

Уральский электрохимический комбинат (УЭХК)

Ю.Л. Голин, Ю.П. Забелин, И.С. Израилевич, В.Ф. Корнилов, А.М. Петросьянц, Р.В. Эйшицкий

ГАЗОДИФФУЗИОННОЕ ПРОИЗВОДСТВО В 1950—1987 гг.

1. Как уже указывалось, в том числе в книге «Создание первой советской ядерной бомбы»*, в 1949 г. на УЭХК (в то время Комбинате № 813) был введен в эксплуатацию завод Д-1 — первенец газодиффузионной технологии в СССР. Он был оснащен машинами ОК-6, ОК-7, ОК-8 и ОК-9 разработки ОКБ завода «Новое Сормово» (Нижний Новгород). Эти машины имели массовый расход 8, 30, 90 и 240 г/с соответственно и были оснащены фильтрами с проницаемостью $2,1 \cdot 10^{-3}$. Давление газа перед фильтрами составляло примерно 20 мм рт. ст.

Рост потребностей страны в высоко-обогащенном уране потребовал разработки более производительных и экономичных газодиффузионных машин, компрессоры которых прокачивали бы большие массовые расходы, а фильтры имели лучшие разделительные характеристики, что в значительной мере было связано со снижением их проницаемости.** Вместе с тем новые машины должны были быть более экономичными по металлоемкости, габаритам, стоимости, а для этого следовало поднять давление газа в машинах, что в свою очередь требовало более эффективных фильтров. Поэтому машины очередной промышленной серии Т-45, Т-46, Т-47 и Т-49 (разработки ОКБ Ленинградского Кировского завода) имели массовые расходы соответственно 350, 600, 1200 и 2200 г/с. При этом машины Т-45 и Т-46 были оснащены плоскими фильтрами с проницаемостью $1,7 \cdot 10^{-3}$ и работали при давлении 20—25 мм рт. ст., машины Т-47 и Т-49 имели трубчатые фильтры с проницаемостью $1 \cdot 10^{-3}$ — $1,15 \cdot 10^{-3}$, а давление газа до фильтров составляло уже 50—55 мм рт. ст. К тому же машины Т-46, Т-47 и Т-49 бы-

ли выполнены по более экономичной двухкомпрессорной схеме.

В 1950—1951 гг. на УЭХК был введен в действие завод Д-3, который был оснащен машинами Т-45, Т-46, Т-47 и Т-49. Этот завод на первом этапе был головной частью объединенного комплекса заводов Д-1 и Д-3, производительность которого в 6 раз превышала производительность завода Д-1.

Первыми руководителями завода Д-3 были М.Е. Ерошев, а затем В.Ф. Новокшенов и И.С. Парахнюк (впоследствии руководители АЭХК).

В 1952—1953 гг. был введен в эксплуатацию завод Д-4 с полным циклом производства 90%-го урана. В головной части завода Д-4 были установлены машины Т-49, Т-47 и Т-45. Для хвостовой части были разработаны новые машины малой производительности: ОК-19 (30 г/с, автор — ОКБ завода «Новое Сормово») и Т-44 (100 г/с, автор — ОКБ ЛКЗ). Оба эти типа машин были выполнены по однокомпрессорной схеме и оснащены плоскими фильтрами с проницаемостью $1,7 \cdot 10^{-3}$, давление газа до фильтров составляло около 20 мм рт. ст.

В 1954 г. был введен в эксплуатацию завод среднего обогащения СУ-3, на котором были установлены машины Т-47 и Т-49. Первыми руководителями объединенного завода Д-4 и СУ-3 были П.С. Микулович, А.И. Савчук.

В 1955—1957 гг. в работу был введен завод Д-5, на котором были установлены существенно более производительные машины ОК-26 разработки ОКБ завода «Новое Сормово» (массовой расход 8 кг/с) и Т-51 разработки ОКБ ЛКЗ (массовой расход 12 кг/с).

Фильтры машин ОК-26 и Т-51 имели проницаемость $0,75 \cdot 10^{-3}$ — $0,9 \cdot 10^{-3}$, давление газа до фильтров составляло 90—100 мм рт. ст. Удельная мощность машин ОК-26 и Т-51 была заметно снижена по сравнению с машинами Т-46, Т-47 и Т-49. Электродвигатель маши-

* «Создание первой советской ядерной бомбы». М.: «Энергоатомиздат», 1993 г.

** За счет уменьшения радиуса пор.

ны Т-51 был полностью вынесен из вакуумной полости, при этом были применены специальные уплотнения вращающегося вала.

При включении в работу Завод Д-5 возглавлял П.С.Микулович, очень инициативный и энергичный инженер, С.А.Калитин (впоследствии начальник отдела ГУХО МСМ).

Отметим, что головные машины Завода Д-5 (Т-51, 1955 г.) по сравнению с головными машинами завода Д-1 (ОК-9, 1949 г.) имели массовый расход в 50 раз больше, производительность в 75 раз больше, удельные энергозатраты снизились в 3,5 раза, а масса и объем машин, отнесенные к производительности, уменьшились на порядок.

Выпуск продукции газодиффузионными машинами в 1957 г., после включения Завода Д-5, по сравнению с выпуском в 1950 г. возрос в 100 раз, а удельные затраты труда снизились в 60 раз. Однако газодиффузионные машины, как известно, весьма энергоемки. Достаточно сказать, что для обеспечения работы Завода Д-5 была построена мощная тепловая электростанция в Верхнем Тагиле.

2. При включении в работу в 1950—1957 гг. заводов Д-3, Д-4, СУ-3 и Д-5, а также в ходе дальнейшей их эксплуатации и модернизации на УЭХК были решены многие сложные научно-технические и организационные проблемы:

устранены недостатки в конструкции газодиффузионных машин;

доработаны холодильники машин Т-51 и ОК-26 в целях избежания случаев попадания воды в вакуумную полость;

изучены и устранены причины выхода из строя рабочих колес машин Т-51 и ОК-26;

повышена надежность заднего подшипникового узла машины ОК-26 и оснащены системой оседания вала задние подшипники компрессоров машин Т-45, Т-47 и Т-49;

создана система эксплуатации и планово-предупредительного ремонта газодиффузионного оборудования, которое содержало не один десяток тысяч компрессоров с электродвигателями, обойм с фильтрами, холодильников, регуляторов, задвижек и т. д.;

создана консистентная смазка КС, а затем КС-Т, подобраны оптимальные режимы смазки подшипников компрессоров, и т. д.

Устранение дефектов машин, совершенствование методов обслуживания и ремонта, привело к значительному повышению надеж-

ности оборудования, к увеличению сроков службы компрессоров разных типов от исходных 1—3 лет до 5—6 лет; ресурс фильтров достиг 20 лет и более, при этом доля неработавшего по разным причинам основного оборудования («простой») снизилась примерно до 1%.

Были выполнены и организованы высокоэкономичные технологические схемы, включающие десятки тысяч ступеней и десятки технологических «полок». При этом соединительные трубопроводы проходили в специальных технологических галереях, которые были проложены между заводами Д-3, Д-4, СУ-3 и Д-5, находящимися друг от друга на расстоянии несколько километров. Были созданы централизованные щиты технологического контроля. Была обеспечена безаварийная эксплуатация общей технологической цепочки: переходы на новые технологические режимы, обнаружение и ликвидация вакуумных неплотностей и т. д. Достаточно сказать, что был достигнут такой уровень вакуумной плотности, что суммарная неплотность сотен тысяч соединений элементов десятков тысяч машин технологической цепочки была эквивалентна проколу стенки иглой диаметром в десятые доли миллиметра. Было уделено внимание изучению причин и ликвидации помпажных режимов работы компрессоров машин ОК-26, Т-51. Кроме того, осуществлены разработка и внедрение технологий и методик:

сборки в обоймы десятков миллионов фильтров;

пассивирующей обработки машин, в особенности фильтров;

жидкостной регенерации фильтров;

промывки демонтируемого оборудования, позволяющей дезактивировать его до уровня, допускающего использование черных и цветных металлов в народном хозяйстве.

Были созданы и усовершенствованы высокопроизводительные и экономичные конденсационно-испарительные установки (КИУ), предназначенные для подачи в каскады исходного сырья, снятия с каскадов потоков высокообогащенного отбора и обедненного отвала. По мере роста производительности УЭХК совершенствовались технологии испарения, конденсации и очистки гексафторида урана и укрупнялось оборудование, вместимость емкостей достигла 2,5 м³.

3. Единая технологическая цепочка, эксплу-

атация десятков тысяч единиц оборудования, разбросанных по нескольким промышленным площадкам, требовали общего технического и оперативного руководства. Основное производство, состоящее из нескольких технологических цехов, возглавлялось Управлением 27, в состав которого входили центральный диспетчерский пульт, производственно-технический отдел, наладочное бюро и другие подразделения. Руководителями Управления 27 в 1950—1980 гг. являлись И.Д. Морохов, Б.Ф. Алейников, Е.П. Шубин, их заместителями — Н. М. Сагалович, А. И. Савчук, В. И. Сергеев, Г. А. Иванов, Н.П. Бисярин.

Значительная часть вопросов эксплуатации газодиффузионных машин, их ремонта, устранения дефектов и т. д. решалась отделом главного механика, цехом ревизии и ремонтно-механическим цехом. Длительное время ими руководили: И.Н. Бортников, Н.Ю. Желтковский, В.Г. Кириллов, В.И. Бушенков, Д.А. Синякин, С.С. Самойленко, С.М. Бубнов, Д.И. Трахтенберг, Л.М. Опара, В.И. Долбилин, В.П. Шадыря и др.

