

К ИСТОРИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКООБОГАЩЕННОГО УРАНА НА КОМБИНАТЕ № 813

А. М. Петросьянц

После разгрома гитлеровской Германии и окончания войны с Японией, закончившейся уничтожением двух японских городов американскими ядерными бомбами, США вышли из войны могущественной военной и экономической державой с наименьшими людскими потерями.

После испытания первой в мире ядерной бомбы 16 июля 1945 г. в пустынной местности Аламогордо в шт. Нью-Мексико президент Трумэн заявил, что «русские скоро будут поставлены на место», а в конце 1945 г. он сказал, что «хотим мы этого или не хотим, мы обязаны признать, что одержанная нами победа возложила на американский народ бремя ответственности за дальнейшее руководство миром».

Вскоре, а точнее, буквально через несколько дней после сброса ядерных бомб США на японские города, в СССР решением Государственного комитета обороны СССР за подписью И. В. Сталина были созданы Специальный межведомственный комитет и Первое Главное управление (ПГУ) при СНК СССР для руководства всеми необходимыми работами по созданию советской ядерной бомбы. Уже в тот период советским ученым и специалистам было хорошо известно, что главным ядерным веществом, которым должна быть начинена

бомба, являются плутоний и высокообогащенный уран. Без наличия этих веществ никакой ядерной бомбы создать нельзя, они нужны в первую очередь.

В предыдущих главах этой книги мы уже рассказали о том, как сложно было получать плутоний в ядерном реакторе, о последующей радиохимической переработке и передаче плутониевых изделий конструкторам ядерной бомбы.

Не меньшие сложности ожидали создателей бомбы при получении высокообогащенного урана. Возникла необходимость организации ядерной индустрии, специальной отрасли новейшей промышленности с исключительно сложными приборами, изделиями и установками, никогда ранее не применявшимися и требовавшими больших умственных усилий, навыков и умения для овладения ими в короткие сроки.

Итак, в 1945 г. было решено приступить к строительству завода по получению высокообогащенного урана методом диффузии. Была выбрана площадка на Урале недалеко от г. Свердловска в небольшом поселке Верх-Нейвинске. В поселке была строительная площадка, где располагался небольшой цех завода № 261 Наркомата авиационной промышленности, который и был передан

ПГУ при Совнаркомом СССР 1 декабря 1945 г. На базе этого завода 21 декабря 1945 г. было образовано Управление строительством № 865 Народного комиссариата внутренних дел. Начальником его был назначен генерал-майор Н. П. Бойков.

Строительство завода начиналось фактически с пустого места. Нужно было строить завод и создавать инфраструктуру.

Ветераны строительства, работники Управления № 865 Ю. П. Анурьев и Ф. П. Кораблев, вспоминают первые тяжелые годы стройки, когда приходилось размещать строителей в бараках, сколоченных на скорую руку, и это в условиях холодной, суровой уральской зимы. Бараки представляли собой сооружения полужемляного типа размером 40х10 м, заглубленные в землю на метр с лишним, дощатые, редко-бревенчатые с толевой крышей. В таком бараке с нарами в два яруса размещалось около 150 человек.

На каждого строителя определялась норма выработки. За перевыполнение норм полагалось дополнительное поощрение. Так, заключенным, а их в 1947 г. на строительстве работало свыше 7000 человек, выработавшим норму на 151%, день пребывания в лагере засчитывался за три дня, т. е. сильно сокращался срок их заключения. Как рассказывают ветераны, это сильно убыстряло ход строительных работ.

Во время начала строительства завода № 813 почти полностью отсутствовали механизмы. Страна только вышла из войны, поэтому получение их было весьма проблематично, все делалось вручную. При разгрузке стальных балок и других тяжелых грузов из вагонов люди часто калечились. Но это было неизбежно, строительные механизмы стали пос-

тупать на строительство только с 1947 г., а в основном — в 1948 и 1949 гг.

Вот в таких тяжелых условиях начиналось создание одного из первенцев ядерной индустрии — завода № 813, на котором в кратчайшие сроки было освоено производство высокообогащенного урана.

Что нам дал официальный отчет США

Возможность изготовления ядерной бомбы из высокообогащенного урана была установлена американскими учеными еще до того, как ими в 1941 г. был открыт искусственный тяжелый элемент плутоний-239, который рождается из ядер урана-238. Форсированная разработка технологии и создание уникальной промышленности по получению высокообогащенного урана — одна из главных и первоочередных задач в программе США по созданию ядерного оружия (Манхэттенский проект). Начатые в 1940 г., а затем широко развернутые интенсивные научные исследования и разработки успешно завершились сооружением и вводом в эксплуатацию весной 1945 г. в Ок-Ридже (шт. Теннесси) первого в мире газодиффузионного завода. Из первых килограммов полученного на нем высокообогащенного урана в июле 1945 г. была изготовлена ядерная бомба, сброшенная на Хиросиму.

Это позволило нам, учитывая опыт США, начать широкие работы по созданию газодиффузионного завода, несмотря на то что не была еще разработана промышленная технология получения высокообогащенного урана, не было компрессоров, необходимых пористых перегородок, т. е. всего необходимого для осуществления газовой диффузии шести-

фтористого урана. Требовалось наладить промышленное производство урана, создать промышленность, ведь необходимы не миллиграммы, а килограммы продукции для ядерной бомбы.

Принципиальные возможности применения законов газовой диффузии физикам были известны давно. Еще в 1896 г. английский физик Дж. Рэлей показал, что смесь двух газов различных атомных весов может быть частично разделена, если заставить смесь продиффундировать через пористые перегородки. Также хорошо было известно, что немецкому физика Г. Герцу удалось в 1932 г., основываясь на законах газовой диффузии и молекулярного течения газов через пористые перегородки, в лабораторных условиях впервые в мире разделить смесь легких благородных газов, применив небольшой каскад из соединенных последовательно нескольких разделительных элементов, оборудованных применительными пористыми мембранами.

Изданная в 1945 г. в США книга Г. Д. Смита «Атомная энергия для военных целей» в качестве официального отчета о разработке ядерной бомбы под наблюдением Правительства США была переиздана в Москве в 1946 г.

Данные, опубликованные в книге, однозначно подтвердили, что из всех методов разделения изотопов урана, а именно электромагнитного, центрифугирования, термодиффузии, газовой диффузии через пористые перегородки и других, наибольшими преимуществами для промышленной реализации в США обладает газодиффузионный.

Г. Д. Смит отмечал в своей книге: «...серьезное изучение метода диффузии было начато в США с середины 1941 г., когда был заключен кон-

тракт с Колумбийским университетом. В конце 1941 г. была доказана в принципе возможность разделения шестифтористого урана посредством одноступенчатой диффузионной установки с пористыми перегородками». Большая работа была проведена американцами по поиску решений по перегородкам и компрессорам. К. Коэн, М. Бенедикт и другие ученые теоретически определили, сколько может потребоваться газодиффузионных машин-ступеней, какова необходимая площадь пористых перегородок, какой должна быть схема каскадирования машин и проч.

Решение о сооружении первого промышленного газодиффузионного завода, рассчитанного на получение нескольких граммов обогащенного урана в сутки, было принято в США зимой 1942–43 г. С января 1943 г. была разрешена постройка завода в долине р. Теннесси, в Клинтоне. Завод успешно заработал весной 1945 г. Как отмечает Г. Д. Смит, «для людей, работающих по газовой диффузии, период от 1940 до 1945 г. был наполнен упорным трудом... вероятно, больше, чем какая-либо другая группа в Манхэттенском проекте, группа, работавшая над газовой диффузией, заслуживает награды за храбрость и настойчивость, так же как и за научные и технические дарования».

Г. Д. Смит писал: «Из соображений секретности мы не можем рассказать, как они решали поставленные перед ними задачи, как во многих случаях они находили даже несколько решений в качестве гарантии против неудач в производстве. Это было замечательным достижением. В течение пяти лет были периоды малодушия и пессимизма. В настоящее время, когда завод не только работает, но работает бесперебойно,

надежно и с производительностью большей, чем ожидалось, они в значительной мере забыты».

