эксплуатацию модернизированного оборудования в этом здании, в 2001 году ввод оборудования в эксплуатацию закончен.

Процесс модернизации центрифужного оборудования будет продолжаться и в дальнейшем по мере отработки центрифугами установленного ресурсного срока.

При массовой замене диффузионных машин на центрифуги в процессе реконструкции возникал целый ряд трудностей, которые приходилось преодолевать эксплуатационному персоналу с привлечением для их решения специалистов научных подразделений комбината. Особенно это сказалось при вводе в эксплуатацию центрифуг пятого поколения.

В 1972 году при начале массовой эксплуатации центрифуг пятого поколения совершенно неожиданно (после полутора лет эксплуатации при минимальном выходе их из строя) начал нарастать аварийный выход из строя центрифуг. Проблема усугублялась тем, что впоследствии из-за выхода из строя центрифуг начали забиваться трассы «питания» работающих машин. Всё это грозило существенной потерей производительности завода.

Первый анализ этих явлений выполнен техотделом ГТЗ-2 (начальник — Р.В. Эйшинский). Надлежащая оценка возникшей угрозы была дана директором УЭХК А.И. Савчуком. По его указанию были приняты срочные меры. Необходимо было, прежде всего, провести исследования, чтобы выяснить причину, продумать, как её устранить при установке новых центрифуг, а также на тех машинах, которые поразил этот дефект.

Команду «спасателей» возглавил научный руководитель УЭХК Б.В. Жигаловский. К решению этой проблемы были привлечены многие подразделения комбината. В первую оче-

редь, это информационно-вычислительный центр (ИВЦ), руководимый И.П. Лебединским, расчётно-теоретическая лаборатория во главе с Г.С. Соловьёвым, опытный цех во главе с И.А. Шмаковым, лаборатории ЦЗЛ, руководимые В.А. Баженовым, С.Б. Варламовым и Я.А. Нисневичем, отдел главного технолога во главе с Е.П. Шубиным, Н.П. Бисяриным и В.Е. Кадыровым.

Понадобилось около года напряжённой и кропотливой работы, чтобы выяснить, что причиной дефектов являются трещины в верхней крышке ротора центрифуги, и разобраться с причинами их возникновения. Были внесены изменения в её конструкцию и в технологию получения заготовок для изготовления верхней крышки. Это позволило существенно повысить надёжность вновь изготавливаемых центрифуг пятого поколения.

Для того, чтобы резко снизить выход из строя работающих центрифуг, сохранить производительность, необходимо было проанализировать состояние и «происхождение» дефектов сотен тысяч установленных машин пятого поколения. Расчётно-теоретическая лаборатория ИВЦ проводила скрупулезный анализ и выдавала рекомендации по замене вышедших из строя машин, а также секций центрифуг, которые были укомплектованы дефектными партиями верхних крышек.

Замена центрифуг проводилась цехом ревизии машин. Работа была изнуряющей — заменялись многие тысячи машин. Чёткая организация работ была обеспечена начальником цеха ревизии машин Д.И. Трахтенбергом и его заместителем В.И. Долбилиным. С помощью достаточно дорогостоящего ремонта удалось предотвратить снижение производительности комбината.

С целью более оперативного выявления дефектных групп центрифуг и более качественного анализа с начала 70х годов на ЭВМ ИВЦ начала создаваться уникальная отраслевая база данных: с металлургического завода в нее заносились сведения о всех плавках и партиях металла роторной группы центрифуг, с заводов-изготовителей — сведения о браке при механической обработке и все данные, содержащиеся в паспорте каждой центрифуги.

Под руководством начальника ИВЦ И.П. Лебединского, его заместителя А.Е. Лянгасова (с 1980 г. начальника ИВЦ), при активном участии РТЛ (Г.С. Соловьева), начальников отделов ИВЦ (впоследствии заместителей начальника ИВЦ) С.Б. Афанасьева и В.К. Курушкина, были разработаны и внедрены автоматизированные подсистемы по контролю и анализу надежности центрифужного оборудования и планированию его ремонта, принятые Государственной комиссией в эксплуатацию (в 1975 г. — I-я очередь, в 1979 г. II-ая очередь). В 1985 г. эти подсистемы были определены Государственной комиссией как типовые по отрасли и впоследствии тиражированы и внедрены на родственных предприятиях ЭХЗ (г. Зеленогорск), АЭХК (г. Ангарск) и СХК (г. Северск).

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЦЕНТРИФУГ.

Уральский электрохимический комбинат стал первым предприятием в отрасли, которое начало внедрять в производство центрифужный метод разделения изотопов урана и первым начал реконструкцию диффузионных заводов с переводом их на центрифужную технологию. Поэтому получилось так, что промышленная эксплуатация всех семи поколений газовых центрифуг (за исключением первых вариантов — сборок машин четвертого поколения) начиналась на УЭХК. А это, как уже отмечалось, приводило к тому, что все недостатки, связанные с началом массового серийного производства и эксплуатацией вновь созданных центрифуг также, в основном, проявлялись на УЭХК.

Важнейшая особенность разделительного производства УЭХК в 60-90-х годах — непрерывное проведение работ по реконструкции и модернизации технологического оборудования. Все эти работы сочетались с эксплуатацией действующего оборудования. Поэтому повышенный выход из строя центрифуг пятого поколения тяжёлым бременем ложился на технологические цехи и объекты, а также на цех ревизии машин. Возникла необходимость выявления дефектных машин, для чего нужны технические решения проведения массовых замеров на сотнях тысяч машин. Опыт, накопленный к началу 70-х годов по использованию ЭВМ для расчётов оптимальных параметров работы центрифужного оборудования, позволил при-

ступить к разработке и внедрению автоматизированной системы управления технологическим процессом (АСУТП). Учитывая высокую эффективность вычислительной техники в управлении производством, уже к началу 1976 года в трёх технологических цехах, оснащённых центрифугами, для решения задач АСУТП использовались вычислительные комплексы (УВК) М-6000, установленные на центральных диспетчерских пунктах (ЦДП) этих цехов. Характерным было то, что работали на этих УВК не специально выделенные операторы, а персонал цехов, непосредственно ведущий технологический процесс. Это, конечно, значительно облегчило процессы выявления дефектных машин и планирования их замены.

Однако этим не ограничилась борьба с повышенным выходом из строя центрифуг, приводящим к забитию трасс питания центрифуг, что нарушало их нормальный режим работы. Пришлось проделать целый комплекс работ, предупреждающих забитие. Это, в первую очередь, на всех блоках, укомплектованных центрифугами пятого поколения, были установлены блочные фильтры, оснащённые фильтрующими элементами от диффузионных машин. Кроме того, при разработке в агрегаты центрифуг пятого поколения были внесены конструктивные изменения в виде обратных шариковых клапанов. Однако в процессе эксплуатации возникла проблема с частичным забитием самих шариковых клапанов. Снова поиски борьбы с этим злом и их решение.

Но эти мероприятия не решали полностью всех проблем. Только полное выведение из эксплуатации машин, имеющих дефекты, путём посекционной или блочной модернизации решило проблему.

Другой особенностью эксплуатации центрифужного оборудования явился фактор нестабильности частоты в сети электроснабжения центрифуг, особенно в 60-70-х годах.

При проектировании первого промышленного завода ГТЗ и при реконструкции диффузионных заводов с переводом их на центрифужную технологию была предусмотрена система электроснабжения на повышенной частоте от вращающихся генераторов ВГТ с электроприводом от синхронных двигателей. Поэтому изменения частоты в энергосистеме приводили

к соответствующим изменениям повышенной частоты электропитания центрифуг.

Как показал опыт пуска и первых лет эксплуатации ГТЗ, нестабильность частоты в сети приводила к отклонениям параметров технологического режима, повышенному выходу из строя центрифуг и потерям производительности комбината. Поэтому встал вопрос о необходимости создания источников электроснабжения центрифуг со стабильной частотой.

С привлечением работников объединения «Электросила» и Всесоюзного энергетического института (ВЭИ) были разработаны статические преобразователи частоты стабилизированные (СПЧС), при этом решён целый ряд научных и технических вопросов.

В опытном порядке уже при реконструкции первых диффузионных заводов электроснабжение центрифуг половины одного из зданий завода Д-3 (пуск после реконструкции в 1970 году) и одного здания завода Д-4 (пуск — в 1972 году) было предусмотрено от СПЧС-120. Положительные результаты использования СПЧС дали основание для развёртывания работ по разработке новых типов СПЧС большей мощности и более надёжных в работе. Всесоюзным энергетическим институтом совместно с комбинатом были разработаны новые более совершенные преобразователи частоты СПЧС-10000, СПЧС-190 и СПЧС-200. При этом системы управления этих СПЧС были разработаны особым конструкторским бюро (ОКБ) и изготовлены приборным заводом комбината.

Все образцы разработанных СПЧС прошли всесторонние длительные испытания на статической и на реальной технологической нагрузке цеха № 24.

В связи с положительными результатами испытаний СПЧС-190 и СПЧС-200 были рекомендованы для внедрения при модернизации оборудования технологических цехов комбината. В этом большая заслуга главных энергетиков объекта № 57, цеха № 24 В.К. Землянского, В.М. Столина и заместителя главного энергетика комбината Ю.С. Просвирникова.

В настоящее время на электроснабжение центрифуг от СПЧС-190 при модернизации (1981-1991 годы) переведена основная часть оборудования цеха № 24, две трети центрифуг цеха № 53 — в 1991-1995 годах. В одном здании цеха № 45,

пристальным вниманием начальника Главка А.Д. Зверева, научного руководителя И.К. Кикоина, Приёмной комиссии и её председателя М.Д. Миллионщикова. В этом «соревновании» наиболее важные результаты были получены в опытном цехе: установлена основная причина групповых разрушений — резонансные колебания газовых коллекторов машины в агрегате и взаимодействие деталей коллекторов с ротором (Б.В. Жигаловский, И.А. Шмаков, Д.М. Левин, Ф.В. Петухов, Ю.П. Забелин, В.А. Ивакин, В.Ф. Корнилов, Ю.А. Назаров — 1963 г.). Эффективным и убедительным явился эксперимент: в агрегате ГЦ ВТ-3фА были удалены детали коллекторов, которые могут при колебаниях взаимодействовать с ротором; проведена серия принудительных разрушений роторов и все они были одиночными! Это на фоне того, что все предыдущие испытания многих вариантов «улучшения» конструкций агрегатов в опытном цехе и других организациях давали отрицательные результаты. Соответствующие рекомендации были реализованы ЦКБМ в модификации ГЦ ВТ-3фА и во всех последующих типах ГЦ. Для уже изготовленных агрегатов было также найдено оригинальное решение — введение «двойной» иглы, о чём говорилось в разделе «Опытный завод центрифуг». Групповые разрушения в агрегатах ГЦ ВТ-3фА были устранены. В последующих типах более скоростных ГЦ этому способствовало также установка механических корректоров.