4. В составе газодиффузионного производства на УЭХК важное место занимал химико-металлургический цех. Этот цех был основан на базе лаборатории и совместно с ЦЗЛ УЭХК и НИИ-10 разрабатывал и осваивал новое уникальное промышленное оборудование и технологии в следующих основных направлениях:

переработка высокообогащенного гексафторида (с 1950г.) в товарную окись-закись, а затем, начиная с 1958г., в металлический уран (Ленинская премия — П.П. Харитонов, Н.В. Ковалев, Г.С. Малинин);

регенерация урана из отходов производства, образующихся в процессе эксплуатации и ремонта (моющие растворы, осадители);

производство фтора для пассивирующей обработки и трифторида хлора для газовой регенерации фильтров.

Активную роль в обеспечении работы химико-металлургического цеха в первые десятилетия эксплуатации газодиффузионного производства на УЭХК сыграли Н.И. Романов, А.А. Привалов, Н.В. Ковалев, Ю.В. Карякин, В.Ф. Шумилов, В.Г. Аксютин, М.П. Нерушин, И.Ф. Максимкин, А.Т. Панкель и многие другие.

5. Эксплуатация газодиффузионного оборудо-

ования требовала разработки, серийного изготовления, установки и технического обслуживания большого количества специализированных приборов — датчиков давлений, расходов газа, приборов измерения вакуума, газоанализаторов, приборов централизованного дозконтроля и др. В этих целях на УЭХК были созданы специализированные приборные службы и лаборатория ОКЛ, а с 1961 г. — приборный завод с входящим в его состав ОКБ. Эти подразделения разрабатывали и изготавливали приборы не только для газодиффузионного производства отрасли, но также (впоследствии) для центробежного производства и, частично, для реакторов.

Активную роль при разработке, организации производства и эксплуатации приборов сыграли М.Л. Райхман, Б.В. Гуменюк, М.А. Маркман, В.Д. Зинченко, Г.И. Меньшенин, Н.Я. Лобынцев, В.А. Баженов, В.С. Косарев и многие другие.

6. Важное значение для безаварийной эксплуатации газодиффузионного оборудования имело правильное решение вопросов надежного электроснабжения, самозапуска газодиффузионных машин в случае перерывов в питании и т. д. В эти вопросы значительный вклад внесли руководители отдела главного энергетика и энергетического цеха Е.А. Унгвицкий, Ю. С. Просвириков, Н. С. Судницын, В.И. Камаганцев, Л. Л. Мойжес и др.

7. Были организованы специализированные службы радиационной безопасности (Г.В. Миролюбов) и ядерной безопасности (В.Е. Николаев). За десятки лет работы на УЭХК не было сколько-нибудь серьезных случаев нарушения ядерной и радиационной безопасности. Практически не было и случаев профзаболеваний, связанных с разделительным производством.

8. К 1957 г. на предприятии был завершен этап экстенсивного развития, т. е. роста производительности, снижения удельных капиталовложений, удельного расхода электроэнергии, стоимости эксплуатации вследствие установки все более мощных и эффективных газодиффузионных машин.

К этому времени были созданы все предпосылки для модернизации газодиффузионных машин, обеспечивающей рост их производительности без увеличения потребляемой мощности и производственных площадей при

сравнительно небольших дополнительных капложениях.

В ходе развития теории газодиффузионного производства было показано, что наиболее эффективный путь модернизации заключается в замене основного элемента машины — делителя на более производительный. При этом улучшение разделительных свойств фильтров можно достигнуть в значительной мере за счет снижения их проницаемости, но для сохранения пропускной способности всего делителя необходимо увеличить в нем число фильтров обратно пропорционально их проницаемости.

Были разработаны предложения по изменению конструкции делителя — увеличению его высоты в 1,5—2,5 раза (для разных машин) и более плотной установки фильтров вследствие доверловки трубных досок.

Главное, что позволяло эффективно осуществить модернизацию, это создание и развертывание массового производства высокоэффективных бескаркасных фильтров, обладавших гораздо более лучшими разделительными свойствами, существенно более высокой механической прочностью и многократно более низкой стоимостью по сравнению с ранее выпускавшимися каркасными и керамическими фильтрами. При модернизации вместо фильтров с проницаемостью $(1,15-0,75) \cdot 10^{-3}$ устанавливались фильтры с проницаемостью $(0,5-0,27) \cdot 10^{-3}$, а на втором и этапе даже с проницаемостью $0,225 \cdot 10^{-3}$.

Одновременно был увеличен массовой расход машины Т-51, и она небольшими доработками по сути дела была превращена в машину Т-52 (14 кг/с).

Первый этап модернизации был проведен в весьма сжатые сроки: со второго полугодия 1958 г. по начало 1962 г. При этом было подвергнуто модернизации около 5000 машин Т-47 и Т-49 и примерно 3500 машин ОК-26 и Т-51 заводов Д-3, Д-4, СУ-3 и Д-5. Все работы проводились без остановки заводов и без снижения выпуска продукции путем выключения машин для модернизации отдельными блоками.

На протяжении 1963—1970 гг. на машинах ОК-26 и Т-51 УЭХК проводился второй этап модернизации, связанный с установкой более производительных фильтров типа БКМ1 и БКМП при сохранении числа и начальной рабочей проницаемости их, а на машинах ОК-26 даже при некотором понижении начальной ра-

бочей проницаемости. Вторым этапом модернизации проводился по мере физического износа фильтров и при необходимости остановки блоков для ревизии компрессоров.

Выполнение первого и второго этапов модернизации, а также некоторых дополнительных мероприятий привело к повышению производительности газодиффузионного оборудования УЭХК примерно в 2 раза; при этом численность эксплуатационного персонала не изменилась, а потребление электроэнергии увеличилось незначительно, несколько возросла стоимость основных фондов. Отсюда производительность труда возросла почти в 2 раза, а удельные затраты электроэнергии и стоимость единицы работы разделения снизились почти на 40%.

При проведении модернизации были решены следующие серьезные научно-технические, производственные и организационные проблемы:

- разработан и организован массовый выпуск бескаркасных фильтров с высокими разделительными свойствами;

- осуществлены установка в делители и проверка качества установки десятков миллионов фильтров, доработка делителей, установка на компрессоры лабиринтных уплотнений, доработка холодильников и рабочих колес машин Т-51 и т. п.;

- разработана и внедрена технология проведения пассивирующей обработки модернизированных машин, укомплектованных фильтрами со сверхтонкой структурой.

Проницаемость фильтров, использованных при модернизации машин Т-51 и ОК-26, была снижена по сравнению с проницаемостью фильтров завода Д-1 почти в 10 раз, а размер пор — в 30 раз.

При этом были обеспечены требуемая величина начальной рабочей проницаемости и высокая коррозионная устойчивость фильтров в ходе многолетней эксплуатации. Эти задачи решались главным образом в процессе изготовления фильтров; однако в условиях промышленного блока, содержащего более полумиллиона фильтров, требовалось обеспечить близкие условия пассивирующей обработки всех фильтров (в первую очередь по температуре). С этой целью была подобрана достаточно равномерная циркуляция фторной смеси (с помощью 4, 8, 11 компрессоров), обеспечен конт-

роль температуры фторной смеси на каждой машине, введен контроль и управление проницаемостью фильтров в ходе обработки, выдан регламент обработки по концентрации, температуре фторной смеси, по скорости снижения парциального давления фтора в конце обработки и т. д.

В реализации модернизации газодиффузионных машин важную роль сыграли коллективы завода фильтров, цехов эксплуатации, Управления 27, цеха ревизии и отдела 9.

В разработку теоретических основ модернизации большой вклад внесли Ю.М. Каган, М.А. Ханин, Б.В. Жигаловский, В.С. Карякин и другие, предложения по увеличению высоты делителя были сделаны Р.Б. Голубевым и Б.Ф. Алейниковым. Испытания блоков с модернизированными газодиффузионными машинами, предложения и отработка схем циркуляции фторной смеси, способов контроля и управления проницаемостью при пассивирующей обработке были выполнены сотрудниками наладочного бюро Управления 27 и лаборатории пассивации ЦЗЛ: Б.Ф. Алейниковым, Е.С. Семеновой, Р.В. Эйшинским, А.К. Власовым, Е.Н. Вагановым, Е.П. Можаяевым, А.П. Кнутаревым и др.

9. Газодиффузионное оборудование на УЭХК, а также на родственных предприятиях в 60-е и 70-е годы не достигло лучших мировых показателей, которые появились во Франции и США в 90-е годы.

Действительно, отечественные газодиффузионные машины были оснащены центробежными компрессорами, а не осевыми с более высоким КПД, как на Западе, давление до фильтров, а также производительность единичных машин за рубежом также были выше. Такое «отставание» было связано с тем обстоятельством, что, начиная с 1961 г., отечественная промышленность по разделению изотопов урана стала переходить на новый более эффективный и, значительно менее энергоемкий центробежный метод разделения изотопов урана. Поэтому начавшиеся было в СССР работы по созданию осевых компрессоров и газодиффузионных машин на давление 400 мм рт.ст. не были завершены. На Западе переход на центрифуги начал проводиться через 20 лет после того как был разработан в нашей стране.

По мере старения первых газодиффузионных заводов и наращивания производительности

центрибежных заводов проводился вывод из работы газодиффузионных машин с использованием освободившихся площадей для установки центрифуг.

С декабря 1955 г. практически с началом пуска завода Д-5 был выведен из работы завод Д-1; в 1966-1967 гг. были выведены из работы заводы Д-3, Д-4 и СУ-3. В течение 1970—1987 гг. были постепенно выведены из работы самые мощные и совершенные газодиффузионные машины ОК-26 и Т-51 на заводе Д-5.

В небольшом количестве диффузионные машины используются в настоящее время в очистительных каскадах. Отдельные элементы газодиффузионного оборудования (компрессоры, задвижки, регуляторы, трубопроводы, а также КИУ, приборы, вспомогательное оборудование и ряд технологий, например поддержания вакуумной плотности) были перенесены на центробежные заводы и, конечно, перенесен опыт персонала по эксплуатации разделительного завода.

10. Газодиффузионное оборудование на УЭХК включалось в работу ранее, чем на родственных предприятиях, поэтому многие разработки вначале осуществлялись на УЭХК и затем переносились на родственные предприятия, хотя, конечно, каждое из них внесло свой вклад в развитие отрасли.