Наряду с сообщением о выборе американцами газодиффузионного метода в книге содержалась краткая общая информация, особенно нужная нам в то время (1946 г.), когда мы только начинали штурм сложнейшей технической проблемы. Она не раскрыла, да и не смогла раскрыть из соображений безопасности всех трудностей, которые американские ученые преодолевали в ходе освоения этого метода, но она дала нам представление о том, что ожидало нас на этом пути.

Вот некоторые основные технические решения, принятые американцами при разработке газодиффузионного метода.

1. В качестве «рабочего газа» выбран шестифтористый уран, отсюда проблема — техника вакуума в ранее неслыханных масштабах.

2. Основной трудностью явилась разработка удовлетворительных пористых перегородок и насосов (компрессоров). Требовались акры перегородок и тысячи насосов.

3. Применена одноступенчатая разделительная установка (с одним компрессором).

4. Так как разделение в одной ступени слишком незначительно, то потребовалось несколько тысяч ступеней. Наилучший способ их соединения требует многократного повторения цикла, так как количество вещества, проходящего через перегородки нижних ступеней, во много тысяч раз превышает количество обогащенного продукта, извлекаемого из последней ступени. Ступени соединены в каскады по схеме, приближающейся к идеальным каскадам.

5. Схема разделительной установки такова, что в любой ступени при-

близительно половина поступающего вещества проходит через перегородку к следующей высшей ступени, в то время как другая половина возвращается обратно в предыдущую ступень. Циркулируя всего количества газа в ступени должна быть осуществлена с помощью компрессоров.

6. Так как поток газа через ступень значительно меняется с номером ступени в каскаде, количество и размеры насосов (компрессоров) также сильно изменяются от ступени к ступени. Тип и производительность компрессора, необходимого для данной ступени, зависят не только от массы подаваемого газа, но и от требуемого напора.

7. Система циркуляции в целом, заключающая в себе компрессоры, перегородки, трубопроводы и клапаны, должна быть уплотнена на вакуум. Смазочные вещества или уплотняющие среды не должны реагировать с рабочим газом, так же как и ни один из применяемых материалов.

На основе этих сведений вырисовывалась концепция разработанной и успешно осуществленной в США промышленной газодиффузионной технологии получения высокообогащенного урана для применения его в военных целях. Явно рассчитанные на промышленную недоступность для других стран или чрезмерную для них трудность решения в отчете Г. Д. Смита приводились почти фантастически звучащие технические требования на пористые перегородки для диффузионных машин: «...чтобы обеспечить истинный «диффузионный» поток газа, диаметр бесчисленного множества отверстий в перегородке должен быть меньше одной десятой среднего свободного (до столкновения с другими) пробега молекул, который имеет порядок де-

сягой доли микрометра. Следовательно, материал перегородки должен иметь миллионы отверстий диаметром, меньшим или равным 0,01 мкм, и почти не содержать отверстий с диаметром, превышающим это значение. Отверстия не должны увеличиваться или закупориваться в результате прямой коррозии или пыли, возникающей при коррозии, где-нибудь в системе. Перегородка должна быть способна противостоять «напору» газа в одну атмосферу, легко изготавливаться в больших количествах и быть однородной по качеству.

Однако и эта информация оказалась для нас полезной: ядерная бомба, сброшенная 6 августа 1945 г. на Хиросиму, была изготовлена из высокообогащенного урана, значит, необходимо форсировать работы по промышленному освоению газодиффузионной технологии у нас в стране.

Книга Г. Д. Смита «Атомная энергия для военных целей» стала для нас, советских специалистов, настольным пособием, которое помогало нам при разработке диффузионного метода. В моменты особых трудностей и сомнений, особенно в начале пути, она помогала нам не теряться и верить в успех нашего дела.

Газодиффузионная технология и ее трудности

С явлениями диффузии газов и их взаимопროниосновения мы встречаемся повседневно. Скорости теплового движения молекул газа зависят от температуры и обратно пропорциональны корню квадратному из массы молекулы: чем легче газ, тем выше скорость. Так, при температуре 20°C скорость теплового движения молекулы водорода составляет приблизительно 1800 м/с, а азота — 470 м/с.

Мы не ощущаем эти сверхуреганные скорости только потому, что в объеме 1 см³ содержатся (при атмосферном давлении) десятки миллиардов молекул (число Лошмидта $2,7 \cdot 10^{19}$ моль/см³). Находясь в непрерывном и беспорядочном движении, молекулы упруго сталкиваются между собой, проходя ничтожно малое расстояние (длину) свободного пробега, равное нескольким микрометрам и долям микрометра.

Для метода газодиффузионного разделения необходимо иметь тяжелый металл — уран — в газообразном состоянии. Наиболее подходящим химическим соединением урана для применения в газодиффузионной технологии оказался шестифтористый уран (UF₆), или гексафторид урана, имеющий очень важные для технологии разделения физические свойства: при низких температуре и давлении он может находиться в газообразном, жидком или твердом состоянии. Его тройная точка, где сходятся эти три фазы, находится при температуре 64°C и давлении около 1,5 атм (1138 мм рт. ст.). При давлении ниже 1 атм, т. е. в вакууме, и температуре ниже 56°C гексафторид урана — газ со свойствами, очень близкими к идеальным газам. При охлаждении до низкой температуры этот газ легко сконденсировать, получив твердые белые кристаллы плотностью около 5 г/см³. При нагревании баллона с такими кристаллами гексафторид урана переходит в газообразное состояние, минуя жидкую фазу, а если несколько повысить температуру (выше 65°C) и давление (более 1,5 атм), то можно перевести весь гексафторид урана в жидкую фазу. Для разделения изотопов урана очень важно, что природный фтор не имеет изотопов. Однако гексафторид урана — химически весьма агрессивный газ, кото-

рый реагирует практически со всеми химическими элементами. При этом, отдавая часть своего фтора (2 атома из 6), он немедленно превращается в устойчивое твердое соединение — тетрафторид урана UF_4 , который в виде мелкодисперсного зеленого порошка (пыли) выпадает на различные поверхности оборудования.

Гексафторид урана не терпит воды: в любом самом малом количестве ее он образует агрессивную плавиковую кислоту, не терпит никаких органических соединений, масел, которые обугливаются, образуя со фтором различные фтористые соединения. Такими фтор и его соединения с ураном. Недаром греки этому «злому» химическому элементу дали назывные фторус, т. е. гибель, разрушение.

Применение в производстве обогащенного урана гексафторида урана позволило создать простую, компактную и в общем безопасную технологию обращения с ним.

Метод газовой диффузии для разделения изотопов урана предполагает использование относительно небольшого различия в скорости движения тяжелых (с изотопом уран-238) и легких (с изотопом уран-235) молекул в газовой смеси гексафторида урана. Законы молекулярного течения молекул через тончайшие отверстия — поры — требуют, чтобы размеры пор или диаметр капиллярных каналов были меньше, чем средняя длина (расстояние) свободного пробега молекулы, которую она проходит, не сталкиваясь с какой-либо другой молекулой. Попадая в такие мельчайшие поры, легкие и тяжелые молекулы рабочего газа — гексафторида урана — между собой почти не сталкиваются, а взаимодействуют только со стенками пор. Так как молекулы гексафторида, содержащие уран-235, более проворны по сравне-

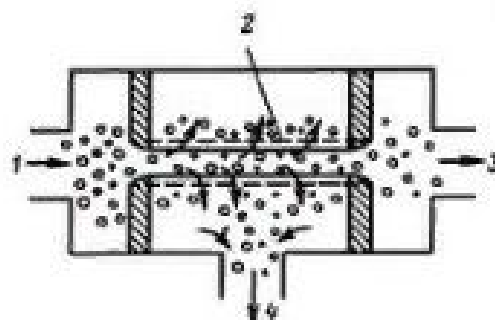


Рис. 1. Схема диффузионного процесса при обогащении урана изотопом уран-235:

● — изотоп уран-235; ○ — изотоп уран-238;

1 — газообразный гексафторид урана; 2 — пористая трубка (диффузионный фильтр); 3 — обедненный уран по изотопу уран-235 (отвал); 4 — обогащенный уран по изотопу уран-235 (отбор)

нию с молекулами гексафторида с ураном-238, то при одинаковой температуре через поры перегородки их перейдет несколько больше. В результате за перегородкой будет накапливаться все больше легких молекул и газовая смесь гексафторида урана там будет несколько обогащена ураном-235 по сравнению с газовой смесью на входе в перегородку (рис. 1).