Первые промышленные типы центрифуг, ВТ-3ф и ВТ-3фА, установленные на промышленном заводе, имели по КД назначенный ресурс 3 года. Сразу было ясно, что такой ограниченный ресурс при эксплуатации большого количества центрифуг существенно снижает экономические показатели центрифужного производства. Поэтому с самого начала эксплуатации промышленного завода по специальным программам были поставлены комплексные исследования по надёжности и ресурсу серийных центрифуг и опорной пары.

Одной из первых проблем явилось исследование процессов ползучести материала роторов центрифуг, приводящих к нарастанию небаланса и изгиба роторов, и их влияния на ресурс центрифуг. Эти процессы изучались в опытном цехе и ранее на отдельных образцах центрифуг (А.А. Сапожников), а с пуском промышленного завода объём испытаний существенно

осмотр отдельных центрифуг в опытном цехе разделительного производства. Работа головных и установочных партий находилась под контролем Приёмной комиссии.

Учитывая важность контроля работы установочных и головных партий (секций), все работы по подготовке к пуску, проведению пусковых операций и включению их в эксплуатацию, а также весь комплекс испытаний и контроль за эксплуатацией выполняется высококвалифицированными специалистами наладочного бюро (в настоящее время экспериментально-наладочное бюро производственно-технологического отдела) совместно со специалистами опытного цеха и соответствующего цеха эксплуатации. Ведущими специалистами по контролю работы установочных и головных партий (секций) в экспериментально-наладочном бюро являются: начальник бюро В.Е. Кадыров, руководитель группы Л.Н. Зеленский, инженеры-технологи первой категории М.В. Терегулов, В.В. Орлов, В.К. Скопинцев. Результаты работы установочных и головных партий находятся под контролем заместителя начальника производственно-технологического отдела Н.П. Бисярина.

Периодически ЭНБ готовит материалы по работе установочных и головных партий центрифуг для Приёмной комиссии.

Первая головная партия центрифуг четвёртого поколения была установлена ещё в 1964 году при пуске третьей очереди ГТЗ, укомплектованной центрифугами третьего поколения. При реконструкции завода Д-3 (цех 24), укомплектованного центрифугами четвёртого и пятого поколений, были установлены две головные секции разных сборок машин пятого поколения. В дальнейшем в цехе № 45 были установлены четыре головные секции с центрифугами шестого поколения. После разработки на комбинате и освоения производства центрифуг седьмого поколения на заводе-изготовителе в цехе № 24 были установлены четыре секции установочных и головных партий.

Электроснабжение всех установочных и головных партий центрифуг осуществлялось от автономных источников типа СПЧС соответствующей повышенной частоты.

Создание установочных и головных секций, как показал многолетний опыт внедрения новых поколений центрифуг, полностью оправдало себя.

ПРИБОРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВНЕДРЕНИЯ ЦЕНТРИФУЖНОГО ПРОИЗВОДСТВА.

Внедрение центрифужного производства породило ряд серьёзных проблем по обеспечению контроля и управления технологическим процессом. Конструктивные особенности центрифуг и режимы работы технологической цепочки предъявляют жёсткие требования к контролю за загрузкой оборудования, состоянием каждой машины и обеспечению аварийной защиты основного оборудования. Это потребовало разработки нового комплекса значительно более сложных приборов, чем при газодиффузионной технологии. Количество их значительно возросло по номенклатуре, сложности и требованиям к ним. Были созданы многоканальные устройства для контроля вращения больших групп центрифуг (сигнализаторы вращения), которые затем постоянно совершенствовались. Была создана целая серия новых первичных датчиков для измерения давления газа, содержания лёгких примесей и других приборов технологического контроля и аварийной защиты оборудования. Причём к этим приборам предъявлялись высокие требования в части точности измерения, надёжности и быстродействия.

Решающую роль в оснащении приборами контроля, измерения и автоматики (КИПиА) центрифужного производства сыграло строительство на комбинате приборного завода. Решение о строительстве на комбинате № 813 приборного завода Министерством среднего машиностроения было принято в 1957 году. В июне 1961 года, т.е. всего за 1,5 года до ввода первой очереди первого промышленного завода с центрифужной технологией, приборный завод был введён в эксплуатацию. Первым директором завода был назначен главный приборист комбината В.В. Гуменюк, в 1966 году его сменил В.Д. Зинченко, службу главного прибориста комбината возглавил Н.Я. Лобынцев. Директорами приборного завода в дальнейшем работали: Г.И. Меньшенин, А.И. Зайцев, с мая 1996 года — А.В. Кулешов.

Высокий технический уровень выпускаемых изделий обеспечил признание заслуг приборного завода предприятиями отрасли.

Уже в 1961-1962 годах приборный завод поставлял приборы для четырёх предприятий министерства, в 1965 году — для пятнадцати, в 1967 году — для 30 предприятий (в том числе для 20 предприятий других министерств).

Разработка приборов выполнялась коллективом особого конструкторского бюро (ОКБ) приборного завода. На первом этапе работы приборного завода главной задачей ставилась разработка и изготовление промышленных образцов первичных датчиков контроля давления газа, содержание легких примесей и приборов аварийной защиты, необходимых для обеспечения пуска первой очереди ГТЗ. Всего к пуску первой очереди ГТЗ было разработано и освоено 23 типа приборов. Своевременная поставка приборов обеспечила пуск ГТЗ в установленные Правительством сроки.

Дальнейшим этапом оснащения центрифужного производства специальными приборами стала разработка и серийное изготовление частотоизмерительных и специальных приборов для получения информации о состоянии каждой центрифуги в процессе эксплуатации установок и аппаратуры системы контроля синхронизма.

По рекомендации отраслевой конференции 1964 года аппаратура и приборы установки контроля синхронизма были разработаны с использованием бесконтактных логических и переключающихся элементов с возможностью выдачи сигнала в систему аварийной защиты оборудования.

Промышленное изготовление установок контроля синхронизма было начато приборным заводом в августе 1966 года. Опыт эксплуатации центрифужных заводов показал достаточно высокую эффективность защиты, построенной на базе специально разработанных приборов и аппаратуры.

Достигнутые результаты по разработке и внедрению систем дистанционного контроля и управления технологическим процессом получили высокую оценку — группа ведущих специалистов УЭХК, наряду с разработчиками из ВНИПИЭТа, ЦКБМ, ИАЭ им. Курчатова, в 1968 году была удостоена Государственной премии: Вс.А. Баженов — главный конструктор ОКБ приборного завода, В.Д. Зинченко — директор приборного завода, Н.Я. Лобынцев — главный приборист комбината, Н.С. Ушаков — главный инженер приборного завода. Они

стали первыми лауреатами в области автоматизации и управления производством.

Значение приборного завода в системе Министерства среднего машиностроения возрастает в начале 70-х годов. Результаты, достигнутые при разработке приборов центрифужного производства, дали возможность в 1972 году назначить ОКБ приборного завода головной конструкторской организацией по разработке КИПиА для всех разделительных предприятий. Главным конструктором был назначен Вс.А. Важенев, затем В.А. Порошин и Ю.С. Овчинников.

К середине 70-х годов была завершена разработка и проведены производственные испытания информационно-измерительной («Исток») и информационно-управляющей («Топаз») систем технологического контроля и аварийной защиты. В их основу заложен функционально-блочный принцип. В этих системах, в отличие от эксплуатировавшихся в то время и базировавшихся на релейно-контактных элементах, были широко применены полупроводниковые элементы в схемах для получения, обработки, передачи и воспроизведения информации. Опытные образцы систем после длительных производственных испытаний, выполненных под руководством основных разработчиков И.И. Липчака и В.А. Порошина, были рекомендованы в качестве базы для разработки промышленного агрегатированного комплекса средств управления (АКСУ). В разработке системы принимали участие также специалисты приборной службы комбината Н.Я. Лобынцев, Л.А. Тимухин, Н.И. Иванча, А.Ф. Кутявин. Разработка АКСУ-М и АКСУ-2 производилась по технологическим заданиям, разработанным с участием специалистов-технологов производственного отдела, объектов и цехов разделительного производства комбината. Наибольший вклад в дело разработки и внедрения систем АКСУ-М и АКСУ-2 сделали специалисты-технологи А.П. Поляков, Д.Н. Безруков, А.П. Кнутарев, В.И. Александров, Ю.А. Дмитриев, А.И. Остапович, И.В. Ледовских и М.И. Леонтьев.

Эти рекомендации позволили, начиная с 80-х годов, службе главного прибориста проводить перевод систем КИПиА основного технологического оборудования на оборудование АКСУ-М, разработанное приборным заводом и прошедшее про-

мышленные испытания на четырех блоках цеха 24 в 70-х годах.

Впервые промышленная система АКСУ-М была внедрена при реконструкции первого корпуса завода Д-5 (цеха № 54), введенного в эксплуатацию в 1984-1985 годах.

Затем приборный завод обеспечил перевод систем КИПиА на АКСУ-М при модернизации основного оборудования цеха № 24 и цеха № 53.

Следующим этапом совершенствования систем управления центрифужным производством явилась новая система технологического контроля и аварийной защиты, представляющая собой программируемый комплекс АКСУ-2, разработанный специалистами ОКБ приборного завода и отдела главного прибориста комбината. В контур управления встраиваются вычислительные машины, управляющие всем технологическим процессом цеха.

В июле 1997 года началось включение одного из зданий цеха № 45 после модернизации, оснащенного новой системой технологического контроля и аварийной защиты АКСУ-2.

Одним из достижений приборного завода в середине 80-х годов стал весь комплекс работ, связанных с разработкой и серийным выпуском систем управления и оперативной автоматики (СУ и ОА) СПЧС которая была на порядок совершеннее предыдущих разработок. Выпуск приборным заводом СУ и ОА СПЧС-190 и СПЧС-200 позволил широко внедрить систему электроснабжения от СПЧС технологического оборудования при модернизации основного оборудования цехов. В 2000 году приборный завод начал поставлять для модернизации в цехе № 45 СПЧС-200 в полном объеме (СУ и ОА с силовой частью).

Необходимо отметить, что кроме приборов и установок для центрифужных заводов отрасли, приборным заводом были разработаны и изготовлены приборы контроля для заводов-изготовителей центрифуг.

Сегодня приборный завод разрабатывает и выпускает изделия как для нужд комбината, так и за его пределами, в том числе и на экспорт (АКСУ-М в Китай).

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ВНЕДРЕНИЯ ЦЕНТРИФУЖНОГО МЕТОДА.

Анализируя работы, проведённые на комбинате по внедрению в промышленное производство центрифужного метода разделения изотопов урана, следует отметить тот огромный вклад комбината, который был проделан за более, чем сорокалетний период, начиная с пуска опытного завода центрифуг, пуска первого в мире промышленного завода ГТЗ, проведения реконструкции диффузионных заводов и модернизации центрифужных цехов. В результате роста производства УЭХК стал самым мощным в мире предприятием по разделению изотопов урана.