Бесспорно, что УЭХК явился кузницей первых кадров для родственных предприятий. Некоторые специалисты и рабочие уехали и на строительство, пуск и эксплуатацию этих предприятий.

В 1952—1953 гг. перевелись на Сибирский химкомбинат (Томск-7) С.К. Сидоров, Н.В. Алядин, М.Е. Ерошев, Ю.В. Роспусков, А.А. Колычев, А.Т. Кляшторный, Ю.А. Тараканов, З.А. Соколова и др.

В 1954—1956 гг. поехали на Ангарский электролизный химический комбинат В.Ф. Новокушенин, И.С. Парахнюк, Н.А. Штинов, Ю.В. Тихомолов, А.А. Пушкин, М.Ф. Карлушев, В.Г. Денисенко, А.И. Рыбинцев, Ю.Д. Гушин, Г.А. Гаврилов, Б.В. Мелихов, С.Ф. Ушаков, А.Ф. Савинов, В.В. Чернышев и др. В 1963 г. были переведены на АЭХК Б.Ф. Алейников, Б.С. Пужаев, А.М. Иванов, Р.В. Эйшинский, Ю.Ф. Кривоногов.

В 1957—1958 гг. на Электрохимический завод (г. Красноярск-45) уехали И.Н. Бортников, В.П. Сергеев, В.Г. Шаповалов, А.Ф. Михайлов,

Б.В. Роспусков, М.И. Бутылин, И.А. Банькин, Г.А. Емельянов, а позднее — Г.А. Гаврилов, Ю.Д. Гуцин и др. Многие из переехавших стали руководителями на родственных предприятиях.

С 1950 г. Уральским электрохимическим комбинатом руководили (поочередно) директора А.И. Чурин, А.М. Петросьянц, М.П. Родионов, И.Д. Морохов, А.И. Савчук, В.Ф. Корнилов; главные инженеры: М.П. Родионов, И.Д. Морохов, А.И. Савчук, П.П. Харитонов, В.Ф. Корнилов, А.П. Кнутарев; заместители директора (главного инженера) по научной работе: И.К. Кикоин, М.В. Якутович, Б.В. Жигаловский, Г.С. Соловьев.

СОЗДАНИЕ И РАЗВЕРТЫВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВА ОТЕЧЕСТВЕННЫХ ГАЗОДИФФУЗИОННЫХ ФИЛЬТРОВ

Введение в эксплуатацию на Уральском электрохимическом комбинате (УЭХК)* на стыке 40—60-х годов первых газодиффузионных заводов по разделению изотопов урана требовало своевременного проведения планово-предупредительных ремонтов и постоянного совершенствования диффузионных ступеней (машин). Однако развитие молодого газодиффузионного производства блокировалось несовершенством и низким качеством изготавливавшихся в то время (1950 г.) на Московском комбинате твердых сплавов и Электростальском Заводе № 12 металлокерамических и каркасных фильтров (пористых перегородок) — рабочих элементов диффузионных машин, на которых происходило разделение компонентов изотопной смеси. В техническом отношении это были весьма хрупкие (металлокерамика) или деформируемые (металлокаркас) изделия с невысокой разделительной способностью, сдерживавшие наращивание мощности и повышение экономичности диффузионных заводов. Поэтому в начале 1951 г. начальник тогдашнего 2-го Главного управления Министерства по атомной энергии (в то время Минсредмаша) А.Д. Зверев поставил перед учеными Центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) комбината весьма серьезную задачу: в кратчайшие календарные сроки создать отечественные фильтры с более высокими, чем у серийно вы-

пускавшихся под эгидой немецких специалистов, разделительными характеристиками.

Поставленная задача была невероятно сложна как в организационно-техническом отношении (из-за отсутствия каких-либо представлений о том, как это сделать), так и в плане кадрового обеспечения (вследствие отсутствия в стране соответствующим образом подготовленных специалистов). Тем не менее одновременно в нескольких лабораториях были развернуты исследования во всех мыслимых направлениях. Однако прошло немало времени, прежде чем группе сотрудников ЦЗЛ (Ю.Л. Голину, В.А. Каржавину и С.П. Чижик) удалось нащупать оригинальный способ электрохимического структурирования никелевых пористых сред (фильтров), открывший путь к улучшению их разделительных характеристик.

Срочно организованная по указанию А.Д. Зверева работа по опробованию и отработке найденного способа в производстве каркасных фильтров на Заводе № 12 привела в 1952 г. к созданию первых отечественных фильтров трубчатого типа с разделительными характеристиками, обеспечивавшими заметный прирост разделительной мощности диффузионных заводов (количества обогащенного урана) при замене старых фильтров на новые. Этому в известной мере способствовал и переход цеха каркасных фильтров на машинный способ нанесения порошковых суспензий на сетчатое полотно в так называемых лабиринтных устройствах. При этом пришлось пойти на отказ от бытовавших тогда несостоятельных представлений немецких специалистов о допустимых нормах (режимах) механического и термического воздействия на металл и пропрессовку пористой массы в ячейках сетки осуществлять за один «жесткий» прием вместо 700 «мягких» проходов-вальцеваний с промежуточными отжигами. Госкомиссионные испытания опытных партий фильтров, созданных руками российских специалистов, подтвердили их повышенную эффективность, и с 1953 г. начался их серийный выпуск. За эту работу ее авторы* были удостоены Государственной (тогда Сталинской) премии.

Вскоре вышел приказ А.П. Завенягина о

* Ранее Комбинат № 813.

* Включая работников цеха каркасных фильтров Завода № 12.

строительстве на Комбинате цеха по производству разработанных фильтров. Он был построен в рекордно короткие сроки. В конце 1954 г. им была выдана первая продукция.

Между тем развивавшаяся подотрасль требовала фильтров с все более и более высокими разделительными свойствами. Поэтому мысли ученых искали все новые и новые пути микроминимизации их пор и сужения распределения пор по радиусам, чтобы уменьшить долю проходящей через наиболее грубую их часть неразделенной изотопной смеси. В этом направлении было опробовано немало различных способов уменьшения размеров пор и упорядочения структуры пористой среды (забивка пор продуктами химических реакций*, использование для формирования пористых сред металлических порошков газофазной сырьевой природы**, смягчение режимов термической обработки металлических заготовок и др.). Однако никаких осязаемых результатов добиться долгое время не удавалось: либо эффект был мал, либо воспроизводимость результатов желала лучшего, либо коррозионная устойчивость оказывалась недостаточной.

Выход был найден лишь на путях реализации весьма плодотворной идеи об облагораживающем влиянии на характеристики пористых сред вводимых в базовый металл так называемых структурно-диспергирующих присадок (Ю.Л. Голин, Н.И. Большакова, В.А. Каржавин), которая привела к заметному уменьшению размеров пор и одновременной гомогенизации пористого тела фильтров (ликвидации «хвоста» крупных пор). В итоге стал возможным переход цеха каркасных фильтров на выпуск более высококачественной продукции для новых более мощных диффузионных ступеней. Этому в немалой степени способствовало и предложенное Ю.Л. Голиным решение о предварительном электротермохимическом пассивировании пористого тела фильтров кислородсодержащими соединениями объемнонаполненного типа.

Параллельно с этим решался вопрос о резком увеличении объема выпуска фильтров для комплектации строящихся газодиффузионных заводов в Сибири. С этой целью на правительственном уровне было принято решение

о строительстве на Комбинате крупного цеха по производству трубчатых керамических фильтров. В 1954 г. было начато его проектирование с размещением на площадке демонтируемого газодиффузионного Завода Д-1, а в 1955 г. — строительно-монтажные работы.

Вместе с тем в начале 1955 г. получила развитие идея о разделении функций механической прочности и разделительной способности, которые выполняла пористая среда фильтров, с возложением первой на грубопористый каркас (подложку фильтра) и второй — на специально формируемый мелкопористый (делящий) слой, т. е. речь шла о создании так называемых двухслойных фильтров, первые опыты получения которых были выполнены еще в 1952 г. (Ю.Л. Голиным, В.И. Канунниковым и С.П. Чижиком). Грубопористую подложку предполагалось формировать из крупнозернистого (примерно 3 мкм) никелевого порошка методом проката и спекания, а мелкопористый (делящий) слой — из возможно более тонкого порошка, получаемого методом термического разложения соответствующих солей.

При постановке исследований одновременно ставилась задача добиться отхода от использования в технологическом процессе ручных операций с переходом к глубоко механизированному и автоматизированному производству. Для оперативного решения такой глобальной задачи в конце 1955 г. приказом директора Комбината была образована так называемая комплексная бригада, в состав которой вошли Ю.Л. Голин, В.А. Каржавин, В.Н. Лаповок, В.Д. Лурье, И.Д. Морохов, С.П. Чижик и М.В. Якутович. Каждый член бригады отвечал за разработку конкретного технологического процесса, элемента фильтра или решение того или иного организационно-технического вопроса. В частности, Ю.Л. Голин нес ответственность за выбор технологического сырья, превращение его в целевые порошкообразные продукты, их легирование и формирование делящего слоя; С.П. Чижик отвечал за разработку технологических основ прокатки грубопористой ленты-подложки; В.Д. Лурье — за разработку конструкций лентопркатного, электролизного, термического, сварочного и прочего оборудования и т. д. В составе инженерного окружения бригады плодотворно трудилась группа молодых специалистов:

* Г. Я. Березин, В. А. Каржавин, Н. М. Макарова.