Увеличение доли урана-235 после прохождения одной перегородки крайне мало, но когда каскад машин с пористыми перегородками вытягивается на километры, то на «выходе» содержание урана-235 достигает десятков процентов вместо первоначальных долей процента.

Различие масс урана-238 и урана-235 очень мало — всего три атомные единицы. Скорости теплового движения различаются также незначительно; они обратно пропорциональны массам легких (349) и тяжелых (352) молекул гексафторида урана. Это и определяет предельный поток степени разделения двух изотопов урана методом газовой диффузии через пористые перегородки.

Простейший расчет позволяет определить идеальный (теоретический) коэффициент разделения смеси двух изотопов урана, т. е. относительное увеличение концентрации урана-235 в газе, продиффундировавшем через поры перегородки, по сравнению с исходным значением. Этот коэффициент а чрезвычайно мал:

$$a = m_2/m_1 = 352/349 = 1,0043.$$

Фактически же, т. е. с учетом всех потерь, связанных с неидеальностью пористых отверстий, коэффициент разделения еще меньше и составляет не более 1,002, а коэффициент обогащения легким изотопом Σ — не более 0,002. Это означает, что, пропустив гексафторид урана однократно через пористую перегородку на одной диффузионной машине (на одной разделительной ступени), можно повысить относительную концентрацию изотопа уран-235 не более чем на 0,2%

Как известно, содержание изотопа уран-235 в природном уране всех месторождений мира стандартное и составляет только 0,711%. Остальные 99,238% — изотоп уран-238. Третий имеющийся в природном уране изотоп уран-234 присутствует в ничтожно малом количестве (примерно 0,0054%) и в балансовых расчетах при обогащении урана, как правило, не учитывается. После прохождения природного урана одной диффузионной ступени содержание урана-235 в нем повышается до 0,07124%, 14 ступеней — до 0,731% и т. п.

Сколько же раз надо прокачать гексафторид урана через пористые перегородки, чтобы получить высокообогащенный уран с содержанием урана-235 до 90%? Очевидно, несколько тысяч раз. Для этого потре-

буется несколько тысяч последовательно соединенных диффузионных машин. Для получения 1 кг урана 90%-ного обогащения ураном-235 нужно затратить около 600 000 кВт·ч электроэнергии, необходимой для питания электродвигателей компрессоров, прокачивающих газ через пористые перегородки с необходимым напором. При этом нужно израсходовать 175–220 кг природного урана (в зависимости от глубины извлечения из него урана-235), из которых 174–219 кг обедненного гексафторида урана, содержащего 0,2 или 0,3% урана-235, пойдет в отвалы. Отвалы обедненного урана конденсируются в твердую фазу и в стальных баллонах поступают на склады для длительного хранения и последующих переделов.

Как организовать непрерывное производство высокообогащенного урана? На каких машинах? Какими должны быть вакуумные сверхзвуковые компрессоры для прокачки газообразного гексафторида урана? Как изготовить многие сотни тысяч мелкопористых перегородок требуемого качества и гарантированного для многолетней эксплуатации ресурса? Как поддерживать стабильность вакуума в столь сложной и разветвленной системе, имеющей громадный объем? Как исключить попадание влажного воздуха или воды в газовые полости машин и соединяющих их коммуникаций? Как безопасно обращаться с агрессивным радиоактивным гексафторидом урана? Как обеспечить непрерывный контроль и управление технологическим процессом в огромной цепи, состоящей из тысяч последовательно соединенных машин? На эти и другие более конкретные вопросы в то время (1946–1947 гг.) у нас ответов еще не было. Это был поистине тревожный и на-

пряженный период поиска, проб и ошибок.

Разделение изотопов требовало огромных усилий и материальных средств для создания сложной техники. Были хорошо известны методы разделения веществ – центрифугирование, экстракция, дистилляция, хроматография, диффузия в потоке пара, термодиффузия, изотопный обмен, электролизный обмен, электромагнитное разделение, метод газовой диффузии через пористые перегородки, однако для разделения изотопов урана необходимо было выбрать один из них. После долгих обсуждений и многочисленных экспериментов было принято решение о промышленной реализации двух методов: газодиффузионного и электромагнитного. Одно направление – газодиффузионное – возглавил И. К. Кикоин, другое – электромагнитное – Л. А. Арцимович. Им в помощь был придан автор этих строк в качестве заместителя начальника ПГУ при СНК СССР и начальника Управления № 8, которому подчинялся завод № 813 и завод по электромагнитному разделению изотопов № 418, расположенный в Свердловской области.

В мою задачу входила организация работы будущего предприятия по диффузионному разделению изотопов урана и оказание всемерной научно-технической помощи научному руководителю объекта И. К. Кикоину и его ближайшим сотрудникам в Лаборатории № 2 в Москве.

Газодиффузионная технология могла стать промышленной, надежно обеспечивать получение необходимого количества высокообогащенного урана только при решении всех научных, технических и производственных задач. Требовалось правильно выбрать концепцию конструкции

диффузионной машины с обеспечением ее высокой надежности, технологичности при крупносерийном производстве, ремонтпригодности, взаимозаменяемости всех узлов и деталей, коррозионной стойкости в условиях непрерывной работы с радиоактивным газом, с хорошими КПД, с хорошей вакуумной плотностью, ресурсом безотказной работы без текущего ремонта не менее одного года.

Для этого предстояло решить многие технические и производственные проблемы:

создать пористые перегородки и тонкую технологию их производства. Перегородки должны иметь высокие разделительные свойства, отвечающие законам молекулярного течения газов, с коэффициентом изотопного обогащения не менее 35–40% теоретического значения, т. е. более 0,0015. В течение нескольких лет эксплуатации перегородки не должны терять своих разделительных свойств, их поры (а это десятые и сотые доли микрометра) не должны ни забиваться, ни раскрываться под воздействием агрессивного газа и продуктов его разложения, пыли и пр.;

разработать специальный электропривод, способный надежно работать в агрессивной фторной среде и в вакууме;

создать новый тип арматуры, вакуумно-плотные экономичные стойкие в гексафториде урана запорные клапаны с ручным и моторным приводами, позволяющие в любое время отключать от работающего каскада отдельные блоки машин и заменять их, обеспечивая при этом надежную вакуумную плотность;

разработать надежную конструкцию сверхзвукового компрессора для сжатия и непрерывной прокачки гексафторида урана;



И. К. Кинкин, научный руководитель газодиффузионного завода

создать автоматические регуляторы давления и расхода газа в очень большом диапазоне значений (различающихся на три порядка), обеспечивающие стабильность гидравлического режима во всей цепочке каскадов и в каждой отдельной ступени;

создать специальные водяные холодильники с развитыми поверхностями охлаждения для отвода тепла от нагретого газа при его прокачке компрессором;

обеспечить надежную вакуумную плотность и исключить попадание в вакуумные объем не только воды, но и небольшого количества влаги в течение всего периода эксплуатации;

создать специальную смазку для подшипников компрессоров, в которой водородные атомы заменены фтором;

разработать специальные подшипники, надежно работающие на



А. М. Петросьянц, заместитель начальника Первого главного управления при Совете Министров СССР (1946–1953 гг.)