За эти годы на комбинате разработаны и освоены методы безаварийной эксплуатации большого количества центрифуг, методы ведения технологического процесса, обеспечивающие получение продукции высшего качества, получившей высокую оценку зарубежных заказчиков.

На комбинате построен приборный завод, который обеспечил специальными приборами и приборным оборудованием ввод в эксплуатацию первого промышленного завода, реконструкцию диффузионных заводов комбината и потребности родственных предприятий отрасли.

Пуск промышленного завода и начало реконструкции диффузионных заводов привели к резкому повышению экономических показателей работы комбината. Это обстоятельство обеспечило возможность выхода комбината на мировой рынок услуг по обогащению урана для нужд атомной энергетики зарубежных стран.

Интенсивное развитие атомной энергетики во всём мире в конце 60-х — начале 70-х годов повысило спрос на низкообогащённый уран.

В мае 1971 года Всесоюзной конторой «Техснабэкспорт» и КАЭ Франция был заключён долгосрочный контракт на оказание услуг по обогащению природного урана. Поставка первой партии обогащённого гексафторида урана была предусмотрена в мае 1973 года. Исполнение обязательств по контракту было поручено комбинату (УЭХК).

Исключительно сжатые сроки (менее двух лет), установленные Правительством, диктовали необходимость параллель-

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ ВНЕДРЕНИЯ ЦЕНТРИФУЖНОГО МЕТОДА.

Анализируя работы, проведённые на комбинате по внедрению в промышленное производство центрифужного метода разделения изотопов урана, следует отметить тот огромный вклад комбината, который был проделан за более, чем сорокалетний период, начиная с пуска опытного завода центрифуг, пуска первого в мире промышленного завода ГТЗ, проведения реконструкции диффузионных заводов и модернизации центрифужных цехов. В результате роста производства УЭХК стал самым мощным в мире предприятием по разделению изотопов урана.

За эти годы на комбинате разработаны и освоены методы безаварийной эксплуатации большого количества центрифуг, методы ведения технологического процесса, обеспечивающие получение продукции высшего качества, получившей высокую оценку зарубежных заказчиков.

На комбинате построен приборный завод, который обеспечил специальными приборами и приборным оборудованием ввод в эксплуатацию первого промышленного завода, реконструкцию диффузионных заводов комбината и потребности родственных предприятий отрасли.

Пуск промышленного завода и начало реконструкции диффузионных заводов привели к резкому повышению экономических показателей работы комбината. Это обстоятельство обеспечило возможность выхода комбината на мировой рынок услуг по обогащению урана для нужд атомной энергетики зарубежных стран.

Интенсивное развитие атомной энергетики во всём мире в конце 60-х — начале 70-х годов повысило спрос на низкообогащённый уран.

В мае 1971 года Всесоюзной конторой «Техснабэкспорт» и КАЭ Франция был заключён долгосрочный контракт на оказание услуг по обогащению природного урана. Поставка первой партии обогащённого гексафторида урана была предусмотрена в мае 1973 года. Исполнение обязательств по контракту было поручено комбинату (УЭХК).

Исключительно сжатые сроки (менее двух лет), установленные Правительством, диктовали необходимость параллель-

Освоение технологии и пуск участка «Челнок» были удостоены присуждения Государственной премии 1979 года. Лауреатами Государственной премии стали сотрудники ВНИПИЭТа, ВНИИХТ, ЦКБМ, СвердловНИИхиммаша, 4-го Главного управления Минсредмаша и УЭХК. От комбината лауреатами Государственной премии стали: Н.А. Бурнашев — аппаратчик технологического цеха № 54, А.П. Кнутарев — главный инженер объекта, Б.Б. Лепорский — начальник масс-спектрометрической лаборатории ЦЗЛ, П.А. Чернов — старший инженер ЦЗЛ.

Выход комбината на мировой рынок услуг по обогащению урана явился решающим фактором стабильной работы комбината в трудных условиях экономических реформ в 90-х годах. Экспортные поставки позволили получать крупные валютные поступления со значительной прибылью для государства и комбината.

Благодаря наличию валютных средств, за эти годы не прекращалось проведение работ по модернизации основного центрифужного оборудования, систем энергоснабжения центрифуг и систем КИПиА, а следовательно, и дальнейшее развитие и рост производства. В свою очередь, модернизация производства на комбинате оказывала поддержку заводам-изготовителям центрифуг, которые, благодаря заказам оборудования комбинатом, смогли сохранить производство и рабочие места.

Работы по вводу в эксплуатацию первого в мире центрифужного завода ГТЗ, а также реконструкции диффузионного производства с переводом его на центрифужную технологию были высоко оценены Правительством присуждением Ленинских, Государственных премий и премий Совета Министров СССР, а также награждением орденами и медалями СССР и России многих работников комбината. Директору комбината А.И. Савчуку (1981), аппаратчикам технологических цехов М.П. Шеенкову (1970) и Г.А. Фадееву (1973), электромонтеру цеха сетей и подстанций С.Д. Боженко (1976) присвоено звание Героя Социалистического Труда.

Необходимо отметить большие заслуги в деле внедрения центрифужного производства на УЭХК директора комбината А.И. Савчука, который руководил предприятием с 1960 по

1987 годы, т. е. с начала строительства первого в мире ГТЗ до окончания реконструкции разделительного производства с переводом его на центрифужную технологию.

Уральский электрохимический комбинат вступил в XXI век уверенный в своём будущем, в необходимости дальнейшего развития и совершенствования разделительного производства путём внедрения новых поколений центрифуг, повышения экономической эффективности производства и сохранения конкурентоспособности на мировом рынке услуг по обогащению урана.

СПЛАВ НАУКИ И ПРОИЗВОДСТВА

Успешному развитию на УЭХК центрифужной технологии во многом способствовала продуманная техническая политика, последовательно проводимая руководством МСМ и комбината по созданию научно-исследовательской и конструкторской базы, способной решать сложные задачи, неизбежно возникающие в процессе развития новой технологии. С далёких 50-х годов, когда была организована первая «лаборатория Халилеева», созданы и получили развитие необходимые структурные подразделения, которые в конце 80-х годов были объединены в «Отраслевой научно-производственный комплекс», в самом названии которого отражён «сплав науки и производства», который, как говорил академик И.К. Кикоин, в современных условиях является неперенным условием успеха в развитии техники.

С началом широкомасштабного промышленного внедрения центрифужного метода, пуском первого промышленного завода центрифуг существенно изменился и в то же время расширился круг задач, стоящих перед опытным цехом и другими творческими коллективами комбината. В первую очередь — это разработка всего комплекса вопросов, связанных с промышленной эксплуатацией газовых центрифуг.

С учетом новых требований в опытном цехе были созданы многочисленные одиночные стенды, ряд групповых стендов в

трех, четырех и пятиярусной компоновке, в том числе для проведения комиссионных испытаний ГЦ следующих поколений. Созданы опытные каскады, состоящие из нескольких последовательно соединенных ступеней, для получения чистых моноизотопов урана (стандартных образцов изотопного состава), а также изотопов ряда стабильных элементов. Стенды для проведения аварийных и сейсмических испытаний. Оснащенные специальной аппаратурой стенды для постоянного наблюдения за поведением ротора и опоры. Служба электрика оснащена преобразователями частоты, позволяющими проводить работу с ГЦ на различных частотах.

В ЦЗЛ были реорганизованы (или созданы вновь) ряд лабораторий по центрифужной тематике.

Промышленное развитие центрифужного метода проходило далеко не гладко. При переходе к эксплуатации большого числа центрифуг крупносерийного производства трёх заводов-изготовителей с разными сложившимися технологическими традициями проявился ряд недостатков конструкции и технологии изготовления ГЦ, многие из которых не могли быть выявлены при стендовых испытаниях. Те или иные недостат-



ки, приводящие к снижению надёжности ГЦ, имели место практически в каждом поколении центрифуг. В ряде случаев приходилось принимать экстренные неординарные меры по исправлению сложившейся ситуации. И на долю комбината, как пионера в освоении центрифужной технологии, выпала основная тяжесть изучения этих проблем, своевременного выявления причин недостаточной надёжности и путей их устранения.

Одновременно широко были поставлены исследования по совершенствованию конструкций серийных центрифуг, повышению их надёжности, ресурса и производительности. Руководство этими работами осуществлял научный руководитель комбината Б.В. Жигаловский, неизменное внимание им уделялось руководителями комбината А.И. Савчуком и П.П. Харитоновым.

В таблице для справки приводятся данные о времени ввода в эксплуатацию на комбинате ГЦ разных поколений.

Поколение ГЦ	Модель ГЦ	Начало серийного производства	Начало эксплуатации на комбинате	Разработчик
1	128	—	1961	ЦКБМ
2	ВТ-3ф	1960	1962	ЦКБМ
3	ВТ-3фА	1962	1963	ЦКБМ
4	ВТ-5	1964	1968	ЦКБМ
5	ВТ-7	1969	1970	ЦКБМ
6	ВТ-33Д	1983	1984	ЦКБМ
7	ВТ-25	1996	1997	УЭХК

Первой серьёзной проблемой явилась недостаточная надёжность машин 3-го поколения при их плотной компоновке в 20-ти машинном агрегате («групповые разрушения»). Как уже отмечалось, сложность проблемы усугублялась тем, что шло серийное производство машин, а часть агрегатов была смонтирована на колонны промышленного завода. При такой ситуации необходимо было находить срочные меры с учётом реализации их в ходе серийного производства и в уже изготовленные машины.

В различных организациях оперативно были поставлены работы по решению этой проблемы. Работы находились под

пристальным вниманием начальника Главка А.Д. Зверева, научного руководителя И.К. Кикоина, Приёмной комиссии и её председателя М.Д. Миллионщикова. В этом «соревновании» наиболее важные результаты были получены в опытном цехе: установлена основная причина групповых разрушений — резонансные колебания газовых коллекторов машины в агрегате и взаимодействие деталей коллекторов с ротором (Б.В. Жигаловский, И.А. Шмаков, Д.М. Левин, Ф.В. Петухов, Ю.П. Забелин, В.А. Ивакин, В.Ф. Корнилов, Ю.А. Назаров — 1963 г.). Эффектным и убедительным явился эксперимент: в агрегате ГЦ ВТ-3фА были удалены детали коллекторов, которые могут при колебаниях взаимодействовать с ротором; проведена серия принудительных разрушений роторов и все они были одиночными! Это на фоне того, что все предыдущие испытания многих вариантов «улучшения» конструкций агрегатов в опытном цехе и других организациях давали отрицательные результаты. Соответствующие рекомендации были реализованы ЦКБМ в модификации ГЦ ВТ-3фА и во всех последующих типах ГЦ. Для уже изготовленных агрегатов было также найдено оригинальное решение — введение «двойной» иглы, о чём говорилось в разделе «Опытный завод центрифуг». Групповые разрушения в агрегатах ГЦ ВТ-3фА были устранены. В последующих типах более скоростных ГЦ этому способствовало также установка механических корректоров.