** Н. Г. Илюшенко, С. В. Карпачев и др.

Е.А. Шадрин (отработка режимов непрерывной прокатки и спекания пористой бескаркасной ленты), Ю.С. Шерстобитов (исследование закономерностей получения никелевого порошка на электродах биполярных электролизных ванн), Е.Т. Матвеева (получение грубопористого порошка термическим разложением солей никеля), О.В. Чумаковский (выбор режимов термохимического оксидирования фильтров) и другие, и конструкторов: И.Ф. Бекетов, А.С. Козлов (разработка конструкции прокатного стана), Е.А. Щербаков (разработка конструкции печи для непрерывного спекания прокатываемой ленты), Е.Ф. Горынин (разработка конструкции биполярной ванны с механизированной разгрузкой получаемого дисперсного материала), М.А. Маркман (разработка конструкции автоматов контроля гидравлических характеристик фильтров) и др. В работе бригады встретились немалые трудности («нежелание» порошков прокатываться в пористую ленту приемлемой механической прочности, позволявшей протаскивать ее через длинноразмерную печь спекания; заклинивание в печи транспортирующих траповых устройств, пусковые неувязки на участке первых опытных биполярных ванн и т. д.), на преодоление которых пришлось затратить немало усилий.

К концу 1956 г. принципиальные моменты создания новых (условно названных бескаркасными) фильтров были решены, испытания в модельных условиях подтвердили их высокие эксплуатационные свойства (несравненно более высокую механическую прочность и возросшую разделительную способность) и на очередь дня стал вопрос об организации серийного производства таких фильтров. Ввиду их явного преимущества перед керамическими фильтрами Министерством среднего машиностроения было принято решение о приостановке работ по пуску на Комбинате цеха керамических фильтров и переориентации его на выпуск созданных бескаркасных фильтров.

В конце 1957 г. на свободных площадях цеха керамических фильтров был произведен запуск в работу опытно-промышленного участка бескаркасных фильтров, а в 1958—1959 гг. — демонтаж оборудования керамического производства и поэтапный ввод в строй технологических ниток производства двухслойных бескаркасных фильтров. Этому событию предше-

ствовали гигантский объем строительно-монтажных работ и изготовление в ремонтных цехах Комбината большого количества разнообразного нестандартного технологического и контрольно-испытательного оборудования, в разработке которого приняли участие коллективы конструкторского отдела и приборного завода комбината.

Ввод в действие технологических ниток проходил с большими трудностями. Нестандартное оборудование давало поначалу многочисленные сбои, сварочные автоматы отказывали в работе, отдельные партии электролизных порошков не прокатывались в ленту, спеченная двухслойная лента не сваривалась в трубки или сваривалась с многочисленными прожогами, разброс гидравлических характеристик фильтров был непомерно велик, а выход годной продукции слишком низок и т. д. Потребовались многие недели и даже месяцы упорной наладочной работы и ряд экстраординарных организационных мер вплоть до того, что разработчики фильтров сами вставляли на рабочие места и учили рабочих выполнять «строптивные» операции, прежде чем производственному персоналу удалось овладеть необходимыми технологическими приемами и начать выдавать кондиционную продукцию. Важную роль в пуске и наладке бесперебойной работы технологического оборудования сыграли Е. А. Шадрин, А. М. Денисов, О. Н. Желтов, В. Н. Жиронкин, А. М. Огородников, Э. В. Венедиктов, В. Г. Кириллов, О. В. Лебединский, Н. М. Полетаев и многие другие.

Переход к «ленточному» варианту технологии позволил механизировать весь процесс изготовления фильтров. Тем самым был совершен технический прорыв как в практике изготовления фильтрующих элементов*, так и в качестве самих фильтров, открывших реальные, впоследствии реализованные, перспективы перехода газодиффузионных ступеней на более высокие давления рабочего газа и резкого наращивания разделительной мощности газодиффузионных заводов.

Успех разработки двухслойных бескаркасных фильтров (эта работа в 1956 г. была удостоена Ленинской премии) и ввод в действие

* Технология непрерывной прокатки и спекания пористых металлических лент до сих пор нигде в мире не освоена.

крупного завода по их производству (первым директором завода был назначен член комплексной бригады В.Н. Лаповок, предопределили наряду с успехами в разработке новых мощных газодиффузионных машин, одну за другой несколько крупномасштабных модернизаций газодиффузионных предприятий страны. В менее эффективных каркасных, а тем более крупных керамических фильтрах нужда отпала, и их производство на Заводе № 12 и Московском комбинате твердых сплавов было вскоре прекращено.

Созданием двухслойных бескаркасных фильтров дело не ограничилось. На протяжении последующих полутора десятков лет они постоянно совершенствовались, в технологию их изготовления вносились все новые и новые элементы новизны, которые в конце концов привели к появлению фильтров с разделительными характеристиками, близкими к теоретическому пределу (немалый вклад в эти достижения внесли молодые ученые и специалисты А.Н. Аршинов, Ю.М. Жуковский, С.Ю. Серых, Ю.С. Шерстобитов, Е.А. Шадрин, М.П. Климин, Н.Л. Гудимов, Ю.М. Котельников и др.). Завод бескаркасных фильтров непрерывно наращивал объем их выпуска, а газодиффузионные предприятия оснащали и переоснащали ими ступени своих разделительных заводов*. Несмотря на непрерывную минимизацию размеров пор делящего слоя, оптимизацией процесса его термической обработки и постоянным совершенствованием технологии предварительного пассивирования пористой среды, удалось обеспечить высокую надежность работы фильтров в чрезвычайно жестких (с точки зрения коррозионных воздействий) условиях эксплуатации с доведением их ресурса до 26 лет.

В течение этого периода некоторыми творческими группами и организациями предпринимались попытки изготовления двухслойных фильтров либо на грубопористой каркасной основе (Г.Я. Березин, В.А. Каржавин), либо с рабочим слоем из инертного по отношению к гексафториду урана материала методом механического его внедрения в поры бескаркасной основы (В.Х. Волков, М.П. Нерушин, В.Г. Николаев, К.С. Панюхина и др.), однако вследствие повышенной дороговизны (в первом слу-

чае) или быстрой забивки пор в рабочих условиях парами фторуглеродной смазки (во втором случае) они не получили промышленного применения (дело ограничилось лишь выпуском сравнительно небольшого количества фильтров с рабочим слоем из инертного материала для проверки их функционирования в реальных блоках газодиффузионных машин).

Со второй половины 60-х и до середины 80-х годов заводом фильтров руководили (последовательно) А.М. Денисов, А.Н. Аршинов и В.А. Раскатов.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИЗОТОПНОГО СОСТАВА УРАНА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ДИФФУЗИОННЫХ ФИЛЬТРОВ

Пуск первых каскадов диффузионных машин завода Д-1 в 1948 г. потребовал точного контроля обогащения урана ураном-235. Поэтому одной из главных задач Центральной заводской лаборатории, начиная с 1948 г., явилась разработка методов и аппаратуры для изотопного анализа урана. Один из первых методов для этого анализа был разработан в Лаборатории № 2 АН СССР Д.И. Воскобойником и В.Х. Волковым. Это так называемый электрометрический (а точнее, α -ионизационный) метод, основанный на измерении интенсивности α -излучения изотопов урана-234 и урана-238. Он был освоен вместе с переданной аппаратурой Комбинатом № 813. Впоследствии в ЦЗЛ комбината этот метод был значительно усовершенствован (Т.Г. Кандель, Н.И. Михайлов) и вплоть до начала 80-х годов использовался при определении разделительной способности ступеней диффузионных машин в блоках и отдельных центрифуг, не уступая по точности другим методам.

Вторым методом контроля в 1948 г. был так называемый осколочный (нейтронный) метод, использующий регистрацию продуктов деления урана-235 («осколков»), образующихся при воздействии на образец урана потока нейтронов радий-бериллиевого источника. Этот метод был разработан в Московском Физико-техническом институте (Л.И. Русинов, В.Б. Черняев). Специальная установка УИ-4 была изготовлена в Ленинграде и поставлена в ЦЗЛ комбината. На базе этих двух методов в ЦЗЛ была организована лаборатория радиоактивных методов анализа (первый начальник лаборатории Н.Н. Лушова, а с 1949 по 1963 г. — И.С. Израилевич).

* Соответствующие работы в 1983 г. были удостоены премии Совета Министров СССР.

Конструкция измерительной камеры и методика измерений на УИ-4, предложенные разработчиками, оказались неудачными и были существенным образом усовершенствованы в лаборатории (Х.М. Назюков, Б.Б. Лепорский). Однако этот метод, применявшийся для изотопного анализа твердых образцов с начала 60-х годов, был вытеснен более простым и производительным гамма-спектрометрическим методом (регистрация собственного γ -излучения урана-235), разработанным ИАЭ Ю.И. Щербиной. Изготовленные на основе разработок Ю.И. Щербины на «Приборном заводе комбината» гамма-сцинтилляционные спектрометры СС-4, СС-5, СС-7 использовались в лаборатории радиоактивных методов анализа, а автоматические сцинтилляционные спектрометры СС-6 и их модификации наряду с масс-спектрометрами применяются для контроля технологического процесса на разделительных заводах. Однако основным методом для контроля изотопного состава урана в газовой фазе стал масс-спектрометрический метод, основным разработчиком которого был Н.А.Шеховцов, начавший эти работы в Сухуми и продолживший их в ЦЗЛ комбината, где с 1950 по 1962 г. он являлся начальником масс-спектрометрической лаборатории.

Вскоре после того, как в 1951 г. на комбинате начались разработки диффузионных разделительных фильтров, возникла необходимость определения разделительных свойств отдельных фильтров, поскольку для испытаний на блоках диффузионных машин требовались десятки тысяч таких фильтров. Эффект разделения изотопов урана на отдельном фильтре очень мал и поэтому было предложено использовать модельные смеси. Одной из первых модельных смесей для контроля разделительной способности фильтров была предложена смесь SF_6 -воздух, где в качестве радиоактивного индикатора использовался β -радиоактивный изотоп серы-35. Параллельно в лаборатории радиоактивных методов анализа был предложен β -ионизационный метод анализа с внешним источником β -излучения, который помещался внутрь ионизационной камеры, для анализа модельных смесей фреон-350 — воздух, фреон-12 — воздух и других аналогичных смесей, компоненты которых сильно отличались по молекулярной массе. Этот метод оказался очень удобным для изучения тонких

различий взаимодействия разных молекул со стенками пор (Х.М. Назюков, С.Н. Новиков, И.П. Гусева).