фторидной смазке в условиях вакуума, в атмосфере гексафторида урана;

создать вакуумные насосы и гелиевые теченскатели, позволяющие обнаружить малейшие неплотности и газовые течи в сварных швах и разъемах разветвленной широкообъемной гидравлической системы диффузионного завода;

создать вакуумную резину, стойкую в гексафториде урана и обеспечивающую вакуумную плотность в уплотняемых стыках и разъемах машин в течение нескольких лет эксплуатации завода;

разработать специальные емкости для транспортирования и хранения гексафторида урана различной степени обогащения, испарительную и криогенную аппаратуру;

создать высокоточные автоматические регуляторы расхода газа для систем питания машин и их каскадов

и систем отборов обогащенного и обедненного урана;

разработать контрольно-измерительные вакуумные приборы для ступеней и каскадов, методики и приборы для тонкого изотопного анализа обогащенного и обедненного урана;

создать аппаратуру для отбора проб гексафторида урана для анализа.

Особые требования предъявлялись к сварке, обеспечивающей надежную вакуумную плотность всех элементов и узлов в атмосфере гексафторида урана, а также гидравлическую плотность многочисленных сварных водяных полостей и поверхностей охлаждения.

Огромное внимание уделялось разработке и освоению технологии антикоррозионной защиты всех внутренних поверхностей машин, арматуры, трубопроводов от агрессивного воздействия фтора, выделяющегося при разложении (диссоциации) гексафторида урана, а также антикоррозионной защите обширных водяных полостей охлаждения.

Ни одна из перечисленных нами выше задач к началу 1946 г. еще не была решена.

Об огромном значении решения этих проблем свидетельствует директива правительства, согласно которой все, к кому обращалось ПГУ, обязаны были безотлагательно включаться и помогать организациям ПГУ как в годы войны: «Все для победы».

Первые крупные неудачи и огорчения (1946 г.)

Научный руководитель инженерных разработок диффузионной проблемы, заведующий кафедрой гидромашин Ленинградского политехнического института профессор И. Н. Вознесенский считал, что в отличие от американцев нам следует

разрабатывать не одноступенчатую, а многоступенчатую диффузионную машину, представляющую собой агрегат с десятком или более компрессоров центробежного типа, рабочие колеса (крыльчатки) которых установлены и вращаются на одном валу. Каждое рабочее колесо с установленным за ним пакетом плоских пористых перегородок образует самостоятельную разделительную ступень газодиффузионного процесса, а все вместе — блок одинаковых ступеней, объединенных газовыми коммуникациями и общим электродвигателем. Такие многоступенчатые агрегаты-блоки образуют разделительный каскад, а несколько каскадов — диффузионный завод. При малых расходах прокачиваемого газа, т. е. для машин малой производительности, такая концепция казалась осуществимой. Для многоступенчатого компрессора требуется один электродвигатель. Для отключения агрегата нужны только три запорных клапана: на трубе ввода питания, на отборе обогащенного и отвале обедненного продукта. При монтаже каскада в 20–30 раз сокращается число агрегатов по сравнению с одноступенчатыми машинами. Во всем этом виделось большое преимущество предложенных И. Н. Вознесенским конструкций диффузионных машин.

Для интенсивно разрабатываемого многоступенчатого агрегата лаборатория И. Н. Вознесенского (превращенная в филиал Лаборатории № 2) в начале 1946 г. выдала Горьковскому машиностроительному заводу (ГМЗ) техническое задание на разработку и изготовление стенда для отработки конструкции гидравлического уплотнения вращающегося вала. Предполагалось, что это уплотнение, установленное на валу компрессорного агрегата, будет надежно защи-

щать его вакуумную полость от на-течки атмосферного воздуха. Таких вакуумных уплотнений, особенно для толстых (диаметром 200 мм) валов, никто еще не создавал. Все это было впервые.

Одновременно созданному в январе 1946 г. конструкторскому коллективу ОКБ Кировского завода И. Н. Вознесенским и И. К. Кыконым было выдано задание на разработку 24-ступенчатой диффузионной машины. Необходимость размещения на одном валу 24 центробежных рабочих колес, наличие в корпусе агрегата многих каналов для подвода и отвода газа, компоновка за каждым компрессором холодильников и пакетов из плоских пористых перегородок обуславливали создание в целом громоздкой и сложной нетехнологичной конструкции. Сильно усложнялась проблема обеспечения вакуума.

Параллельно был подготовлен технический проект 30-ступенчатого агрегата, переданный для рабочего проектирования ГМЗ. Полученный проект горьковчане забраковали как нетехнологичный, непригодный к серийному производству. Тогда ГМЗ получил задание совместно с конструкторами профессора И. Н. Вознесенского и под его руководством разработать новый проект и в процессе разработки, не теряя ни одного дня, превращать чертежи в металл, не боясь неизбежных переделок. Главное — выиграть время.

Была поставлена задача уже в 1946 г. изготовить два агрегата с индексом НК-ЗИС-30 и одновременно готовить на заводе их серийное производство. Заказу на заводе была дана «зеленая улица». Главным конструктором НК-ЗИС-30 правительство назначило профессора И. Н. Вознесенского, а его замести-

телем — А. И. Савина, который в то время был главным конструктором артиллерийского производства на ГМЗ.

В это же время (к концу 1946 г.) на Кировском заводе при параллельной работе конструкторов и технологов были разработаны и изготовлены два образца 24-ступенчатой машины (главный конструктор Э.-С. А. Аркин). В результате испытаний на обоих заводах вскоре был сделан вывод, что принятая концепция диффузионной многоступенчатой машины ошибочна: она заводит в тупик.

Как уже отмечалось, появление в это время книги Г. Д. Смыта было очень своевременным и полезным.

В Ленинграде и Горьком уже выполнялись по примеру американцев конструктивные проработки одноступенчатой диффузионной машины с вертикальной компоновкой бака-делителя, где размещались пакеты пористых перегородок. На корпус делителя насаждался высокооборотный центробежный компрессор, приводимый во вращение специальным асинхронным двигателем, работающим в вакуумной среде рабочего газа.

Работы по многоступенчатой конструкции диффузионной машины были свернуты и к концу 1946 г. и в Горьком, и в Ленинграде разработаны и изготовлены в металле «головные» партии из 20 одноступенчатых машин малой производительности. Два прославленных машиностроительных гиганта как бы вступили в производственное соревнование. И хотя оба завода были на правильном направлении, беды и неудачи в 1946 г. еще не окончились.

Ошибки и задержки в разработке основного технологического оборудования для первого диффузионного завода остро переживали и исполнители, и руководители. Ведь срыва-

лись намеченные правительством сроки сооружения и ввода важнейшего для страны оборонного объекта. После горячих обсуждений сложившейся обстановки в Специальном комитете под руководством Л. П. Берия большое сердце заместителя научного руководителя, ответственного за решение инженерных вопросов, И. Н. Вознесенского не выдержало, и в июне 1947 г. он скоропостижно скончался в возрасте 59 лет.

Трудности решения проблемы пористых перегородок

С первых дней разработки диффузионных машин мы были твердо уверены, что с их механикой удастся справиться. В Советском Союзе был накоплен большой конструкторский и технологический опыт создания сложных и надежных механизмов, требовавших точного изготовления при крупносерийном производстве, что было подтверждено в трудные годы войны. Однако ясно было и то, что сердцевиной диффузионной технологии являются при всей их сложности не компрессорные агрегаты, а пористые перегородки — сепараторы изотопов. Разделительная производительность диффузионных машин, их длительная эксплуатационная надежность и в целом экономичность метода в конечном счете определяются качеством пористых перегородок, смонтированных на напорной трассе газового центробежного компрессора.

Отдельная пористая перегородка может быть выполнена или в виде тонкой (около 0,8 мм) плоской пластины, или в виде короткой (около 500 мм) тонкостенной (менее 0,5 мм) трубки оптимальным диаметром 15 мм. Как плоские, так и трубчатые

фильтры должны выдержать перепад газового давления до 1 атм.

Чтобы иметь достаточно большое суммарное сечение пористых каналов в перегородках (его принято обозначать термином «проницаемость»), геометрическая поверхность их должна содержать огромное количество мельчайших пор — примерно несколько миллионов на одном квадратном метре поверхности диффузионного фильтра. Предельный размер пор, т. е. их средней приведенный диаметр, измеряется долями микрометра и зависит от плотности диффундирующего газа. Расчеты показывают, что при атмосферном давлении средний размер пор должен составлять тысячные доли микрометра, а при давлении 160–200 мм рт. ст. — около 0,01 мкм, при 10 мм рт. ст. допустимо иметь 1 мкм.