Первые промышленные типы центрифуг, ВТ-3ф и ВТ-3фА, установленные на промышленном заводе, имели по КД назначенный ресурс 3 года. Сразу было ясно, что такой ограниченный ресурс при эксплуатации большого количества центрифуг существенно снижает экономические показатели центрифужного производства. Поэтому с самого начала эксплуатации промышленного завода по специальным программам были поставлены комплексные исследования по надёжности и ресурсу серийных центрифуг и опорной пары.

Одной из первых проблем явилось исследование процессов ползучести материала роторов центрифуг, приводящих к нарастанию небаланса и изгиба роторов, и их влияния на ресурс центрифуг. Эти процессы изучались в опытном цехе и ранее на отдельных образцах центрифуг (А.А. Сапожников), а с пуском промышленного завода объём испытаний существенно

увеличился. Широко применялись методы ускоренных испытаний на ползучесть и надёжность при повышенных температурах и скорости вращения роторов на одиночных и больших группах ГЦ. Были организованы периодические обследования групп серийных ГЦ разных заводов с различной наработкой на промышленном заводе (1963-67 гг.), что позволило на большом статистическом материале в полном объёме выявить проявления ползучести на серийных ГЦ. Была разработана теория изгибной ползучести роторов (С.Б. Варламов, В.И. Жуковский, 1965-67г.).

В результате комплекса исследований была установлена необходимость принятия ряда неотложных мер по ограничению проявлений изгибной ползучести и выработаны соответствующие рекомендации: ограничение начального небаланса (биений) роторов, ограничение температуры роторов, и с этой целью — ограничение температуры охлаждающей воды, воздуха в машзалах; разработаны методики и аппаратура балансировки роторов центрифуг. Ряд мер был реализован на первом промышленном заводе. Активное участие в исследованиях принимали Б.В. Жигаловский, С.Б.Варламов, Э.Л. Ернов, В.И. Жуковский, Ю.П. Забелин, Д.М. Левин, А.А. Малыгин, В.А. Смирнов, И.А. Шмаков, Е.А. Шустов и др., приборы для измерения дисбаланса были разработаны под руководством М.А. Маркмана, позднее — А.М. Токарева. Принятые меры по ограничению исходных биений и температуры роторов обеспечили допустимые пределы по росту биений роторов, и острота проблемы была снята для всех последующих поколений центрифуг.

Эксплуатация центрифуг 3-го и 4-го поколений вскоре принесла новые проблемы, касающиеся надёжности опорной пары. После 2-х — 4-х лет работы на этих типах ГЦ наметился рост отказов, значительный на ГЦ изготовления одного из заводов (1965-66 гг.). Проведенные массовые осмотры и исследования позволили выяснить их причину — усталостные поломки опорных игл. Снова возникла ситуация, при которой требовалось принимать внеочередные меры (не допуская заметного снижения производительности завода) по замене опорного узла на большом количестве машин ВТ-ЗФА промышленного завода. Аналогичная, но в ещё больших масштабах, си-

туаця возникла на ЭХЗ, г. Зеленогорск, где впервые были установлены машины 4-го поколения.

В опытном цехе был исследован и предложен простой, но в то же время эффективный способ повышения циклической прочности игл и устранения их усталостных поломок путём оптимизации размеров игл (А.И. Савчук, Б.В. Жигаловский, И.А. Шмаков, Д.М. Левин, В.А. Ивакин, Ю.А. Кухмаков, А.А. Малыгин, С.В. Петров, 1967 г.). Эта рекомендация была реализована в конструкциях опорных узлов ГЦ 5-го поколения (1969 г.) и всех последующих поколений центрифуг. Усталостные поломки игл были практически исключены.

В ЦЗЛ были разработаны установки и методики испытаний игл на циклическую прочность и конструкционное трение. Исследования показали заметный разброс серийных игл по этим параметрам (И.В. Держинский, А.П. Дягилев, П.Б. Никонов, А.Н. Подстречный, А.М. Токарев). На основании выданных рекомендаций на заводах-изготовителях с применением разработанных установок была проведена доводка технологии изготовления игл и уточнение допусков (1977 г.), позволившая обеспечить достаточную однородность продукции. С 1975 г. по указанию Главка на УЭХК осуществляется периодический выборочный контроль серийных игл с целью проверки их стабильности по циклической прочности и, одновременно, качества применяемой проволоки.

Для ГЦ 3-го и 4-го поколений со «старыми» иглами была разработана и реализована система планово-предупредительного ремонта на основе анализа динамики отказов с заменой опорных узлов после отработки определённого ресурса ($5 \pm 1/2$ года).

После устранения усталостных поломок игл ресурс опорной пары определялся состоянием и износом их трущихся поверхностей и отказами опорных пар вследствие износа. Проведенные исследования и осмотры большого числа опорных узлов центрифуг промышленного завода с различной наработкой (В.А. Ивакин, Г.А. Лапин, В.П. Плесовских, 1963-67 гг.) показали, что ресурс опорных пар ГЦ 3-го и 4-го поколений по указанным причинам составил примерно 5 лет, что совпало с ресурсом опорных игл по усталостной прочности и определило идеологию проведения ремонтных работ этих типов центрифуг с заменой опорных узлов.

Периодическая замена опорных узлов центрифуг, кроме потери производительности завода, связанной с частыми остановами секций на ремонт, требовала и других значительных затрат. К тому же, сами центрифуги небезразличны к остановам и ремонтам, в частности, возникали проблемы с неразгоном части машин из-за повышенных дисбалансов. Поэтому весьма насущной и актуальной явилась задача повышения ресурса опорной пары до ресурса самих центрифуг.

Проведенные осмотры опорных пар центрифуг промышленного завода выявили интересные и неожиданные результаты: обнаружено, что после нескольких лет работы, наряду с опорными парами, имеющими заметные следы взаимодействия (приработки), а на части — грубые дефекты, имеются и такие пары, на которых практически не видно следов работы. Это явилось предметом специальных исследований, которые выявили причины столь большого разброса в состоянии опорной пары и позволили реализовать ряд мер, существенно повысивших их ресурс (Б.В. Жигаловский, Д.М. Левин, В.А. Ивакин, Ю.Е. Воронин, Г.А. Лапин, Н.М. Лысцов, Р.П. Маранц, Д.Л. Симоненко, И.А. Шмаков, 1973 г.). «Оптимизированные» опорные пары были установлены в ГЦ 5-го (1975-76 гг.) и последующих поколений. Проведенные длительные наблюдения и обследования показали, что ресурс «оптимизированных» опорных пар составляет не менее 25 лет. Например, ГЦ ВТ-7 сб. 72Б, ВТ-33Д (5 и 6 поколения) уже отработали без остановок до -20 лет при уровне отказов опорной пары менее 0,01% /год. Этому во многом способствовало высокое качество изготовления опорных узлов на заводах-изготовителях, налаженная система постоянного контроля качества продукции на всех стадиях производственного цикла. На приборном заводе комбината были разработаны автоколлимационные приборы (А.В. Кулешов, С.П. Булыгин), используемые для исследований и контроля геометрии сферы подпятников на заводах-изготовителях подпятников и центрифуг.

Ещё при создании первых опытных образцов центрифуг в Институте атомной энергии М.Д. Миллионщиковым, Е.М. Каменевым, М.Н. Репниковым были разработаны опытные образцы корректоров — устройств, предназначенных для спасения роторов центрифуг от разрушения в случае потери

ими устойчивости, сейсмических и ударных воздействиях (1960-61 г.). Учитывая важность этой проблемы, исследования по испытаниям и разработке корректоров были поставлены и в опытном цехе. На базе корректоров Каменева и Репникова был разработан новый верхний корректор, лишённый недостатков предыдущих конструкций (В.А.Ивакин, Г.А.Лапин, Д.М. Левин, О.В.Ковылин, Ю.А. Кухмаков, 1962 г.). По результатам испытаний опытных партий центрифуг ВТ-3ФА, а затем ВТ-5 с корректорами конструкции комбината, Приёмная комиссия МСМ выдала рекомендацию об оснащении корректорами этих типов центрифуг, что было реализовано в конструкции ГЦ ВТ-5.

В 1967 г. группе разработчиков ЦКБМ, ИАЭ, ВНИПИЭТ и УЭХК, в которую входил Д.М. Левин, была присуждена Государственная премия СССР за создание центрифуги 4-го поколения и многоярусной компоновки агрегатов.

При переходе к следующей, более скоростной машине 5-го поколения — ВТ-7, дополнительно потребовалось проведение расчётно-теоретических, экспериментальных исследований и опытно-конструкторских работ по совершенствованию корректирующих устройств и оптимизации параметров опорных узлов. В ЦЗЛ был разработан специальный антифрикционный материал (Б.В. Митюхляев). Новая система корректоров с использованием специального антифрикционного материала была внедрена в серийную ГЦ ВТ-7. Участники этих работ — Д.М. Левин, В.А. Ивакин, М.Н. Кузнецов, Ю.П. Забелин, А.С. Безматерных. Приёмной комиссии МСМ для испытаний были представлены также варианты корректоров конструкции ЦКБМ и ОКБ ГАЗ; испытания показали преимущество корректоров конструкции УЭХК. Предложенная конструкция верхнего корректора применена также и на следующей модели ГЦ — ВТ-33Д. В результате этого комплекса работ был решён вопрос об обеспечении сохранности центрифуг 4-го, 5-го и 6-го поколений в аварийных режимах. Для центрифуг 7-го поколения потребовались разработки новых решений, о чём будет сказано далее.

Газовые центрифуги, оснащённые корректорами, выдерживают сейсмические воздействия интенсивностью 9 баллов, что обеспечило возможность их эксплуатации в многоярусной компоновке в сейсмических зонах повышенной балльности.

В течение всего рассматриваемого периода работы комбинат являлся полигоном для проведения заводских и комиссионных испытаний многочисленных опытных и установочных партий газовых центрифуг всех поколений. В процессе испытаний шла окончательная отработка конструкций ГЦ и накапливалась первичная информация по надёжности машин. Большое внимание при этом уделялось работам по улучшению характеристик центрифуг, повышению их разделительной способности (разделительного КПД). Как отмечал П.А. Халилеев, «Задача эта трудна тем, что детальная теория работы реальной центрифуги очень сложна, а экспериментальные исследования — очень трудные и тонкие. Окончательные решения должны были дать теоретические расчёты, экспериментальные исследования и изобретательность».

Уже при исследованиях первых опытных образцов центрифуг научному сотруднику ЦЗЛ Н.Н. Рыскуновой совместно с П.А. Халилеевым на основе теоретических исследований, выполненных в ОКБ ЛКЗ (Х.А. Муринсон, Д.А. Буртин), удалось найти удачное решение конструкции отвального узла центрифуги (введение второй диафрагмы), которое привело к повышению разделительного КПД на десятки процентов. Это решение, защищённое авторским свидетельством (1961 г.), было реализовано во всех конструкциях серийных центрифуг.