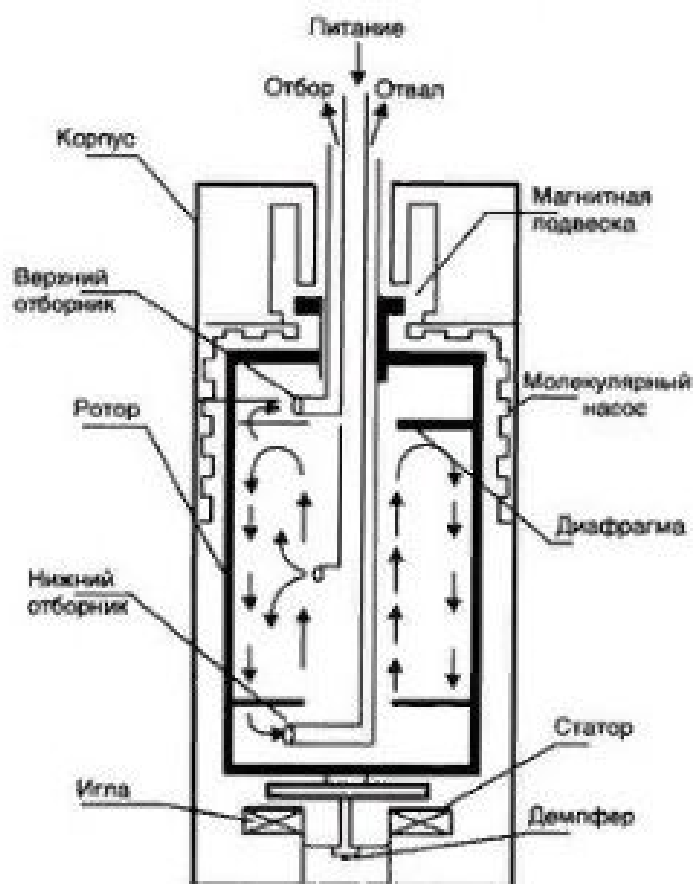
Однако оба этих метода сильно уступали по производительности и точности разработанному в масс-спектрометрической лаборатории ЦЗЛ методу, основанному на использовании естественной воздушной смеси (N_2 -Ar) в качестве модельной (Н.А. Шеховцов, Ю.М. Каган, Г.И. Казакова, В.Н. Ерохин). Метод оказался чрезвычайно продуктивным и в течение всего периода изготовления фильтров на комбинате использовался для паспортизации изготавливаемых фильтров и при их разработках.

Подключение лаборатории радиоактивных методов анализа к разработке методов контроля разделительной способности фильтров послужило началом ее вовлечения в более широкие исследования свойств фильтров: внутренней структуры, течения газов в пористых средах, извилистости пор, течения по поверхности и др.

По инициативе С.В. Карпачева в лаборатории были начаты разработки ртутного параметрического метода (метода «вдавливания» ртути) для исследования распределения размеров пор по радиуса и истинной поверхности пористого пространства. Было разработано несколько ртутных параметров среднего и высокого давления, позволяющих определять размер пор радиусом более 15 мкм. Ю. М. Каганом была разработана теория этого метода. Методом ртутной порометрии были исследованы все типы фильтров: как однородные, так и двухслойные, выпускаемые серийно и вновь разрабатываемые, и получены очень полезные для разработчиков фильтров результаты (И.С. Израилевич, Х.М. Назюков, Г.П. Писчасов).

Параллельно в лаборатории исследовались закономерности течения газов и газовых смесей в реальных пористых средах, диффузионный бароэффект и другие явления переноса в переходной области давления, а также эффекты диффузии по поверхности.

Показаны причины недоверности ранее широко использовавшихся «поточных» методов определения размера зерен порошков (так называемый μ -аппарат) и разработана аппаратура для точного определения размера порошков. Исследованы зависимости (проницаемости) от характера отражения молекул газовой смеси от поверхности. Эти исследования, в ча-



Газовая центрифуга

стности, позволили объяснить некоторые тонкие эффекты отличия поведения воздушной модельной смеси и рабочего газа (UF_6) на некоторых типах фильтров, особенно существенные для фильтров с рабочим слоем из тefлонового порошка. Для последних эти эффекты были столь значительны, что модельная смесь « N_2-Ag », дающая неправильные результаты, должна была быть заменена на «изотопную модельную смесь» $^{36}Ag-^{40}Ag$ (И.С. Израилевич, Б.Н. Гощицкий, С.Н. Новиков, И.П. Гусева, Р.И. Алешин, В.С. Карякин).

СОЗДАНИЕ И РАЗВИТИЕ ЦЕНТРИФУЖНОГО МЕТОДА РАЗДЕЛЕНИЯ ИЗОТОПОВ УРАНА

Приступая к освоению ядерной энергии в военных целях, ученые СССР хорошо понимали, какое значение имеют изотопы урана-235 для ядерных зарядов, ядерных бомб. К этому времени были известны многие методы разделения веществ, испытанные не только в лабораторных условиях, но и в промышленных масштабах. Это — экстракция, дистилляция,

хроматография, газовая диффузия, диффузия в потоке пара, центрифугирование, электроионный обмен, электромагнитное разделение и др. Наиболее привлекательными для получения высокообогащенного урана-235 были газовая диффузия и центрифугирование.

Центрифугирование как метод советскими учеными был тогда сразу отброшен, как способ, который в промышленных масштабах потребует исключительно сложного оборудования, многих видов новой и новейшей аппаратуры и полной автоматизации процесса. В тот период наша страна ничем этим не располагала, а в условиях окончания войны (1945 г.) и разрушений почти всех отраслей промышленности это тем более невозможно было выполнить.

Метод газовой диффузии с шестифтористым ураном, казалось, был попроще, и что особенно важно — первая ядерная бомба, сброшенная американцами на Японию, была начинена ураном-235, полученным методом газовой диффузии. Но как оказалось, и это подробно рассказано на предыдущих страницах, этот метод был также очень сложным и трудным в своем освоении.

Первая опытная газовая центрифуга в нашей стране появилась в виде конструкции, предложенной в 1946—1950 гг. в Сухуми группой немецких специалистов во главе с проф. М. Штеенбеком. За несколько лет до этого высокооборотная центрифуга горизонтального исполнения, предложенная проф. Ф. Ланге, проходила проверку и испытания в лаборатории проф. И.К. Кикоина на Урале, в Свердловске и затем в Москве. Однако все работы по этой центрифуге были полностью прекращены вследствие неперспективности.

В 1952 г. группа проф. М. Штеенбека (Г. Циппе, Р. Шеффель) с руководителем лаборатории инженером А.С. Вознюком и советскими специалистами была переведена из Сухуми в Ленинград на Кировский завод, в ЦКБМ. Опытная центрифуга проф. М. Штеенбека в Сухуми была вертикального исполнения длиной порядка 3 м с гибким многозвенным ротором.

В начале 1953 г. по схеме М. Штеенбека было изготовлено два агрегата, из которых каждый имел по шесть гибких, многозвенных роторов. Однако эти агрегаты даже не прошли

испытаний, ибо проф. М. Штеенбек убедился в ошибочности своих конструкций.

Постановлением Совета Министров СССР от 08.07.1952 г. на Ленинградский Кировский завод была возложена задача разработать газовую центрифугу для промышленного разделения изотопов урана. Критическое рассмотрение результатов испытаний в Сухуми центрифуг с длинным гибким ротором показало, что попытки доводки таких надкритических центрифуг могли бы полностью дискредитировать центрифужный метод. По результатам анализа в ИАЭ и в ОКБ Кировского завода (ныне ЦКБМ) была выдвинута идея центрифуги с коротким жестким ротором. Решающую роль сыграло предложение И.К. Кикоина о введении неподвижных отборных трубок по концам ротора в периферийный слой газа. На основе этих предложений ученые ИАЭ (И.К. Кикоин, Е.М. Каменев, М.Д. Миллионщиков и др.) и конструкторы ЦКБМ (Н.М. Синев, Х.А. Муринсон, В.И. Сергеев и др.) сформулировали оригинальную концепцию конструкции газовой центрифуги, проложив ей широкую дорогу в промышленность.

Основными разработчиками центрифужного метода в нашей стране были ЦКБМ, ИАЭ, ВНИПИЭТ, ВИАМ, ОКБ ГАЗ и УЭХК. Работы проводились под научным руководством академика И.К. Кикоина. Промышленность выполняла разнообразные заказы вновь создаваемой центрифужной технологии. При этом трудно переоценить в этой проблеме роль руководителей Минсредмаша — таких талантливых инженеров и организаторов производства как Е. П. Славский, А. И. Чурим и особенно А.Д. Зверев, которому принадлежит инициатива в вопросах перехода от газодиффузионной технологии обогащения урана к центрифужной.

Начало работ по центрифужному методу разделения изотопов урана на УЭХК относится к 1954 г., когда приказом Министра среднего машиностроения было рекомендовано создать в ЦЗЛ комбината специальную группу для проведения исследовательских и экспериментальных работ. Позднее по приказу директора комбината в ЦЗЛ была организована лаборатория газовых центрифуг во главе с П.А. Халилевым. На базе теоретических исследований сотрудников ЦКБМ Х.А. Муринсона, Д.А. Буртина и экспериментальных работ П.А. Халилсеева и Н.Н. Рыскуновой уда-

лось значительно повысить эффективность первых опытных центрифуг.

Приказом Министра среднего машиностроения от 21.10.1955 г. было принято решение построить на УЭХК разделительный каскад из 2000 газовых центрифуг. Первый в стране опытный завод центрифуг был пущен в эксплуатацию в ноябре 1957 г. Одной из главных задач, которые следовало решить на первом этапе промышленного освоения центрифужного метода, являлось исследование ресурсной надежности центрифуг, систем контроля и автоматизации. Успешная опытная эксплуатация центрифуг позволила в первые годы работы принять решение о расширении объема испытаний центрифуг уже в промышленных условиях. В процессе дальнейшей эксплуатации опытного завода были подготовлены рекомендации о широком развертывании центрифужного производства. Полученные результаты легли в основу проектирования промышленных заводов центрифуг, а опытный завод постепенно преобразовывался в экспериментальную базу.