Не располагая никаким опытом, надо было начать с практически доступных требований, т. е. снизить рабочее давление газа, получить более глубокий вакуум. С этого и начали в 1946–1947 гг., приняв за исходное проектное значение давление газа перед пакетом фильтров, равное 10–20 мм рт. ст. Столь малая плотность газа означает его малый массовый расход (кг/ч) при больших перекачиваемых объемах ($\text{м}^3/\text{ч}$).

При дальнейшем развитии диффузионного метода через несколько лет удалось создать высокоэкономичные мелкопористые трубчатые фильтры, эффективно работающие при давлении газа до 200 мм рт. ст. и более.

Но изготовить сотни и тысячи квадратных метров пористых перегородок, содержащих миллионы мельчайших пор, размеры которых не превышают десятые и сотые доли микрометра, практически невозможно. Приходится допустить и какое-то

число пористых каналов, по своему сечению выходящих за пределы требуемого. Через эти некондиционные расширенные поры будут с одинаковым успехом проскакивать через перегородку молекулы гексафторида как с легкими (уран-235), так и с тяжелыми (уран-238) изотопами урана. Этот проскок будет снижать эффективность разделения изотопов во всей ступени.

Однако мало изготовить пористые перегородки требуемого качества. Задача состоит в том, чтобы в условиях длительной эксплуатации в среде агрессивного газа их поры не увеличивались, не уменьшались и не забивались. Они должны отличаться стабильной характеристикой и быть устойчивы к воздействию фтористой среды. Увеличение пор приводит к снижению разделительных свойств, а уменьшение и забивание отверстий снижает расход газа и общую разделительную мощность ступени. Для химической стабилизации пористых перегородок был найден эффективный способ газовой пассивации их во фторной среде при повышенной температуре.

Весьма трудной, а порой практически невыполнимой казалась техническая и производственная проблема промышленной технологии изготовления пористых перегородок. Для ее решения ПГУ были привлечены известные в стране ученые, инженеры и специалисты различных ведомств, одновременно подключались производственные базы некоторых заводов.

В начале 1946 г. был объявлен закрытый конкурс на создание фильтров по техническим условиям, разработанным Лабораторией № 2 АН СССР. Было отобрано и параллельно опробовано несколько направлений разработок:

1) получение красномедных плоских фильтров травлением цинка в тонкой латунной пластине (следует отметить, что аналогичную задачу американцы пытались решить на цинкосеребряных пластинках);

2) получение никелевых пористых пластин методом пробивки в них мелких игольчатых отверстий на специально построенном механическом приспособлении;

3) изготовление фильтров с помощью нанесения мелкой сетки на металлическую пластину с последующим точечным травлением;

4) изготовление пористой ткани путем особой кладки и склейки специальных волокон;

5) получение плоских фильтров методом выдавливания из тестообразной массы, приготовленной из мелкодисперсного никелевого порошка, с последующим спеканием полученной ленты;

6) изготовление пористой пластины из мелкодисперсного никелевого порошка с формованием заготовки в пресс-форме, установленной на вибростенде, с последующим спеканием.

Наиболее удачным оказался последний вариант, разработанный Московским комбинатом твердых сплавов (МКТС) Минцветмета СССР (директор С. П. Соловьев, главный инженер Г. Н. Левин) совместно с Лабораторией № 2 (И. К. Кихонин, В. С. Обухов, В. Х. Волков и др.). Эти фильтры имели хотя и невысокие, но в тот период приемлемые параметры с добротностью, не превышающей 10%. Тогда ни науки, ни производство не овладели еще технологией получения тонкодисперсных никелевых порошков.

В короткие сроки на МКТС были организованы подготовка производства и серийный выпуск плоских

фильтров — это было крупное техническое достижение. Все машины первого диффузионного завода Д-1 были оснащены этими фильтрами, позволяющими эффективно работать при давлении гексафторида урана на их входе до 20–30 мм рт. ст.

Наряду с этим одновременно интенсивно велась разработка по получению трубчатых изделий на МКТС, в Лаборатории № 2, а также в Сухумском физико-техническом институте с привлечением нескольких работающих в нем немецких ученых (проф. П. А. Тиссена, д-ра Р. Райхмана и др.).

В 1948 г. в Сухуми были получены первые результаты в создании трубчатых фильтров двух типов: каркасных и керамических. Каркасные пористые фильтры получали нанесением на никелевую сетку, имеющую 7–10 тыс. отверстий на 1 см^2 , мелкого порошка из карбонильного никеля, и последующим спеканием его в печи. Руководителем этих работ был профессор П. А. Тиссен. Керамические фильтры получали выдавливанием через кольцевой мундштук тонкостенной трубки из тестообразной массы, приготовленной из порошка закиси никеля со связующими добавками, и последующим восстановительным обжигом ее в водородной печи. Руководителями этой разработки были немецкий специалист Р. Райхман и советские инженеры В. Н. Ермин и Н. Н. Ермина.

При промышленном освоении каркасных фильтров большие трудности вызвало изготовление сетки, выполненной из тончайших никелевых нитей толщиной 0,05 мм, для получения которых волочением требовались алмазные фильтры. Первоначально была использована получаемая из Берлина сетка (7 тыс. отверстий на 1 см^2), но вскоре в СССР на

Кольчугинском заводе Минцветмета СССР в короткие сроки была освоена технология производства тончайшей никелевой проволоки, позволявшая получать на ткацких станках более мелкую сетку (до 10 тыс. отверстий на 1 см^2).

Трубчатые фильтры обоих типов успешно прошли испытания в Лаборатории № 2 АН СССР и были приняты для применения на диффузионных машинах второго поколения, разработка которых непрерывно велась в Ленинграде (ОКБ ЛКЗ) и в Горьком (ОКБ ГМЗ). Первые трубчатые фильтры были рассчитаны для работы при давлении газа до 50 мм рт. ст., что позволяло при тех же геометрических размерах диффузионной машины увеличить ее разделительную мощность в 2–2,5 раза по сравнению с давлением 20 мм рт. ст.

Были очень жаркие споры. Горьковчане (А. С. Елян, А. М. Савин) отстаивали уже проверенные в эксплуатационных условиях плоские фильтры и не доверяли хрупким пористым трубкам. Особую тревогу вызывала герметичность развальцовки приваренных по концам трубочек никелевых наконечников в трубных досках. Ленинградское ОКБ (Н. М. Синев, Э.-С. А. Аркин) совместно с научным руководителем И. К. Киконым, Вторым главным управлением ПГУ (А. Д. Зверев, Р. А. Согомонян) и ГСПИ-11 (А. И. Гутов, В. В. Смирнов) настаивало на применении трубчатых фильтров как наиболее перспективных для работы при повышенном давлении и позволяющих создавать высокоэкономичные диффузионные машины большой разделительной мощности.

В 1949 г. было организовано промышленное производство трубчатых фильтров: каркасных — на подмосковном Механическом заводе

(г. Электросталь), керамических — на МКТС Минцветмета СССР. На подмосковный завод была переведена из Сухуми лаборатория проф. П. А. Тиссена, а на МКТС — лаборатория В. Н. Ермаева и Н. Н. Ермаевой. На этих двух заводах в короткие сроки были оборудованы цеха, для оснащения которых были разработаны специальное оборудование и инструмент, ранее не применявшийся в промышленности. Отличавшееся особыми требованиями к чистоте на всех технологических операциях и к стерильности конечной продукции производство имело необычный облик. И при этом каждое изделие, включая и бракованные, состояло на особом учете как сверхсекретная важная продукция. Оба завода — подмосковный (директор А. Н. Каллистов) и МКТС (директора В. Д. Блятов и С. П. Соловьев) — в течение ряда лет обеспечивали своей тонкой, хрупкой, сверхчистой продукцией развивающуюся диффузионную промышленность страны. Каждую трубочку упаковывали в герметичную стеклянную пробирку вместе с паспортом ее контрольной проверки и транспортировали в ящиках на диффузионный завод в сопровождении специальной охраны.