Важные исследования были выполнены И.В. Держинским, Г.А. Мамычевым по отработке методики и датчиков бесконтактного измерения температуры поверхности роторов. Проведённые исследования показали существенное влияние распределения температуры вдоль ротора на разделительный КПД. Совместно со специалистами ОКБ ЛКЗ были разработаны способы оптимизации распределения температур с целью достижения максимального КПД (В.И. Ерёмин, Б.В. Жигаловский, Д.М. Левин, Г.А. Мамычев, Н.Н. Рыскунова, И.А. Шмаков). Внедрены на центрифугах 5-го и следующих поколений.

Заметное повышение разделительного КПД центрифуг 5-го и следующих поколений было достигнуто в результате оптимизации конструкции отборных трубок ротора (косой срез носика отборника) — В.А. Смирнов, И.В. Держинский, Н.Н. Рыскунова, И.С. Гладких, и др., и целого ряда других работ (П.В. Баженов, В.И. Ерёмин, А.А. Карачёв и другие).

С самого начала эксплуатации промышленного завода специалистами опытного цеха, производственно технологического отдела УЭХК, цехов эксплуатации выполняется весь комплекс исследований по оптимизации технологии эксплуатации центрифуг: отработка режимов разгона, торможения, заполнения центрифуг рабочим газом, гидравлической загрузки центрифуг; разработана и внедрена в промышленную эксплуатацию методика разгона центрифуг с повышенными небалансами роторов; методики выявления в технологической цепочке дефектных центрифуг, и целый ряд других вопросов.

В последние годы большое внимание уделяется исследованиям по минимизации энергозатрат центрифужных заводов, в том числе: — оптимизация потребления центрифугами электроэнергии (Н.И. Беспалов, И.В. Держинский, Г.А. Мамычев, Ю.С. Просвирников и др.); оптимизация условий эксплуатации центрифуг по температурам охлаждающей воды и воздуха, влажности воздуха и т.д. (Я.А. Нисневич, И.В. Ворох, А.А. Карачёв, В.В. Комаров, А.В. Рыскунов, С.С. Тарасов, Р.В. Эйшинский. и др.).

Как известно, в качестве базовой конструкции для промышленного использования была принята модель подкритической центрифуги, что оказалось вполне оправданным. Такая конструкция, наряду с плотной агрегатной компоновкой и многоярусным размещением агрегатов в корпусах, имела значительные резервы дальнейшего совершенствования, что и было реализовано в течение рассматриваемого сорокалетнего периода. В то же время, уже в начале работ по центрифужной тематике, в конце 1958 г. в расчётно-теоретическом секторе ЦЗЛ инициативной группой под руководством М.А. Ханина (В.А. Баженов, А.М. Токарев, впоследствии Е.А. Шустов, О.Ф. Гусев) были поставлены исследования по надкритической газовой центрифуге (НГЦ). К работе были подключены инженеры-конструкторы Г.И. Меньшенин, Г.В. Захаров, прибористы М.А. Маркман, В.И. Шаманаев. В короткие сроки были выполнены необходимые расчётно-теоретические исследования, созданы аппаратура и стенды для измерения дисбалансов и тонкой балансировки роторов. В апреле 1960 г. удалось впервые пройти критическую частоту на жёстком роторе типа ГЦ 2-го поколения. Большое внимание и помощь этим рабо-

там оказывал директор комбината И.Д. Морохов, руководитель 4 ГУ А.Д. Зверев и министр Е.П. Славский.

В 1960 г. в ЦЗЛ была выделена лаборатория НГЦ под руководством М.А. Ханина, заместитель — В.А. Баженов (с 1962 г. — начальник лаборатории). Костяк лаборатории составили молодые исследователи: кроме перечисленных — А.А. Власов, А.П. Дягилев, Л.В. Молодцов, С.М. Птушкин, Б.С. Поспелов, В.В. Решетников, В.Г. Шаповалов. Основным направлением работ явилась разработка научных основ и решение принципиальных вопросов создания НГЦ с жёстким ротором. Работы велись в тесном взаимодействии с заводом «Точмаш», на котором совместно отработывались вопросы балансировки роторов и изготовления опытных моделей НГЦ. В 1964 г. на заводе «Точмаш» был изготовлен для испытаний первый опытный агрегат НГЦ (на базе ГЦ 4-го поколения).

Руководство МСМ в 1962 году принимает решение о привлечении ОКБ ПНО ГАЗ к работам по НГЦ для создания промышленного варианта машины. Дальнейший ход работ по НГЦ отражён в разделе о ПНО ГАЗ.

В лаборатории, кроме продолжения работ по НГЦ в контакте с ОКБ ГАЗ, были поставлены исследования по созданию ряда нестандартных установок и приборов, необходимых для испытаний, эксплуатации и производства серийных центрифуг. В этом плане оказался весьма полезным опыт работы с НГЦ. В 1962 — 1963 г.г. на заводы-изготовители были переданы методики, аппаратура и стенды для измерения дисбаланса и балансировки роторов.

В конце 60-х годов был разработан макет портативного прибора для измерения мощности трения (а также частоты вращения) роторов. Приборный завод освоил выпуск нескольких модификаций таких приборов. Совместно с ОКБ приборного завода в разные периоды разработаны приборы для контроля параметров роторов при их серийном производстве: бесконтактный измеритель диаметра металлической основы (применён для ГЦ 5-го и последующих поколений); приборы и стенды (несколько модификаций) для измерения векторов биений верхнего и нижнего концов роторов ГЦ 6-го и 7-го поколений и другие. Основные участники работ: от лаборатории — А.М. Токарев, А.Н. Подстречный, Ю.Л. Герасимов, В.Е. Про-

куденко, Г.К. Залесов, В.В. Решетников, М.Ю. Петухова; от ОКБ приборного завода — Вс.А. Баженов, А.В. Кулешов, Ю.С. Овчинников, В.И. Шаманаев, Ю.В. Перфилов, С.И. Башмаков.

Увеличение производительности и эффективности разрабатываемых конструкций центрифуг осуществлялось в основном за счёт увеличения окружной скорости. Это требовало применения новых более высокопрочных материалов и совершенствования традиционно применяемых материалов. В связи с этим Министерством среднего машиностроения в 1966 году принято решение о создании в ЦЗЛ УЭХК комплекса лабораторий по исследованию и разработке новых материалов. Возглавляли работу этих лабораторий с 1966 по 1975 годы В.А. Баженов (с 1975 по 1988 годы начальник ЦЗЛ) и с 1975 по 1988 годы — С.Б. Варламов. Начальниками лабораторий в разные годы были А.М. Токарев, Б.В. Митюхляев, В.Г. Комаров, К.Г. Сапсай, С.Б. Варламов, С.Н. Новиков, В.Д. Маранц.

Первой серьёзной задачей, которую пришлось решать коллективам лабораторий, стало выяснение причин разрушения сборок 32 и 52 центрифуг 5-го поколения, интенсивность выхода из строя которых начала резко нарастать со второго года эксплуатации центрифуг. Проведённые фрактографические и металлографические исследования, механические испытания материала и расчёты напряжённого состояния роторных деталей показали, что причина отказов была связана с образованием трещин в горловине верхней крышки ротора в месте с неудовлетворительной структурой, низкими механическими свойствами материала и с повышенным уровнем напряжений (С.Б. Варламов, Р.П. Маранц, В.И. Жуковский и др.). Исследованиями, проведёнными в ВИАМ, и на УЭХК (В.Д. Маранц, Р.П. Маранц, В.В. Кандалов), было установлено, что трещины в горловине верхней крышки и в других концевых деталях зарождаются и растут по механизму коррозии под напряжением. Результаты выяснения причин разрушений центрифуг сборок 32 и 52 были доложены 14 ноября 1973 года на секции НТС МСМ, которой руководили начальник 4ГУ А.Д. Зверев и академик И.К. Кикоин. Секцией были рекомендованы меры, направленные на устранение обнаруженного дефекта. Первым шагом в этом направлении была разработка конструк-

торами ЦКБМ (В.И. Сергеев, А.Н. Коротков и др.) верхней крышки ротора с пониженным уровнем напряжений в опасном месте, но изготавливалась она из той же штамповки с неудовлетворительной структурой, что и предыдущая конструкция крышки. Новая конструкция крышки была внедрена в июне 1974 года в центрифуге 5-го поколения сборки 72, средняя интенсивность разрушений стала на порядок ниже, чем у сборки 52.

Следующим шагом было внедрение в 1979 году сборки 72Б с верхней крышкой той же конструкции, что и в сборке 72, но из новой штамповки Н-241, которая была разработана учёными ВИАМ, а (И.Н. Фридляндер, И.И. Молостова и др.) и металлургами ВИЛС, а (К.Н. Михайлов и др.) при участии работников ЦКБМ, ИАЭ и УЭХК (С.Б. Варламов, А.М. Токарев, Р.П. Маранц и др.).

Уровень средней интенсивности разрушений сборки 72Б понизился на порядок по сравнению со сборкой 72 и примерно на два порядка по сравнению со сборкой 52. На сегодня установленный ресурс сборок 72 и 72Б — 25 лет, с возможным продлением его более 25 лет для сборки 72Б в 2005-2006 годах.

Высокий уровень выходов из строя первыхборок центрифуг 5-го поколения на начальном этапе их эксплуатации потребовал принятия срочных мер. Решение этой проблемы на УЭХК возглавили директор А.И. Савчук и научный руководитель Б.В. Жигаловский. Были разработаны статистический анализ отказов центрифуг и методика выявления центрифуг с «дефектными» партиями верхних крышек (И.П. Лебединский, Г.С. Соловьёв, Н.Б. Афанасьев, И.М. Михайлов, В.А. Палкин, В.Н. Заимских, В.К. Зимин и др.), на основе которых проводились планово-предупредительный ремонт и замена оборудования.

При повышенном уровне разрушений центрифуг выделялось значительное количество газообразных продуктов, которые, попадая в трассы и реагируя с ГФУ, образовывали золи, забивающие газовые коммуникации, соединяющие центрифуги, что приводило к нарушению гидравлического режима каскада. На комбинате были разработаны конструкции модернизированного шарикового клапана (Кухмаков Ю.А., Ернов Э.Л.), в меньшей степени подверженного забитию золями, и

межступенных золеулавливающих фильтров (ЗУФ). Своевременная установка между ступенями каскада ЗУФов и модернизированных клапанов позволили свести к минимуму потери производительности от вторичных эффектов разрушения центрифуг 5-го поколения. Разработка ЗУФов, исследования золь, образующихся при разрушении центрифуг, и коррозионных отложений в центрифугах проводились в ЦЗЛ Я.А. Нисневичем, И.В. Ворохом, В.Я. Демидовым, Б.Д. Маранцем, В.В. Кандаловым и др. и в расчётно-теоретической лаборатории ИВЦ Г.С. Соловьёвым, С.П. Селифановым и др.