В 1960 г. по постановлению ЦК КПСС и Совета Министров СССР началось серийное производство центрифуг на трех машиностроительных заводах — в Нижнем Новгороде, Владимире и Коврове. Была создана группа специалистов под руководством А.М. Петросьянца, которая проходила ежемесячные, а в последующем ежеквартальные проверки хода освоения и поставок центрифуг на УЭХК.

Первый промышленный участок был оснащен центрифугами первого поколения, в агрегатной компоновке, и установлен в отборной части технологической цепочки комбината взамен устаревших и малоэкономичных газодиффузионных машин и пущен в эксплуатацию в 1961 г.

Работа промышленного участка была первым опытом совместной эксплуатации газодиффузионных машин и центрифуг в единой технологической схеме. Успешная работа промышленного участка подтвердила заключение о возможности построения промышленного завода центрифуг, позволила разработать методы эксплуатации и ремонта оборудования, усовершенствовать схемы аварийной защиты и технологического контроля, подготовить эксплуатационный персонал.

Важнейшим этапом в развитии центрифуж-

ного метода явились строительство (с 1961 г.), пуск (тремя очередями в 1962—1964 г.) и дальнейшая десятилетняя эксплуатация первого в мире крупного промышленного завода центрифуг. Отличительной особенностью промышленного завода явилось применение центрифуг второго и третьего поколений крупносерийного производства. На промышленном заводе была впервые применена многоярусная компоновка агрегатов на специальных опорных конструкциях, позволившая осуществить более полное использование объема производственного помещения.

Однако при пуске промышленного завода не все проходило гладко, в частности, возникла ситуация, когда конструкция центрифуг оказалась недостаточно надежной при аварийных воздействиях. Значительный вклад в повышение надежности центрифуг и успешную эксплуатацию завода внесли В.Ф. Корнилов, Ф.В. Петухов и др. В результате ввода в эксплуатацию первого промышленного завода значительно увеличилась разделительная мощность комбината, а расход электроэнергии на единицу работы разделения снизился на 25%.

Одной из важнейших проблем, которую пришлось решать при эксплуатации промышленного завода, явилась разработка системы и правильной организации проведения ремонтных работ, а затем и их модернизации (А.И. Савчук, П.П. Харитонов, Б.В. Жигаловский, Г.С. Соловьев и др.)

Уже первые годы эксплуатации промышленного завода центрифуг полностью подтверждали технико-экономические преимущества центрифужного метода разделения изотопов, а также высокую надежность центрифуг, обеспечивающую при правильной организации эксплуатации не менее чем десятилетний ресурс их работы. Это позволило уже в 1966 г. приступить к осуществлению программы реконструкции комбината, рассчитанной примерно на 10 лет и более и основанной на последовательной замене газодиффузионных машин центрифугами. Эффективность программы была высока, так как в результате научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, выполненных в ЦКБМ, ИАЭ, ОКБ ГАЗ, а также на УЭХК, уже создавались и отработывались новые, более совершенные центрифуги четвертого поколения.

С пуском промышленного завода центрифуг

появилась необходимость систематического и всестороннего анализа состояния оборудования, находящегося в эксплуатации, в целях определения фактического ресурса оборудования и отыскания путей его увеличения.

В период 1966—1970 гг. на УЭХК решались следующие задачи:

разработка комплекса вопросов, связанных с промышленной эксплуатацией центрифуг второго, третьего и четвертого поколений, в том числе исследование и повышение надежности и ресурса центрифуг;

всесторонние стендовые испытания новых центрифуг — пятого поколения, проведение комплекса работ по их внедрению в промышленную эксплуатацию;

усовершенствование основных узлов и улучшение характеристик серийных и перспективных типов центрифуг, направленное на повышение их устойчивости, надежности и ресурса, улучшение технико-экономических показателей центрифуг и промышленных заводов.

1969 г. — начало серийного производства, а с 1970 г. — промышленной эксплуатации центрифуг пятого поколения. В 1971—1975 гг. происходило дальнейшее интенсивное техническое развитие и рост разделительной мощности комбината. Продолжалась реконструкция, связанная с заменой эксплуатировавшихся газодиффузионных машин на значительно более совершенные по своим технико-экономическим показателям газовые центрифуги пятого поколения. Была начата модернизация первого промышленного завода центрифуг: отработавшие десятилетний ресурс центрифуги второго и третьего поколений заменялись центрифугами пятого поколения.

В результате завершения второго этапа реконструкции и модернизации производства разделительная мощность комбината увеличилась более чем в 2 раза, а расход электроэнергии на единицу работы разделения снизился почти в 5 раз.

В 1972 г. после двух лет эксплуатации было зафиксировано нарастание выхода из строя центрифуг пятого поколения. Исследования, проведенные на ИЭХК, показали, что основной причиной выхода из строя явилось образование и развитие трещин в роторе центрифуги, приводящее со временем к разрушению ротора. Для снижения выхода из строя центрифуг по внутриотраслевой программе на

УЭХК было проведено комплексное исследование оборудования в целях изучения состояния центрифуг, прогнозирования выхода их из строя, уточнения методик планирования и проведения ремонтных работ, повышения надежности центрифуг (А.И. Савчук, Б.В. Жигаловский, Г.С. Соловьев, В.А. Баженов, С.Б. Варламов, А.М. Токарев, Б.Д. Маранц, В.В. Кандалов и др.).

Одновременно с этим были проведены физико-химические исследования, которые позволили принять меры по снижению коррозионных потерь в целях повышения надежности центрифуг (Б.В. Жигаловский, Г.С. Соловьев, Я.А. Нисневич, И.В. Ворох, Г.В. Захаров и др.).

Комплекс выполненных в 1973—1975 гг. работ позволил получить обоснованный прогноз ежегодного выхода из строя центрифуг вплоть до 1990 г. и наметить объемы ремонтных работ с выводом из эксплуатации «дефектных» партий оборудования, обеспечивающих поддержание высокого уровня производительности разделительных заводов, оснащенных центрифугами пятого поколения, в условиях их повышенного выхода из строя. Кардинальное увеличение надежности центрифуг пятого поколения было последовательно осуществлено ЦКБМ в 1974 и 1980 гг.

Кроме того, проведен комплекс исследований по повышению надежности нижнего опорного узла, в результате его ресурс был увеличен до 10 лет (Б.В. Жигаловский, Д.М. Левин, В.А. Ивакин и др.). В связи с нарастанием со временем числа центрифуг, не проходящих пусковые обороты после остановок секций на ремонт, были выполнены исследования по оптимизации параметров опорных узлов центрифуг для улучшения разгона роторов (Д.М. Левин, В.А. Ивакин и др.).

В этот период (1971—1975 гг.) на комбинате проводились исследования по использованию центрифужного метода разделения для получения стабильных и радиоактивных изотопов ряда элементов, необходимых для научно-технических целей (И.А. Шмаков, Ф.В. Петухов, В.А. Якубовский и др.).

После завершения работ по созданию центрифуг пятого поколения ЦКБМ при участии ИАЭ, ОКБ ГАЗ и УЭХК были начаты исследования в целях создания центрифуг шестого поколения, более совершенных по своим техническим характеристикам, и максимальным

использованием потенциальных возможностей конструкционных материалов. Исследования проводились в следующих направлениях:

применение новых прочнейших материалов (В.А. Баженов, С.Б. Варламов, К.Г. Сапсай и др.);

повышение устойчивости центрифуг и разработка противоаварийных устройств (Д.М. Левин, В.А. Ивакин, Ю.П. Забелин, А.С. Безматерных и др.);

оптимизация гидравлических и разделительных характеристик центрифуг (Н.Н. Рыскунова, П.В. Баженов, Г.А. Мамычев и др.);

разработка приборов для измерения параметров центрифуг (В.А. Баженов, А.М. Токарев, В.А. Баженов и др.).

В 1971 г. организацией «Техснабэкспорт» Министерства среднего машиностроения был заключен первый контракт на предоставление Комиссии по атомной энергии Франции услуг по обогащению урана из сырья заказчика. На комбинате было проведено переоснащение промышленного производства для осуществления экспортных поставок слабообогащенного урана, включающее научно-техническое обоснование и разработку технологических процессов с применением жидкого гексафторида урана, разработку контрольно-аналитических методик, изготовление и монтаж ранее нигде не применявшегося специального оборудования, строительство промышленного участка в одном из действующих корпусов комбината (А.И. Савчук, А.П. Кнутарев, И.С. Израилевич, Б.Б. Лепорский, П.А. Чернов, Е.П. Шубин, Н.П. Бисярин, А.А. Корнилицын и др.).

В течение 1974—1975 гг. были подписаны новые долгосрочные контракты и дополнительные соглашения на предоставление услуг по обогащению урана с энергетическими фирмами Франции, Италии, ФРГ, Финляндии, Швеции, Испании, Австрии, Великобритании и др.

В период 1976—1980 гг. продолжалась реконструкция, связанная с заменой газодиффузионных машин на газовые центрифуги пятого поколения. Закончилась модернизация первого промышленного завода центрифуг: устаревшие центрифуги второго и третьего поколений были заменены центрифугами пятого поколения.