Первые каркасные и керамические трубчатые пористые фильтры были установлены в 1949 г. на диффузионных машинах Т-47 и Т-49 (расход газа 1,2 и 2,2 кг/с при давлении 50 мм рт. ст.), разработанных в ОКБ ЛКЗ.

Большой цикл работ был посвящен изучению обогащения в элементе делителя — трубке — в зависимости от проницаемости, длины проточной части, давления при различных гидравлических режимах. Определяли оптимальные параметры турбулизаторов, обеспечивающих наилучшее

перемещение газа внутри трубки. Таким образом, диффузионный фильтр-делитель был подробно изучен.

Завод № 813 — первенец диффузионной технологии

Площадка для строительства первого завода по получению диффузионным методом высокообогащенного урана, была расположена в поселке Верхне-Нейвинск в 50 км от крупного индустриального центра — г. Свердловска. Здесь в XVIII в. заводчик Демидов построил небольшой металлургический завод, использовавший энергию воды р. Нейвы, запруженной в междугорьях широкой земляной плотиной и образовавшей два глубоких искусственных озера.

Таким образом, в окрестностях стройплощадки имелся водоем с достаточным количеством воды, необходимой для промышленного производства.

Проходящая мимо поселка железнодорожная магистраль позволила быстро развернуть крупное строительство. Немаловажно, что на месте будущего завода № 813 находился недостроенный корпус бывшего завода Наркомата авиационной промышленности. Расположенная рядом линия электропередачи обеспечила энергоснабжение предприятия.

Все это создавало хорошие условия для строительства завода № 813 и определило выбор строительной площадки будущего диффузионного завода.

На сооружение первой очереди завода Д-1 и жилого поселка для него отводилось три года. Завод должен был вводиться в эксплуатацию частями начиная с 1948 г., а в 1949 г. уже работать по полной схеме. Сначала

должны вводиться каскады, состоящие из машин малой производительности, затем средней и большой. Постановление Совета Министров СССР, подписанное 26 декабря 1946 г., обязывало ПГУ приступить без промедления (с января 1946 г.) к строительству завода Д-1, которое было возложено на Главпромстрой МВД СССР (руководитель А. Н. Комаровский). С этой целью было создано Строительное управление и привлекались специализированные строительно-монтажные организации (Стальконструкция, Сантехмонтаж, Теплоконтроль и др.) и заводы-поставщики оборудования. В самый напряженный период (1946–1949 гг.) строительство возглавил опытный строитель генерал-майор И. П. Бойков, в 1950 г. его сменил инженер-полковник А. С. Пономарев. Главным инженером СУ в течение шести лет (1946–1952 гг.) работал инженер Б. М. Сердюков. После 1949 г. здесь строились и другие диффузионные заводы (Д-3, СУ-3 и Д-4). На строительной площадке было сосредоточено более 30 тыс. строителей всех категорий. Основные работы велись круглосуточно и контролировались Москвой. Воистину это была крупнейшая после войны ударная оборонная стройка страны.

Разработка проектов диффузионных заводов была поручена ГСПИ-11 (директор А. И. Гутов, главный инженер В. В. Смирнов). Институт приступил к этой работе в апреле 1946 г. по проектному заданию, составленному Лабораторией № 2 и утвержденному руководством ПГУ. Главными инженерами проекта завода Д-1 работали первоначально И. З. Гельфанд, затем (с 1948 г.) М. М. Взоров, ведущими проектировщиками – М. М. Добулевич, В. Ф. Чекалов, И. С. Бройдо,

С. С. Майзель, Г. Г. Водопьянов, М. И. Чухраев и др. Научным руководителем проекта Д-1 был назначен И. К. Кикоин, а его заместителем – И. Н. Вознесенский. Расчетные работы по проекту завода возложены на заместителя научного руководителя акад. С. Л. Соболева. Под его руководством была разработана методика расчета принципиальной схемы построения и взаимодействия 56 каскадов, составленных из тысяч машин нескольких типоразмеров, а также схема их автоматического регулирования, обеспечивающая устойчивый гидравлический режим и получение конечного высокообогащенного (первоначально до 75 проц, затем – 90%) урана, предназначенного для атомного оружия. Оригинальная аппаратура для точного и тонкого автоматического регулирования всех машин и каскадов завода была успешно разработана конструкторами ОКБ ЛКЗ и ОКБ ГМЗ, ее изготовление и поставку обеспечивал Кировский завод как для машин собственной конструкции, так и для всех машин, поставляемых ГМЗ.

В это время мы уже располагали некоторой вызывающей доверие информацией о первом американском диффузионном заводе в Ок-Ридже (отчет Г. Смита). В книге имелась и фотография общего вида этого завода. Мы обратили внимание, что по всему периметру обширных зданий расположены силовые трансформаторы, а их крышу пронизывают многочисленные вентиляционные устройства. На переднем плане размещены батареи водоохлаждающих воздушных градирен, от завода проложен широкий водный канал. Все это давало представление о строительных масштабах, подтверждая приведенную в книге Г. Смита информацию о большом энергопотреблении

диффузионной технологии, о необходимости прокачки большого количества охлажденной воды для отвода тепла, выделяемого в компрессорах многих тысяч диффузионных машин.

Проектирование завода Д-1 начали, взяв за основу одноступенчатые машины с центробежными компрессорами, конструкторская разработка которых интенсивно велась в Горьком и Ленинграде. В проектной задаче была намечена установка ступеней с машинами конструкции ОКБ ГМЗ: ОК-7, ОК-8 и ОК-9 (главный конструктор А. И. Савин) с расходом газа (гексафторида урана) соответственно 30, 90 и 240 г/с при его давлении перед пористыми фильтрами 19 мм рт. ст.* и с машинами конструкции ОКБ ЛКЗ (Т-6 и Т-15) с аналогичными параметрами (главный конструктор Э.-С. А. Аркин).

В конце 1946 г. было изготовлено по 20 машин ОК-7 и Т-15, эксплуатационные испытания которых провела Лаборатория № 2. Конструкция ОК-7 (рис. 2) оказалась более отработанной и приемлемой для производства, в то время как ленинградская машина (Т-15) с высокооборотным компрессором (9000 об/мин) по ряду параметров не отвечала техническим требованиям (по надежности подшипниковых опор, по герметичности и др.). Времени на доработку машин Т-15 у кировцев практически уже не было. После бурных обсуждений на заседании секции НТС у В. А. Малышева ПГУ приняло решение комплектовать завод Д-1 только машинами ГМЗ.

В состав НТС ПГУ входила секция № 2 по разделению изотопов,

*До 1954 г. все машины, разработанные в ОКБ ГМЗ, имели индекс Л. Б. (инициалы Лаврентия Берия), позже они были переименованы, получив новый индекс — ОК (особая конструкция).



А. И. Савин, главный конструктор ГМЗ

руководил которой заместитель Председателя Совнаркома СССР Вячеслав Александрович Малышев. Несмотря на свою занятость, он выполнял поручение Спецкомитета ГКО СССР со всей ответственностью. Личный вклад В. А. Малышева трудно переоценить.

Много сил и творческого рвения он отдал рассмотрению возможностей разделения изотопов урана диффузионным методом, его даль-

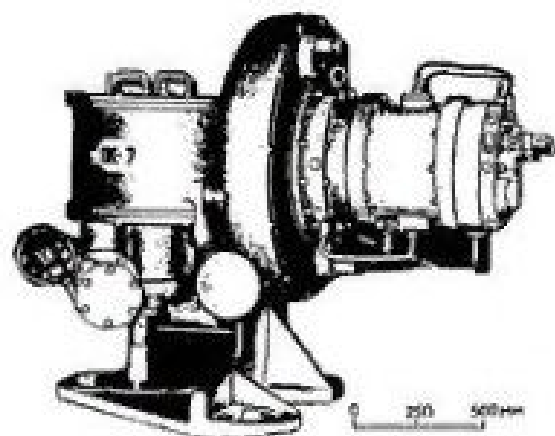


Рис. 2. Диффузионная машина ОК-7



В. А. Малышев, заместитель Председателя Совета Министров СССР

нейшему развитию, совершенствованию разделительных характеристик плоских и трубчатых фильтров, повышению давления газа перед фильтрами, созданию новых типов компрессоров-насосов с увеличением объемного расхода газа в ступенях компрессоров.