Разработка более скоростных моделей центрифуг потребовала совершенствования методик расчётной оптимизации роторных деталей. На УЭХК этим начали заниматься С.Б. Варламов и В.К. Курушкин, разработавшие методику расчёта напряжённо-деформированных состояний концевых деталей ротора с использованием ЭВМ. Проведённая по этой методике расчётная оптимизация была использована в конструкции верхней крышки ротора центрифуги 6-го поколения, разработанной ЦКБМ (В.И. Сергеев, Ю.А. Ушаков) при участии УЭХК (А.С. Безматерных, С.Б. Варламов, В.А. Ивакин, В.К. Курушкин, Д.М. Левин, И.С. Чаплинский) и ОКБ ГАЗ (П.И. Моторин, Г.М. Шмелёв). В дальнейшем на УЭХК был разработан на основе метода конечных элементов комплекс программ «Спектр» (В.И. Жуковский, В.Е. Прокуденко), который использовался для оптимизации роторных деталей в ЦКБМ, ОКБ ГАЗ и на УЭХК.

Начальный этап разработки и испытаний опытных партий центрифуг 6-го поколения конструкции ОКБ ГАЗ показал, что необходимы кардинальные меры по повышению длительной конструкционной прочности роторных деталей. Были намечены два направления. Первое направление на основе порошковой металлургии (Б.В. Митюхляев, В.И. Тесля, А.И. Володин, В.В. Корольков, И.Д. Кобылинская и др.) позволило в 1967-1980гг. совместно с ВИАМ,ом и КУМЗ,ом разработать ряд новых высокопрочных порошковых сплавов, защищённых авторскими свидетельствами. Однако, применения в серийных центрифугах эти сплавы не нашли.

Проведенные в конце 60-х — начале 70-х годов на УЭХК (С.Б. Варламов, Р.П. Маранц, З.Е. Ушакова) испытания опыт-

ных штампованных заготовок, изготовленных по различным технологическим вариантам, показали, что другим решением проблемы может быть совершенствование технологии изготовления из традиционно используемого сплава. Разработка новой технологии велась на КУМЗе, директор А.Н. Чеканов, с участием лаборатории И.Н. Фридляндера (ВИАМ) и при участии в исследованиях и испытаниях В.В. Митюхляева (УЭХК), ЦКБМ, ИАЭ. Разработанная в конце 70-х годов новая технология позволила изготавливать заготовки для высоконадёжных концевых деталей ротора центрифуги 6-го поколения, а затем и для последующих поколений центрифуг.

Концевые детали ротора из указанных заготовок были впервые использованы в конструкции центрифуги 6-го поколения, разработанной в ЦКБМ. При испытаниях этих центрифуг, в том числе и на форсированных режимах, трещин в деталях, образующихся по механизму коррозии под напряжением, обнаружено не было. Однако, при испытаниях на УЭХК первой установочной партии центрифуг 6-го поколения в диафрагмах ротора были обнаружены трещины усталостного характера (С.Б. Варламов, Р.П. Маранц, Б.Д. Маранц, Н.Г. Останин), образующиеся в условиях сложного резонансного состояния, которое имеет место при определённом соотношении параметров ротора и диафрагм. На основе работ, проведенных на УЭХК (В.А. Баженов, С.Б. Варламов, А.М. Токарев, А.П. Дягилев, О.Ф. Гусев, В.И. Жуковский, В.Е. Прокуденко), в ЦКБМ (Н.П. Глухов, В.Б. Липкин), в ОКБ ГАЗ (Ю.П. Заозерский), был предложен способ устранения сложного резонанса в роторах, который нашёл применение при разработке центрифуг, начиная с 6^{го} поколения. Для реализации этого способа используется расчётная оптимизация конструкции с учётом чертёжных допусков роторных деталей с помощью программы «Спектр». Были разработаны специальные установки и приборы, позволяющие экспериментально исследовать спектр собственных частот вращающихся роторов, на которых осуществлялась проверка различных конструктивных вариантов (О.Ф. Гусев, Ю.Л. Герасимов, А.Н. Подстречный, Г.К. Залесов).

Принципиальным для центрифуги 6-го поколения явилось использование разработанного на УЭХК связующего стекло-

пластика с пониженной температурой полимеризации, обеспечивающего снижение релаксации предварительного напряжения сжатия (К.Г. Сапсай, В.М. Карасёв). В конструкции центрифуги 6-го поколения использован также ряд других разработок, выполненных на УЭХК, активными участниками которых были Б.В. Жигаловский, И.П. Лебединский, Г.С. Соловьёв, А.С. Безматерных, В.И. Ерёмин, Ю.П. Забелин, Г.В. Захаров, В.А. Ивакин, Ю.А. Кухмаков, Д.М. Левин, А.А. Малыгин, Г.А. Мамычев, Н.Н. Рыскунова, И.С. Чаплинский, И.А. Шмаков и др.

В 1983 году на начальном этапе эксплуатации серийных центрифуг 6-го поколения наблюдалась повышенная интенсивность отказов. Комиссией УЭХК (С.Б. Варламов, Г.С. Соловьёв, В.Е. Кадыров, Д.М. Левин, А.М. Токарев) было установлено, что причина отказов — образование продольных трещин в трубе ротора. Фрактографическое изучение изломов в трубах, выполненное на УЭХК (В.В. Кандалов), показало, что разрушение начинается с поверхностей, контактирующих с другими деталями и имеющих коррозионные повреждения. Было установлено также, что аналогичные трещины встретились в центрифугах 5-го поколения, изготовленных в 1982-1984 годах непосредственно перед переходом на серийное производство центрифуг 6-го поколения. Отраслевая технологическая комиссия в составе: председатель А.Н. Коротков (ЦКБМ), члены комиссии: В.А. Смирнов (УЭХК), Н.Л. Прозоров (Точмаш), Н.С. Травкин (ЗиД), Н.П. Шубин (ПНО ГАЗ), В.Н. Малышев, работавшая в 1984 году по указанию начальника 4ГУ А.Д. Зверева, установила, что причиной образования трещин явилась одна из операций, вновь введённая в технологию сборки роторов. После исключения из технологии сборки ротора указанной операции центрифуги 6-го поколения имеют интенсивность разрушений менее 0,01% /год, а среднюю интенсивность общего выхода менее 0,1% /год. В настоящее время установленный ресурс центрифуг 6-го поколения составляет 30 лет.

Повышение ресурса ГЦ и опорной пары от 3-5 лет для первых поколений до 25 — 30 лет на современных типах ГЦ при низком стабильном уровне отказов, стало результатом плодотворной творческой работы всех коллективов — конструкторо-

ров, учёных, технологов, изготовителей ГЦ и материалов, эксплуатирующих ГЦ предприятий, оно явилось серьёзным техническим достижением и значительно повысило технико-экономические показатели центрифужного производства.

В 1990 году работники комбината В.А. Баженов, С.Б. Варламов, В.Е. Кадыров, В.И. Александров вместе с представителями ЦКБМ, ИАЭ, ВНИПИЭТ, ВИАМ, КУМЗ и машиностроительных заводов удостоены премии Совета Министров СССР за разработку и внедрение центрифуги 6-го поколения.

Начиная с 1967 года в лабораториях ЦЗЛ велась разработка и исследования высокопрочных и высококомодульных нитевидных материалов и полимерных композиционных материалов (КМ) на их основе для центрифуг следующих поколений (К.Г. Сапсай, Ю.А. Крестьянников, Н.А. Шибаленков, В.Ф. Свицов, В.П. Плесовских и др.).

Одновременно разрабатывались принципы создания роторов из КМ. Один из таких принципов, сформулированный в 1971 г. (В.А.Баженов, С.Б. Варламов, В.И. Жуковский, К.Г. Сапсай, В.М. Карасёв), позднее был положен в основу разработок ротора центрифуги 7-го поколения, а затем 8-го поколения.

В этот же период в опытном цехе были выполнены расчётно-теоретические и экспериментальные исследования устойчивости и надёжности перспективных высокооборотных роторов при внешних воздействиях, выявившие ряд новых закономерностей и нестандартных путей решения задачи, которые были реализованы в конструкции центрифуги 7-го, а также и 8-го поколений (Д.М. Левин, В.А. Ивакин, А.С. Безматерных, Ю.П. Забелин).

Показательно, что принципиальные технические вопросы по центрифуге 7-го поколения были поставлены и решены заблаговременно, когда ещё шло производство ГЦ 5-го поколения. Прогнозирование и разработка центрифужной техники на несколько поколений вперёд является важным элементом научно-технической политики в отрасли и на УЭХК.

В 70-х годах ЦКБМ и УЭХК вели научно-исследовательские работы на макетных роторах с использованием КМ. В ЦКБМ испытывались ротора, концевые детали, которых были из нового материала, а на УЭХК — концевые детали были из

материала, использовавшегося в центрифуге 6-го поколения. Первое техническое задание на опытно-конструкторские работы по центрифуге 7-го поколения с композиционным ротором, имеющим концевые детали из традиционного материала, было подготовлено ЦКБМ в 1984 году.

Разработка конструкций по этому ТЗ велась параллельно ЦКБМ и УЭХК (опытный цех и лаборатории ЦЗЛ до 1988, а с 1988 г. — ОНПК*) по согласованному координационному плану, утверждённому начальником 4ГУ Министерства. На УЭХК научное руководство работами по центрифугам 7-го поколения осуществлял Б.В. Жигаловский, а с 1987 года — Г.С. Соловьёв. На УЭХК первые опытные агрегаты были поставлены на испытания в 1982 — 1983 годах, и к 2001 году они отработали около 20 лет. Первые опытно-промышленные партии центрифуг 7-го поколения, разработанные ЦКБМ и ОНПК УЭХК, начали испытываться в технологической цепочке УЭХК с 1991 года, к июню 2001 года они отработали 10 лет в условиях промышленной эксплуатации.

В дальнейшем обстоятельства сложились так, что продолжалась доводка только конструкции, разработанной на УЭХК. В этом варианте -55% деталей центрифуги заимствованы из конструкций центрифуг предыдущих поколений, разработанных ЦКБМ. В конструкции центрифуги ВТ-25 использованы впервые 11 изобретений, разработанных на УЭХК, авторами которых являются специалисты УЭХК, Центротех-ЭХЗ, ОКБ ГАЗ.