Проведение ремонтных работ обеспечило поддержание высокого уровня производительности разделительных заводов, выполнение

производственной программы и существенное улучшение технико-экономических показателей работы комбината. В этот период в производство внедрялись принципиально новые системы контроля, управления и аварийной защиты, построенные на бесконтактной микроэлектронной базе (Н.Я. Лобынцев, А.В. Кулешов, В.А. Порошин, И.И. Липчак и др.). Продолжалось совершенствование серийной центрифуги пятого поколения в целях повышения ее надежности и велись исследовательские работы по созданию центрифуг шестого поколения. Был проведен комплекс расчетно-теоретических работ, позволивший существенно повысить надежность и устойчивость центрифуг (Б.В. Жигаловский, В.А. Баженов, Г.С. Соловьев, Д.М. Левин, С.Б. Варламов, А.М. Токарев, В.И. Жуковский, Ю.П. Забелин и др.). В этот период на УЗХК был усовершенствован технологический передел по переработке жидкого гексафторида урана, обеспечивший расширение услуг по обогащению урана.

В течение 1981—1985 гг. осуществлялись планомерная реконструкция, модернизация и ремонт центрифужного оборудования. Производилась замена центрифуг четвертого поколения (проработавших 20 лет) и пятого поколения на более совершенные центрифуги шестого поколения. Одновременно с этим проводилась доработка и совершенствование конструкции в целях повышения надежности центрифуг шестого поколения (А.И. Савчук, В.Ф. Корнилов, Б.В. Жигаловский, Г.С. Соловьев и др.).

С 1984 г. регламентные работы по ремонтной замене нижнего опорного узла центрифуг были прекращены в связи с его высокой надежностью и возможностью продления ресурса опорного узла до установленного срока эксплуатации центрифуг. Была разработана технология удаления и регенерации коррозионных отложений с центрифуг (Г.С. Соловьев, Я.А. Нисневич, Ю.М. Муромский, В.С. Индик и др.), которая использовалась при ремонтных операциях.

Совместно с ЦКБМ и ИАЭ были проведены исследовательские работы по созданию более производительных центрифуг седьмого поколения.

В результате всех перечисленных работ по модернизации и улучшению работ центрифуг пятого — седьмого поколений их производи-

тельность стала в 1—3 раза больше, чем центрифуг четвертого поколения. Это заметно увеличило производительность центрифуг и заметно снизило себестоимость получения обогащенного урана. В настоящее время установленный ресурс центрифуг составляет 15 лет, и при этом интенсивность отказов центрифуг шестого поколения составляет менее 0,1% в год.

В 1981—1985 гг. сократился объем экспортных заказов на оказание услуг по обогащению урана, что явилось следствием неблагоприятной конъюнктуры на международном рынке (значительное сокращение программ развития ядерной энергетики в Западной Европе и ввод мощностей по обогащению урана на заводах «Евродиф» и «Юренко»). В 1988 г. на Комбинате № 817 полностью прекратилась эксплуатация газодиффузионного оборудования.

В период 1986—1996 гг. продолжались планомерная реконструкция, модернизация и ремонт центрифужного оборудования. Производилась замена центрифуг пятого поколения на центрифуги шестого поколения. Закончилась разработка и с 1996 г. началось серийное производство центрифуг седьмого поколения (В.Ф. Корнилов, А.П. Кнутарев, Г.С. Соловьев, В.А. Баженов, К.С. Сапсай, В.А. Ивакин, А.С. Безматерных, А.А. Карачев и др.).

Накопленный опыт фторидной переработки урана позволил в 1993—1995 гг. впервые в мире разработать и внедрить на Комбинате № 817 технологию переработки высокообогащенного оружейного урана в энергетический уран (В.Ф. Корнилов, А.П. Кнутарев, Г.С. Соловьев, В.В. Раев, Р.М. Шейхалиев, С.Л. Тютрюмов, Д.Н. Безруков, В.В. Климовских, И.С. Израилевич, А.В. Сапрыгин и др.).

Был проведен комплекс работ по совершенствованию энергетического и приборного оборудования центрифужного производства. Продолжалось выполнение долгосрочных и краткосрочных контрактов на предоставление услуг по обогащению урана из сырья зарубежных заказчиков.

Центрифужная технология обогащения урана, разработанная в нашей стране, обеспечила высокое качество конечного продукта, удовлетворяющего требованиям международного рынка, большую гибкость в изменении сроков и обменов поставок, строгое выполнение обязательств по контрактам.

Талант и самоотверженный труд научных

работников, технологов, механиков, энергетиков, прибористов УЭК внесли существенный вклад в разработку центрифужного метода разделения изотопов в нашей стране.

ЦЕНТРАЛЬНАЯ ЗАВОДСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

На предприятии, где впервые в стране закладывались основы разделительной промышленности, совершенно естественно должна была развиваться, и достаточно интенсивно, многоплановая научно-техническая деятельность.

Проведение многочисленных разнообразных исследований было необходимо в связи с ежедневно появляющимися новыми, зачастую неожиданными, вопросами, возникающими на производстве как в период его создания, так и в последующий период.

Кроме того, необходимо было во все увеличивающихся масштабах вести разнообразную исследовательскую работу по совершенствованию только что возникшего нового технологического процесса: оптимизировать технологические схемы, исследовать причины коррозионных потерь и пути их уменьшения, совершенствовать способы подготовки диффузионных машин к работе, исследовать и улучшать свойства фильтров и др. Для совершенствования технологического процесса разделения требовалось развить системы контроля рабочей среды — изотопного и химического — и решать многие другие вопросы, часто весьма оперативно, и здесь близость исследовательской базы к производству играла большую роль.

Впервые вопрос о создании ЦЗЛ был поставлен в письме директора завода А.И. Чурина начальнику ПГУ Б.Л. Ванникову в октябре 1946 г. с ориентировочным перечислением задач, стоящих перед будущей лабораторией. В связи с отсутствием рабочих чертежей на строительство лаборатории директор просил разрешить переоборудование под лабораторию двух строящихся казарм для военизированной охраны (впоследствии ЦЗЛ была передана и третья казарма). После получения положительного ответа заместителя начальника ПГУ Е.П. Славского в ноябре 1946 г. на должность и.о. руководителя ЦЗЛ был назначен инженер-физик А.Д. Глухов, которого сменил в мае 1947 г. канд. физ.-мат. наук П.А. Халилеев.

ЦЗЛ комплектовалась в основном выпускниками разных вузов страны. Большинство из

них вначале направлялись на стажировку в Лабораторию № 2 АН СССР, в отдел, руководимый И.К. Киконым. Здесь они работали в лабораториях отдела, занимались освоением технологического оборудования на опытном каскаде, учились ведению процесса обогащения на нем. Для них сотрудниками отдела читались лекции по физическим основам процесса разделения, теории каскада, устройству диффузионных машин. В 1948 г. весь этот персонал возвратился на предприятие.

Много внимания организации и проведению научных исследований в ЦЗЛ уделял академик И. К. Кикоин, который с 1949 г. по 1953 г., будучи научным руководителем комбината, одновременно являлся руководителем ЦЗЛ (по совместительству).

Большую помощь в проведении совместных научных исследований оказывали также ведущие сотрудники Лаборатории № 2 М.Д. Миллионщиков, В.С. Обухов, Д.Л. Симоненко, Я.А. Смородинский, Е.А. Каменев, Д.И. Воскобойник, В.Х. Волков, К.В. Глинский, Н.М. Лысов.

В 1949 г. на предприятие были направлены многие известные ученые. Профессор М.В. Якутович был назначен заместителем научного руководителя, профессор С.В. Карпачев — заместителем начальника ЦЗЛ (с 1953 по 1956 г. он был ее начальником).

Из Свердловска прибыли кандидаты химических наук Ю.В. Карякин, Б.Н. Лундин, канд. физ.-мат. наук С.К. Сидоров, из Сухумского НИИ — физико-химик профессор В.А. Каржавин и физик-масс-спектрометрист Н.А. Шеховцов.

В ЦЗЛ были образованы четыре сектора: расчетно-теоретический (Н.А. Колокольников, Б.В. Жигаловский) — расчеты технологических схем, исследования по теории разделения изотопов урана;

химический (Ю.В. Карякин) — анализ качества продукции (содержания урана и примесей), исследования по антикоррозионной защите оборудования, разработка смазок, устойчивых в агрессивных средах, химико-технологические исследования;

физический (П.А. Халилеев) — измерение изотопного состава урана, исследования разделительной способности и структуры пористых сред;

технологический (С.К. Сидоров) — испыта-

ния основного оборудования, КИУ, диффузионных фильтров, подбор турбулизаторов для делителей диффузионных машин.

С 1950 по 1962 г. начальником расчетно-теоретического сектора являлся Б.В. Жигаловский (с 1962 по 1987 г. профессор Б.В. Жигаловский являлся заместителем главного инженера комбината по научной работе). Уже на ранних стадиях исследований Б.В. Жигаловским был предложен новый способ соединения ступеней каскадов, позволивший достигнуть очень высоких (96–98%) значений КПД технологических схем. В 1951 г. было издано «Руководство по расчету схем диффузионных заводов» (Б.В. Жигаловский, Н.А. Колокольцов, Я.А. Смородинский, М.А. Ханин, под редакцией И.К. Кикоина), и когда позднее в нашей стране появилась книга К. Козна «Теория разделения изотопов в приложении к промышленному разделению изотопов урана», а в последующие годы и книги других авторов, выяснилось, что ничего нового в них в вопросах проектирования схем разделительных заводов для нас не содержится.

Одновременно с теорией стационарных процессов обогащения были разработаны теория и методика расчетов нестационарных процессов (М.А. Ханин) и теория разделения на пористых средах (Ю.М. Каган, позднее академик РАН).

Теоретические исследования позволили Б.В. Жигаловскому и его сотрудникам сформулировать направление работ по модернизации диффузионных машин и их совершенствованию созданием фильтров с пониженной проницаемостью и повышенной разделительной способностью.

В дальнейшем при переходе на газоцентрифужную технологию в расчетно-теоретическом секторе было развито новое направление — статистические исследования надежности газовых центрифуг (Б.В. Жигаловский, Г.С. Соловьев), сыгравшее большую роль в обеспечении стабильности технологического процесса на предприятии и при планировании организации ремонтных работ и проведения модернизаций.