В. А. Малышев много времени уделял работе секции, регулярно проводил заседания и обсуждал все сложности с учеными и специалистами организации и предприятий, привлеченных к разработке проблем по разделению изотопов, в том числе Кировского завода.

Неудачи и провал конструкторов-кировцев потребовали срочных мер по укреплению ОКБ. Главным конструктором ОКБ ЛКЗ Советом Министров СССР в июне 1947 г. был назначен Н. М. Синев, работавший до этого начальником Специального КБ № 1 ЛКЗ по разработке реактивных газотурбинных и паровых двига-



Н. М. Синев, главный конструктор ОКБ ЛКЗ

телей для авиации. Заместителем главного конструктора ОКБ ЛКЗ был назначен инженер Э.-С. А. Аркин.

В новом варианте проектного задания ОКБ ЛКЗ было предусмотрено укомплектовать Д-1 следующими машинами: ОК-7 – 2756 шт., ОК-8 – 2160, ОК-9 – 1344, всего 6260 последовательно соединенных машин в 56 каскадах, связанных между собой коммуникациями для передачи и отбора обогащенной фракции газа (ее принято называть «легкой фракцией») и обедненного продукта, называемого отталом, или «тяжелой фракцией». Все машины на диффузионном заводе должны работать непрерывно, так как остановка ведет к перемешиванию газа, имеющего определенное различие по содержанию урана-235 в каждой ступени. Для возможности ремонта и остановок отдельных ступеней (в случае какой-либо неисправности или выхода из строя) все диффузионные машины

внутри каскадов были разбиты на группы по 12 машин, образующие байпасируемые по газовым коммуникациям блоки. Такой блок с помощью надежных вакуумных запорных клапанов можно отсекать от работающего каскада, при этом, конечно, возникают некоторые потери раздельной работы.

Расчетные схемы завода Д-1 в ходе его строительства и ввода в эксплуатацию неоднократно изменялись и корректировались. Сложнейшей задачей было обеспечить автоматическое поддержание устойчивого газодинамического режима в каскадах при изменениях расхода питания и отбора гексафторида урана. Важную работу под руководством акад. С. Л. Соболева провели высококвалифицированные специалисты из группы проф. И. Н. Вознесенского М. М. Добулевич, Я. А. Смородинский, Н. А. Колокольцев, А. Ф. Лесохин, Б. В. Жигаловский, А. Г. Плоткина и др. Как уже указывалось выше, оригинальная конструкция автоматических регуляторов была успешно разработана и испытана в ОКБ ЛКЗ (В. Я. Черный, И. Н. Минко, П. З. Черепанов, Х. А. Муринсон, Н. М. Сянев, Э.-С. А. Аркин, А. А. Белимов, Ю. Е. Перлюсовский, И. Б. Старобин, Г. С. Минин, В. А. Щеголев, В. Г. Фирсов).

Постоянно прикомандированные сотрудники (до 50 чел.) ГСПИ-11 оперативно рассматривали все требования строителей и монтажников и обеспечивали на месте корректировку и выдачу рабочей проектной документации (руководитель М. И. Чухраев).

В 1946 г. постановлением Совета Министров СССР была образована дирекция строящегося завода Д-1. Директором (с апреля 1946 г.) был назначен инженер-электрик



А. И. Чурин, директор завода Д-1

А. И. Чурин, до этого работающий главным инженером Уральской энергетической системы (Уралэнерго), главным инженером (с октября 1946 г.) — М. П. Родионов, руководивший в годы Великой Отечественной войны теплосиловой энергетикой Уралмаша. Началось комплектование аппарата дирекции и кадров будущего завода. Потребовалось специальное постановление Правительства, обязавшее несколько партийных организаций, в том числе свердловскую, куйбышевскую, ярославскую, московскую и ленинградскую, совместно с представителями ПГУ отобрать высококвалифицированных специалистов: инженеров, мастеров, рабочих — для направления их на работу на объект.

В это время параллельно с работами на заводской стройплощадке развернулось строительство жилого поселка. Прорубались лесные просеки, вырастали улицы и кварталы жилых домов, бараков, казарм. В условиях

необжитой лесной, горной, необустроенной местности, где собрались и должны были жить и работать несколько десятков тысяч человек, трудности были велики, особенно в первые два-три года. Обширная территория строгорезимного объекта была огорожена и закрыта для посторонних. Въехать или войти в нее можно было только по пропуску. Ежедневно по вечерам взрывами каменной горы на территории поселка добывали щебенку и гравий для стройки.

Сложно решались вопросы продовольственного обеспечения и медицинского обслуживания. Например, в первый год строительства хлеб нужно было доставлять по бездорожью за 30 км. Мощеных дорог и мостовых не было, исходу непролазная грязь или облака пыли. Питьевую воду долгое время подавали из Демидовского пруда без необходимой санитарно-гигиенической очистки. Поликлиника размещалась в казарме, больницы не было. В 1948 г. на строительство работало свыше 30 000 человек, поэтому оказалось, что в двух построенных средних школах одновременно нужно открыть 38 первых классов и только один неполный десятый.

В январе 1947 г. мы вместе с И. К. Кикоиным выехали на строительную площадку будущего заводокомбината. Строительство было в разгаре, но, как часто бывало в те годы, промышленные заводские здания сооружали в хорошем темпе, а жилые дома и объекты соцкультбыта — с очень большим отставанием.

Рабочие будущего завода прибывали с семьями из разных концов страны, надеясь в том числе и на жилье, а его не доставало.

Однажды, какое-то время спустя, мы с И. К. Кикоиным и директором завода возвращались с заводской пло-

щадки в заводоуправление. У дверей управления нас встретила толпа возмущенных, избудораженных, кричащих женщин. Мы еле пробившись в помещение. Было ясно, что народ требует жилья, требует нормальной жизни. Решили все же узнать, чего хотят люди. Для выяснения положения мы предложили пригласить к нам в кабинет делегацию из 5–10 женщин, однако пришли не 5–10, а 30–35 человек.

В процессе шумного разговора удалось выяснить, предпринятельно наведя кое-какой порядок, что дело-то в конце концов не в нехватке жилья, хотя и это было, и не в нехватке магазинов, детских и яслей, а в том, что поселок, где они живут, находится в зоне радиационного облучения и мужья приходят домой разбитые, неспособные к жизни из-за радиационного облучения, полученного на заводе.

«Отправляйте нас домой — вот наше требование. Мы не хотим, чтобы наши мужья потеряли мужскую силу, не хотим здесь жить и работать».

Все наши объяснения, что радиации здесь нет и что ей просто неоткуда здесь взяться, были для наших собеседниц как горох об стену.

А ведь ко времени нашей беседы, хотя строительством завода было в самом разгаре, решение задачи по технике газовой диффузии было еще очень далеко от своего осуществления. Нам самим еще не очень ясно было, какими будут газодиффузионные насосы, какой прочности, долговечности, какими и как хороши будут пористые перегородки, как они будут вести себя под постоянным давлением (пусть очень малым), какова будет их действительная производительность. До сих пор все было решено только в лабораторных усло-

виях, в отдельных экспериментах. Ясны были только принципы, характер прохождения процесса диффузии. Словом, впереди была неясность и полная неопределенность, а в наших руках — только ответственность за порученное дело и желание добиться необходимого успеха. Но что же делать, как уговорить этих обеспокоенных женщин? Просто так их отпустить — это значит не решить вопрос, не успокоить их, а только посеять еще больше сомнения и тревоги, которые со временем охватят и мужчин, и тогда можно ожидать всякого. Мы с беспокойством переглядывались, не зная, что делать. Тогда я решился на невозможное, сознавая, что беру на себя огромную ответственность, и плохо представляя, во что это выльется для всех нас, не говоря уж о себе.