В 1995 году по результатам испытаний опытно-промышленных и двух установочных партий центрифуга 7-го поколения была рекомендована Приёмной комиссией (председатель Ю.В. Вербин) к серийному промышленному производству,

* В 1988 г. по приказу Министра среднего машиностроения на базе опытного цеха, лабораторий ЦЗЛ и РТЛ создаётся Отраслевой научно-производственный комплекс (ОНПК) с правами Главного конструктора, в дальнейшем, с 1992 г., преобразованный в Опытный цех разделительного производства (ОЦРП). Начальник ОЦРП — Главный конструктор В.А. Баженов, заместители начальника: А.А. Карачёв (1992 — 2001 гг.), А.Ю. Куркин (с 2001 г.), К.Г. Сапсай (главный технолог), Ю.Л. Герасимов, зам. Главного конструктора (с 1996 г.) — А.С. Безматерных. Руководители КБ, участков, лабораторий: С.Б. Варламов, А.С. Безматерных, Ю.А. Крестьянников, А.М. Токарев, В.А. Ивакин, П.В. Баженов, В.И. Жуковский, Б.Д. Маранц, С.И. Лебединский, Я.А. Нисневич.

которое было освоено на заводах-изготовителях центрифуг в 1996-1997 годах.

В разработке конструкции ГЦ ВТ-25, агрегата, конструкторской документации и промышленном освоении ГЦ ВТ-25 кроме перечисленных выше активное и творческое участие принимали И.С. Чаплинский, В.А. Бачинин, В.Г. Климин, К.И. Коробейников, А.А. Карачёв, П.В. Баженов, А.Ю. Куркин, З.В. Ивакин, Л.А. Свинцова, Г.В. Захаров, Ю.Е. Воронин, В.И. Ерёмин, Г.А. Мамычев, А.М. Токарев, В.Е. Прокуденко, Г.К. Залесов, В.В. Решетников, С.А. Воробьёв, М.М. Кошурников, Г.А. Лапин, Ю.А. Назаров и др. В организации и проведении промышленных испытаний центрифуг ВТ-25 большая заслуга принадлежит технологическому цеху № 24 (нач.цеха Ю.А. Дмитриев), производственно-технологическому отделу (В.В. Раёв, Н.П. Бисярин, В.Е. Кадыров, Л.Н. Зеленский, В.В. Орлов и др.). Велика роль Приёмной комиссии МАЭ РФ, её председателя Ю.В. Вербина, конкретные рекомендации которых по устранению выявленных при испытаниях замечаний и недостатков, способствовали созданию надёжной конструкции ГЦ ВТ-25, полностью удовлетворяющей высоким техническим требованиям.

Созданию технологии изготовления центрифуг 7-го поколения способствовало заинтересованное отношение руководителей ОАО «Зид» и ВПО «Точмаш», творческое участие технологов, мастеров, руководителей серийных производств ГЦ этих заводов (ОАО «Зид» — В.Ф. Петрушев, А.В. Тменов, Л.А. Овчинников, Н.С. Травкин, В.Н. Мартынов, Ю.П. Карпов, И.И. Печёнкин, А.И. Самородский, Г.С. Крекин, В.В. Калинин и др., ВПО «Точмаш» — Ю.А. Замбин, В.М. Сатков, Е.А. Сироткин, П.И. Павлухин, Ю.В. Тихомолов, Н.Л. Прозоров, В.Е. Лемперт, М.М. Сорокина, Т.Б. Сорокина, А.Я. Рогов и др.).

Подготовка и пуск промышленных производств новых композиционных материалов, новых газовых центрифуг, а также промышленное внедрение центрифуг ВТ-25 на УЭХК (с 1997 г.) пришлось на сложный период реформ 90-х годов, что потребовало от руководства УЭХК большой энергии, воли, усилий и настойчивости в организации, финансировании и успешном проведении всего этого комплекса работ (В.Ф. Корнилов,

А.П. Кнутарев, Г.С. Соловьёв, Г.К. Кобылинский, В.А. Баженон, В.А. Налимов, О.Ф. Гусев), при большой помощи от руководителей Главка Е.И. Микерина, С.В. Малышева, А.А. Власова, Ю.Я. Скачкова, А.С. Быстрова.

За разработку и промышленное внедрение центрифуг 7-го поколения группе специалистов была присуждена Государственная премия РФ за 2000 г.: от УЭХК — В.А. Баженон, В.А. Ивакин, В.Е. Кадыров, К.Г. Сапсай, Г.С. Соловьёв; от Центротех — ЭХЗ — В.В. Кураев; от ДЯТЦ Министерства — Ю.Я. Скачков; от ОАО Зид — В.Ф. Петрушев.

Создание и промышленное внедрение центрифуги 7-го поколения, значительно превосходящей по эффективности предыдущую конструкцию, явилось свидетельством высокого профессионализма учёных, технологов и конструкторов УЭХК, ОАО «Зид» и ВПО «Точмаш», которым под силу решение и новых сложных задач по дальнейшему совершенствованию центрифужного производства.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ РАЗДЕЛЕНИЯ СТАБИЛЬНЫХ ИЗОТОНОВ ЦЕНТРИФУЖНЫМ МЕТОДОМ

В начале 60-х годов академик И.К.Кикоин выступил инициатором использования газовых центрифуг для разделения стабильных изотонотв различных химических элементов Периодической системы.

Разработчиками и конструкторами ИАЭ, ЦКБМ, ОКБ ГАЗ, УЭХК и ЭХЗ была начата разработка промышленной технологии разделения стабильных изотонотв центробежным методом. В начальный период разработки этой технологии на УЭХК использовались серийные центрифуги 3-го, 4-го поколений и оборудование, принятое при промышленном производстве урана. В опытном цехе были проведены исследования по обогащению криптона изотонотв 86, ксенона изотонотвами 124, 129, 136, железа изотонотв 54 (Ф.В. Петухов, Г.А. Мамычев, Б.Н. Серёгин), по разделению газовых смесей с большой раз-

ницей молекулярных весов (В.А. Ивакин, Л.Л. Муравьев). Однако, уже эти первые опыты показали невозможность прямого использования существующих центрифуг, оборудования и технологии для работы с широким спектром химических соединений, каждое из которых обладает особыми физико-химическими свойствами.

В связи с важностью и сложностью технических задач на комбинате под научным руководством Б.В. Жигаловского и при поддержке директора А.И. Савчука был выполнен большой объем научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, посвященных решению этой проблемы. Совместно с учеными ИАЭ, ЦКБМ В.Я. Бирюковым, Б.В. Жигаловским, В.В. Комаровым, И.П. Лебединским, Л.Л. Муравьевым, В.И. Сырыгиным, А.М. Токаревым была разработана теория разделения многокомпонентных изотопных смесей.

Другой сложной инженерно-технической задачей было создание высокоэкономичной центрифуги для работы на газах с малым молекулярным весом. В результате исследований 1961-1963 г.г Н.П. Стариченковым была разработана специальная высокоэффективная система молекулярных уплотнений, которая в дальнейшем нашла широкое использование как один из основных элементов в конструкциях центрифуг ОКБ ГАЗ и ЦКБМ. Изучение газодинамических процессов в центрифугах привело к разработке ряда прогрессивных технических решений. В.А. Бачинин, Г.А. Мамычев, И.С. Чаплинский, В.А. Якубовский внесли ряд усовершенствований в конструкцию газодинамического узла легкой фракции ротора центрифуги, позволивших значительно повысить производительность и экономичность центрифуги при работе на газах с молекулярными весами 40- 150 а.е.м.. Одна из этих разработок нашла применение в варианте конструкции центрифуги ВТ — 45 ЦКБМ.

В ходе разработки промышленной технологии разделения многокомпонентных изотопных смесей специалистами комбината был решен ряд вопросов научно-технического характера.:

- впервые обнаружено и изучено отрицательное влияние изотопного обмена между гексафторидом молибдена и его коррозионными отложениями на процесс

получения высокообогащенных изотопов молибдена, даны рекомендации по его устранению (Ф.В. Петухов, В.А. Якубовский);

- разработаны масс-спектрометрические методики измерения изотопного состава железа, вольфрама, молибдена, ксенона, криптона в рабочих веществах (П.П. Вишняков, А.Д. Глухов, В.Н. Ерохин, В.М. Постников);
- разработаны методики определения микропримесей в товарном продукте и способы отделения от них (А.Н. Богданов, Ю.М. Кежутин, П.А. Чернов);
- решены вопросы перевода обогащенных изотопов в форму, удобную для их транспортировки и хранения без нарушения изотопной и химической чистоты (Л.А. Савельев);
- разработаны малогабаритные регуляторы давления и расхода, решившие задачу обеспечения статической и динамической устойчивости каскадной установки с корнем статики больше и меньше единицы в широком диапазоне расходов и давлений (А.П. Алексеев, С.Т. Костюченков, Г.А. Лапин, С.В. Петров, Ф.В. Петухов, В.А. Якубовский);
- разработана специальная аппаратура из материалов, стойких в агрессивных средах, для получения исходных рабочих веществ (синтез и восстановление пентакарбонила железа, гексафторида молибдена и т.д.).

Многие из перечисленных научно-технических разработок послужили основой для проектирования промышленных каскадных установок и нашли дальнейшее развитие в ЦКБМ, ИАЭ, ОКБ ГАЗ, на Электрохимическом заводе для промышленного получения стабильных изотопов.

Наряду с проведением исследовательских и опытно-конструкторских работ по промышленной технологии получения стабильных изотопов, на опытно-промышленных установках опытного цеха за период с 1968 по 1975 г.г. было проведено обогащение и получение высокообогащенных изотопов: криптона — 86, ксенона — 124, 129, 136, железа — 54, 57, молиб-

дена — 98, вольфрама — 180, 182, 183, 184, 186 (Ю.П. Антаков, Ф.В. Петухов, Б.Н. Серёгин, И.А. Шмаков, В.А. Якубовский). Все полученные стабильные изотопы были переданы в Государственный фонд изотопов, находившийся в то время в Институте атомной энергии.

Среди наиболее весомых достижений — получение в опытном цехе впервые в мировой практике сверхчистых изотопов урана 235 (99,999%), урана 236 (99,9%), урана 238 (99,99999%), на основе которых на комбинате были созданы стандартные образцы изотопного состава урана, внесенные в Государственный реестр стандартных образцов России (В.И. Казаков, Г.И. Казакова, В.И. Тихин). Созданные образцы превосходят аналогичные образцы из Национального бюро стандартов США. Самое активное участие в создании каскада и наработке изотопов урана приняли Ю.П. Антаков, В.В. Комаров, С.М. Левый, Ф.В. Петухов, Б.Н. Серёгин, И.А. Шмаков, В.А. Якубовский.

В настоящее время научные работники и конструкторы УЭХК продолжают расчётно-теоретические исследования и опытно — конструкторские работы по совершенствованию центрифуг и технологии разделения стабильных изотопов.

Рамки и направленность тематики этого сборника не позволяют с глубоким уважением и искренней признательностью хотя бы перечислить руководителей и специалистов смежных Минатому отраслей производств, которые вместе с упомянутыми преодолевали трудности и делили радость удач на тернистом пути научно-технического прогресса.



**МОРОХОВ
ИГОРЬ
ДМИТРИЕВИЧ**

Директор комбината, д.т.н., лауреат Ленинской премии, Государственной премии СССР.