Позднее из остальных трех секторов выделялись отдельные лаборатории: химико-аналитическая, физико-химическая, фторорганической химии, масс-спектрометрическая, радиоактивных методов анализов, технологическая, химико-технологическая, а в связи с раз-

витием газоцентрифужной технологии были образованы новые лаборатории: перспективных газовых центрифуг, полимерных и композиционных материалов, порошковых сплавов, структурного анализа материалов. Центральная заводская лаборатория стала крупным исследовательским центром (в 1988 г. исследовательские лаборатории по новым конструкционным материалам и газовым центрифугам были переведены в состав опытного цеха газовых центрифуг).

Главной заслугой физико-химической лаборатории была разработка режимов антикоррозионной защиты (пассивации) оборудования (В.А. Каржавин), а позднее исследования физико-химических процессов в центрифугах с рекомендациями по уменьшению потерь рабочего газа и повышению надежности эксплуатации (Я.А. Нисневич). Несомненным успехом лаборатории фторорганической химии было создание консистентных фторуглеродных смазок на базе смазки УПИ (Б.Н. Лундин), а затем перфторированного полиэфирного масла, послужившего прототипом масла ПЭФ (В.Я. Казаков).

В масс-спектрометрической лаборатории под руководством Н.А. Шеховцова и Б.Б. Лепорского были созданы специализированные масс-спектрометры и усовершенствованные аналитические блоки, которые стали прототипом современных промышленных масс-спектрометров.

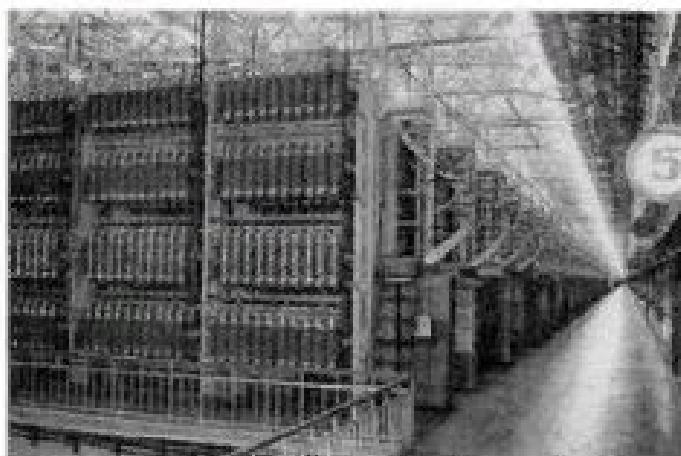
Среди наиболее важных достижений аналитических лабораторий ЦЗЛ следует отметить создание четкой и надежной системы контроля технологического процесса разделения изотопов урана и качества готовой продукции. В системе используются автоматизированные масс-спектрометры, установленные непосредственно в технологических цехах и проводящие измерения на «протоке» (т. е. без отбора проб), и сцинтилляционные гамма-спектрометры (СС-6, ИМД), работающие в автоматическом режиме с выводом информации на центральный пункт управления.

Для контроля качества готовой продукции, поставляемой на экспорт, в ЦЗЛ разработаны аналитические методики и соответствующая аппаратура для анализа проб, отобранных из расплавленного гексафторида урана. При этом используются современные инструментальные методы: высокоточные масс-спектрометры с

четырёхколлекторными приемниками ионов, масс-спектрометры с поверхностной ионизацией, спектральные эмиссионные приборы с индуктивно-связанной плазмой, атомно-абсорбционные спектрофотометры, прецизионные альфа- и гамма-спектрометры и др.

Исследования, выполненные в лабораториях новых материалов, в очень большой мере способствовали повышению надежности центрифуг пятого и шестого поколений и созданию центрифуги седьмого поколения.

Промышленное освоение центрифужного метода разделения изотопов урана, впервые в мировой практике осуществленное в Советском Союзе, является крупным научно-техническим достижением нашей страны. При разработке и освоении центрифужного метода было решено множество научных и технических проблем, которые являлись новыми не только для отечественной науки и техники, но и не имели прецедентов по их решению в мировой практике. Новизна решенных вопросов характеризуется несколькими сотнями изобретений, связанных с освоением центрифужного метода. Решение этой интереснейшей и сложной проблемы стало возможным благодаря творческому труду многих научных и производственных коллективов, входящих в Минатом, и многих коллективов других отраслей науки и промышленности нашей страны. Все сделано своими руками, своими силами, без всякой помощи извне. Только хорошо продуманная и четко скоординированная работа ученых, конструкторов, проектантов, специалистов заводов промышленности — изготовителей центрифуг, приборов и аппаратуры, а также энергетиков, строителей, монтажников и эксплуатационников Уральского электрохимического комбината в Верх-Нейвинске (ныне Новоуральск), позволила достойно и высококачественно решить эту огромную проблему. При этом нельзя не отметить, что первые про-



Машинный зал первого в мире центрифужного завода на Урале — УЭХК

мышленные заводы в Великобритании, Германии, Нидерландах, а в Японии появились значительно позднее, спустя 20 лет после их появления в России. Сотрудник М. Штеенбека механик Г. Циппе, работавший в группе немецких специалистов, увез с собой недоработанную до конца конструкцию советской центрифуги и попытался получить патент на свое имя, осуществить разделение изотопов урана методом, разработанным в СССР для советских центрифуг. Однако на доработку центрифуги Г. Циппе потребовалось несколько лет и она начала работать в Германии на 20 лет позднее, чем в России. Узнав об этом факте, советское руководство решило никак не реагировать на эту информацию, чтобы не привлекать внимания иностранных специалистов к тому, что в СССР проводятся работы по освоению прогрессивного центрифужного метода разделения изотопов урана. Такой ценой, действительно, удалось скрыть широкомасштабные работы советских инженеров и ученых по освоению центрифужного метода. Все это мы раскрыли значительно позднее, удивив тем самым промышленный мир Запада.

КРАТКАЯ ИНФОРМАЦИЯ О РУКОВОДИТЕЛЯХ И СПЕЦИАЛИСТАХ УЭХК

Начал работу на Комбинате в 1959 г. Прошел большой трудовой путь от рядового специалиста опытного цеха газовых турбин до генерального директора УЭХК. Внес



**Виталий Федорович
Корнилов**

большой творческий вклад в промышленное освоение (впервые в стране и впервые в мире) высокоэффективной центробежной технологии обогащения урана и в техническую реконструкцию разделительного производства, с окончанием которой УЭХК стал самым мощным в мире предприятием по обогащению урана. Под его руководством завершён переход с производства оружейного на производство энергетического урана для АЭС и в соответствии с правительственными соглашениями между Россией и США начата

переработка высокообогащенного урана в низкообогащенный. Имеет правительственные награды.

На Комбинате с 1962 г. Активный участник пусконаладочных работ на первых очередях первого в мире промышленного завода центробежного разделения изотопов урана. На протяжении 11 лет возглавлял расчетно-теоретическую лабораторию ИВЦ. Руководил работами в области исследований надежности газовых центрифуг и технико-экономического обоснования модернизации газодобывающих заводов на базе использования новых моделей центрифуг. С 1987 г. стал заместителем главного инженера Комбината по науке и ядерной безопасности, кандидат физико-математических наук, имеет правительственные награды.



**Геннадий Сергеевич
Соловьев**

Начал трудовую биографию на Комбинате в 1959 г.



**Анатолий Петрович
Клутарев**

рядовым инженером и, пройдя весь путь становления крупного технического руководителя, в 1987 г. был назначен на должность главного инженера — заместителя генерального директора УЭХК. Непосредственно руководил наладкой технологического оборудования во всех цехах первого в мире завода с центрифужной технологией обогащения урана. Активный участник разработки и промышленного внедрения первой в России технологии жидкофазной переработки гексафторида урана для поставки на экспорт. Заслуженный технолог Российской Федерации. Лауреат

Государственной премии СССР. Имеет правительственные награды.

На Комбинате с 1948 г. Один из основных создателей лаборатории физических методов исследования пористых сред и радиоактивных методов анализа, способствующих успешной разработке на Комбинате высокоэффективных газодиффузионных фильтров и становлению промышленного производства разделения изотопов урана. На протяжении 25 лет был заместителем начальника ЦЛ, а с 1988 по 1992 г. возглавлял ее. Он — доктор технических наук, Лауреат Ленинской премии СССР. Имеет правительственные награды.



**Носиф Семенович
Израилевич**

Уральский электрохимический комбинат (УЭХК)

На Комбинате с 1950 г. Создатель первых отечественных газодиффузионных фильтров повышенной эффективности. Один из инициаторов создания и активный участник разработки промышленной технологии производства высокоделющих двухслойных бескаркасных фильтров, открывших реально перспективному наращиванию разделительной мощности газодиффузионных заводов. Руководитель исследовательско-технологической лаборатории завода фильтров (с 1957 по 1971 г.) и главный конструктор-начальник СКБ преобразователей энергии (с 1971 г. по 1988 г.), доктор технических наук, профессор, «Заслуженный изобретатель России», лауреат Ленинской, Государственной премии и премии Совета Министров СССР. Имеет правительственные награды.



Юрий Леонидович
Голцин

«смм», лауреат Ленинской, Государственной премии и премии Совета Министров СССР. Имеет правительственные награды.

После окончания Уральского Политехнического института работал на Уралмашзаводе (г. Свердловск), где прошел путь от мастера до главного инженера УЭХК. С 1939 г. был заместителем наркома (министра) машиностроительных министерства. Во время войны был заместителем наркома танковой промышленности, а с 1946 г. — заместителем начальника ПТУ при СНК СССР и заместителем министра Среднего машиностроения. С 1962 по 1987 г. был председателем Государственного комитета по использованию атомной энергии.

Автор многих статей и книг, переизданных и за рубежом, действительный член, академик Академии наук Армении, академик Шведской королевской академии инженерных наук, почетный доктор наук французского Гренобльского Университета, лауреат Государственной премии, Герой Социалистического Труда, участник Великой Отечественной войны, генерал-майор.



Петросьянц Андраник
Мелконович