**СЛАВЧУК
АНДРЕЙ
ИОСИФОВИЧ**

Директор комбината, д.т.н., Герой Соц. Труда, Лауреат Ленинской премии, Государственной премии СССР, Премии СМ СССР.



**КОРНИЛОВ
ВИТАЛИЙ
ФЕДОРОВИЧ**

Генеральный директор комбината, лауреат Государственной премии РФ.



**КНУТАРОВ
АНАТОЛИЙ
ПЕТРОВИЧ**

Генеральный директор комбината, лауреат Государственной премии СССР, Заслуженный технолог РФ.



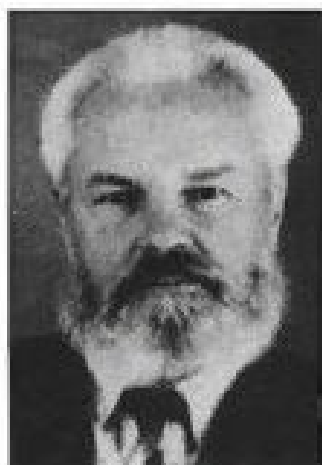
**ХАРИТОНОВ
ПЕТР
ПЕТРОВИЧ**

Главный инженер комбината, лауреат Ленинской премии, Государственной премии СССР.



**ОБЫДЕННОВ
АНАТОЛИЙ
ПАВЛОВИЧ**

Главный инженер комбината.



**ЯКУТОВИЧ
МИХАИЛ
ВАСИЛЬЕВИЧ**

Зам. директора комбината по научной работе, д.т.н., лауреат Ленинской премии, Государственной премии СССР.



**ЖИГАЛОВСКИЙ
БОРИС
ВСЕВОЛОДОВИЧ**

Зам. главного инженера по науке, д.т.н., профессор, лауреат Ленинской премии, Государственной премии СССР, заслуженный деятель науки и техники РСФСР.



**СОЛОВЬЕВ
ГЕННАДИЙ
СЕРГЕЕВИЧ**

Зам. генерального директора комбината по науке, к.ф.-м.н., лауреат Государственной премии РФ.



**ШУБИН
ЕВГЕНИЙ
ПЕТРОВИЧ**

Руководитель раздельного производства, зам. главного инженера комбината, лауреат Ленинской премии.



**РАЕВ
ВАДИМ
ВАСИЛЬЕВИЧ**

Руководитель раздельного производства.



**ВИСЯРИН
НИКОЛАЙ
ПАВЛОВИЧ**

Зам. начальника ПТО.



**БЕЗРУКОВ
ДМИТРИЙ
НИКОЛАЕВИЧ**
Зам. начальника ПТО.



**КАДЫРОВ
ВАЛЕРИЙ
ЕФИМОВИЧ**
Начальник эксперимен-
тально-наладочного бюро
ПТО, лауреат Государ-
ственной премии РФ,
Премии СМ СССР.



**ЖЕЛТКОВСКИЙ
НИКОЛАЙ
ЮЛЬЕВИЧ**
Директор ГТЗ, лауреат
Ленинской премии.



**МИХЕЕВ
СЕРГЕЙ
МИХАЙЛОВИЧ**
Директор ГТЗ-2, лауреат
Премии СМ СССР.



**ТИХАНОВ
СЕРГЕЙ
ГРИГОРЬЕВИЧ**
Директор ГТЗ-1, Заслу-
женный химик РСФСР.



**АРШИНОВ
АЛЬФРЕД
НИКОЛАЕВИЧ**
Директор ГТЗ-2, к.т.н.



**ПАНФИЛОВ
ВИКТОР
ВАСИЛЬЕВИЧ**
Главный инженер ГТЗ-2.



**МАСЛЕННИКОВ
БОРИС
ПОЛИКАРПОВИЧ**
Начальник цеха 45.



**ДМИТРИЕВ
ЮРИЙ
АЛЕКСАНДРОВИЧ**
Начальник цеха 24.



**ВОЙТЕХОВ
ВЛАДИМИР
СЕРГЕЕВИЧ**
Начальник цеха 45.



**УЛЬНЫРОВ
ЮРИЙ
НИКОЛАЕВИЧ**
Начальник цеха 54.



**ФАДЕЕВ
ГЕРМАН
АНДРЕЕВИЧ**
Аппаратчик ГТЗ, Герой
Соц. Труда.



**ШЕЕНКОВ
МИХАИЛ
ПЕТРОВИЧ**

*Аппаратчик ГТЗ-2, Герой
Соц. Труда.*



**БОЖЕНКО
СЕРГЕЙ
ДМИТРИЕВИЧ**

*Электромонтер цеха се-
тей и подстанций, Герой
Соц. Труда.*



**ЗИНЧЕНКО
ВЛАДИМИР
ДМИТРИЕВИЧ**

*Директор приборного за-
вода, лауреат Государст-
венной премии СССР, За-
служенный машиностро-
итель РСФСР.*



**ЛОВЫНЦЕВ
НИКОЛАЙ
ЯКОВЛЕВИЧ**

*Главный приборист ком-
бината, лауреат Госу-
дарственной премии
СССР, Заслуженный мет-
ролог РФ.*



**БАЖЕНОВ
ВСЕВОЛОД
АЛЕКСАНДРОВИЧ**

*Главный конструктор
ОКБ приборного завода,
к.т.н., лауреат Государ-
ственной премии СССР.*



**КУЛЕШОВ
АНАТОЛИЙ
ВЛАДИМИРОВИЧ**

*Директор приборного за-
вода.*



**ПРОСВИРНИКОВ
ЮРИЙ
СТЕПАНОВИЧ**

*Зам. главного энергетика
комбината, к.т.н., Заслу-
женный рационализатор
РСФСР, Заслуженный
энергетик РФ.*



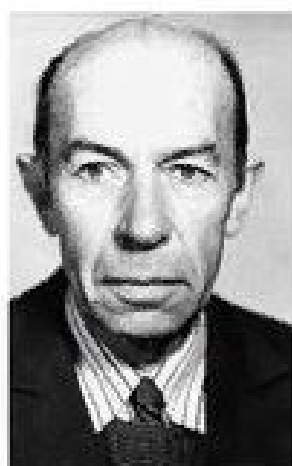
**ВАГАНОВ
РАТМИР
ГРИГОРЬЕВИЧ**

*Зам. главного инженера
по экономике, к.т.н., лау-
реат Ленинской премии.*



**ЛЕВЕДИНСКИЙ
ИВАН
ПЕТРОВИЧ**

*Начальник ИВЦ, к.т.н.,
лауреат Ленинской пре-
мии.*



**ХАЛИЛЕЕВ
ПАВЕЛ
АКИМОВИЧ**

*Начальник лаборатории,
д.т.н., лауреат Ленин-
ской премии.*



**ХАНИН
МИХАИЛ
АЛЕКСАНДРОВИЧ**

*Начальник лаборатории,
д.т.н., лауреат Ленин-
ской премии.*



**АКИНФИЕВ
ВИТАЛИЙ
АЛЕКСЕЕВИЧ**

*Начальник опытного
цеха.*



**РАЙХМАН
МАКС
ЛЕОНИДОВИЧ**

Начальник опытного цеха, к.т.н., лауреат Ленинской премии, Государственной премии СССР.



**ШМАКОВ
ИГОРЬ
АНАНЬЕВИЧ**

Начальник опытного цеха, к.т.н., лауреат Ленинской премии.



**БАЖЕНОВ
ВЛАДИМИР
АЛЕКСАНДРОВИЧ**

Начальник опытного цеха, главный конструктор, к.ф.-м.н., лауреат Государственной премии РФ, Премии СМ СССР.



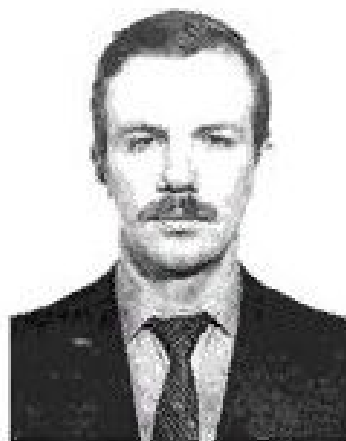
**ДЗЕРЖИНСКИЙ
ИГОРЬ
ВЛАДИМИРОВИЧ**

Зам. начальника опытного цеха, к.т.н.



**ЛЕВИН
ДАВИД
МОИСЕЕВИЧ**

Зам. начальника опытного цеха, д.т.н., лауреат Государственной премии СССР.



**КАРАЧЕВ
АНАТОЛИЙ
АНАТОЛЬЕВИЧ**

Зам. начальника опытного цеха, к.ф.-м.н.



**САПСАЙ
КОНСТАНТИН
ГРИГОРЬЕВИЧ**

Зам. начальника опытно-го цеха, главный технолог, лауреат Государственной премии РФ.



**ВАРЛАМОВ
СЕРГЕЙ
БОРИСОВИЧ**

Начальник расчетно-конструкторского сектора, к.ф.-м.н., лауреат Премии СМ СССР.



**БЕЗМАТЕРНЫХ
АЛЕКСЕЙ
СЕРГЕЕВИЧ**

Зам. главного конструктора, начальник КБ, к.т.н., Инженер года.



**ИВАКИН
ВАЛЕНТИН
АЛЕКСАНДРОВИЧ**

Начальник участка, д.т.н., лауреат Государственной премии РФ.



**ТОКАРЕВ
АНАТОЛИЙ
МИХАЙЛОВИЧ**

Начальник отделения, к.т.н.



**ЗАБЕЛИН
ЮРИЙ
ПАВЛОВИЧ**

Руководитель группы, д.т.н., профессор.



**МАРАНЦ
БОРИС
ДАВИДОВИЧ**
*Начальник лаборатории,
к.ф.м.н.*



**НИСНЕВИЧ
ЯКОВ
АРОНОВИЧ**
*Начальник лаборатории,
д.т.н., лауреат Государственной
премии СССР.*



**МИТЮХЛЯЕВ
БОРИС
ВИТАЛЬЕВИЧ** ^{ФДМ}
*Начальник лаборатории,
к.т.н.*



**ПЕТУХОВ
ФЕДОР
ВЕНЕДИКТОВИЧ**
*Начальник участка,
д.т.н.*



**КУХМАКОВ
ЮРИЙ
АЛЕКСАНДРОВИЧ**
Начальник КБ.



**БАЖЕНОВ
ПАВЕЛ
ВЛАДИМИРОВИЧ**
*Начальник участка,
к.т.н.*



**ЧАПЛИНСКИЙ
ИГОРЬ
СТЕПАНОВИЧ**

*Руководитель группы
КБ. Заслуженный конст-
руктор РФ.*



**РЫСКУНОВА
НИНА
НИКОЛАЕВНА**

*Руководитель группы,
к.т.н., Заслуженный изо-
бретатель РСФСР.*



**ЯКУБОВСКИЙ
ВИКТОР
АНДРЕЕВИЧ**

*Инженер-технолог,
к.т.н., Заслуженный изо-
бретатель РСФСР.*