Я сказал: «Вот вы являетесь делегацией, так сказать, уполномоченными, выборными из толпы. Давайте вместе с директором, со всеми вами, сколько вас здесь находится, пойдем на завод в цеха и посмотрим, что и как там делается и откуда взяться так называемой радиации, о которой вы говорите. Вы все увидите и расскажете обо всем своим товарищам. А толпу за окном мы попросим подождать вашего возвращения. Пусть они не расходятся».

Так мы и сделали, пошли по цехам строящегося завода. А надо еще раз подчеркнуть, что завод и строительство были сугубо секретным предприятием, с особым режимом закрытости. И за такое самовольное решение, как показ строительства, нам могло крепко достаться. А ведь по тем временам наказание могло быть очень суровым.

Женщины ходили с нами по территории завода и увидели действительно строящиеся корпуса и

цеха, но не увидели никакого работающего специального оборудования. А его еще не было, да и не могло быть, так как оно только создавалось на заводах страны. Мы попросили женщин сказать народу, что радиации никакой нет и в помине и что все это выдумка, блажь, а может и провокация, но не рассказывать, в каком техническом состоянии находятся цеха завода. И надо сказать, делегированные женщины очень умело, умно и доходчиво рассказали, что их мужья просто действительно сильно устают, работая не по 8, а по 10–12 часов. Занятно было видеть, с каким интересом толпа слушала сообщение их делегации и как спокойно и удовлетворенно все расходилось. И потом, когда у И. К. Кикоина допытывались, как все произошло и чем все кончилось, он с полной ответственностью поддержал мое решение как единственно правильное в тот момент.

На большой огороженной забором и колючей проволокой территории будущего города-завода был установлен особый режим. Органов советской власти (Советов депутатов трудящихся) не было. Административная власть была сосредоточена в руках директора строящегося завода. Охрана и порядок в поселке поддерживались режимными органами и подразделениями внутренних войск МВД. Нарушения уголовного порядка рассматривались трибуналом. До 1950 г. единственными культурными центрами поселка были клуб, размещенный в бывшем паровозном депо, а также вновь построенный кинотеатр и небольшая библиотека.

Поставка многочисленного специального и прочего комплектующего оборудования и приборов для стройки специальными постановлениями правительства возлагалась на

предприятия различных ведомств страны. Следует отметить, что почти все промышленные министерства так или иначе участвовали в поставках своей продукции на ударную стройку. Коллективы привлеченных организаций рассматривали это поручение партии и правительства как особо важное задание и выполняли его с чувством высокой ответственности, не жалея ни сил, ни времени, работая часто без выходных дней.

Выполнение этих работ в установленные сжатые сроки находилось под строгим контролем ПГУ и Спецкомитета Совета Министров СССР, возглавляемого Л. Берия. В случаях, когда для решения вопроса требовалось постановление правительства, оно выносилось для рассмотрения Спецкомитетом и выпускалось за подписью Председателя Совета Министров СССР (обычно И. В. Сталина) буквально через несколько дней. Никаких согласований, если это требовалось для стройки, для производства или для разработки новой атомной техники.

Общее руководство всеми работами по разделению изотопов урана осуществлялось секцией НТС ПГУ, руководил которой с самого начала (апрель 1946 г.) заместитель Председателя Совета Министров СССР В. А. Малышев.

Изготовление и поставка основного технологического оборудования для завода Д-1 в основном были возложены на ГМЗ (директор А. М. Елян, главный инженер В. Д. Максименко, главный технолог А. А. Гордеев), но изготовление диффузионных машин среднего обогащения ОК-8 по рабочим чертежам ОКБ ГМЗ было поручено ЛКЗ (директор А. Л. Кизима, главный инженер А. И. Захарьин, начальник производства В. Г. Фирсов). Электро-



А. М. Елян, директор ГМЗ

двигатели к машинам ОК-8 (однотипным с ОК-7 и ОК-9) должен был поставлять ГМЗ, он же комплектовал поставки машин запорными вакуумными клапанами и трубопроводами. ЛКЗ для всех каскадов Д-1 поставлял разработанные его конструкторами автоматические регуляторы расхода и давления газа. На обоих заводах в чрезвычайно короткие сроки потребовалось выполнить большой объем работ по организации производства нового специфического машиностроения, построить заново или реконструировать многие цеха.

В частности, необходимо было построить крупные цеха для гальванических покрытий всех внутренних полостей машин, контактирующих с гексафторидом урана, площадь поверхности которых составляла многие гектары. Технологический процесс требовал после промывки и тщательного обезжиривания в специальных ваннах провести омеднение, затем очень плотное и равно-

мерное гальваническое никелирование; после этого все никелированные поверхности подвергали тщательной ручной шлифовке (мягкими шлифовальными кругами с пастой ГОИ), обеспечивая чистоту поверхностей не менее одиннадцатого класса. В результате шлифовки все внутренние поверхности машины, а также внутренние стенки трубопроводов и многочисленных патрубков превращались в блестящие металлические «кривые» зеркала. Это была адская, трудоемкая, монотонная, но очень важная ручная работа. Выполняли ее на заводах десятки рабочих-шлифовщиков круглосуточно. Шлифовка позволяла резко сократить взаимодействующую с фтором поверхность. После шлифовки все изделия промывали и тщательно обезжиривали спиртом или ацетоном в целях максимального уменьшения коррозии гексафторида урана, снижения потерь газообразного гексафторида урана. Как показали исследования, никель менее других металлов подвержен химическому взаимодействию с фтором.

Очень высокие, необычные для машиностроения требования предъявляли к чистоте и обезжириванию собираемых машин. Сборочные цеха были похожи на хирургические операционные. Требовалась взаимозаменяемость всех деталей и не допускалось никаких слесарных подгонок и следов пыли при сборке. Каждую деталь, узел и машину в сборе подвергали придирчивой приемке не только контролеры ОТК завода, но и строгие приемщики специальной Контрольно-приемочной инспекции (КПИ) заказчика (ПГУ), действовавшей в традициях военной приемки особо важной продукции; никаких отклонений от чертежа и технических условий на поставку без разре-

шения ПГУ не допускалось. Принятое КПИ оборудование в крытых товарных вагонах специальных железнодорожных эшелонов, сопровождаемых охраной, доставлялось ежедневно на завод Д-1.

Форсированная подготовка производства, потребовавшая реконструкции нескольких крупных цехов на ГМЗ, была в основном завершена в 1947 г. Еще не были закончены заводские и приемные комиссионные испытания машин ОК-7 и ОК-8, а на заводе уже в широком масштабе шло их изготовление. В начале 1948 г. эшелоны с машинами ОК-7 непрерывно начали прибывать по железной дороге на уральскую стройку. Машины без промедления укомплектовывали пористыми фильтрами, осуществляли их сборку и монтаж в каскады; эти работы были возложены на заводы-поставщики. За 1948 г. ГМЗ изготовил с учетом запасного резерва 3078 машин ОК-7, кроме того, изготовил и отправил на ЛКЗ 2492 электродвигателя типа ТД-2 для комплектования изготавливаемых там машин ОК-8.

Ускоренные приемные испытания ОК-7 были закончены только в июне 1948 г., а ОК-8 (на двух образцах серийного изготовления) — только в ноябре 1948 г. Еще позже, в январе 1949 г., были проведены (на группе из пяти машин серийного изготовления) приемные испытания ОК-9. Однако выпуск этих машин был уже развернут; до конца 1948 г. их было изготовлено 430 единиц. Такие темпы производства были обусловлены директивными указаниями — в первой половине 1949 г. завершить комплектование завода всеми тремя типами диффузионных машин-ступеней (ОК-7, ОК-8 и ОК-9) и до конца года ввести завод Д-1 в эксплуатацию.

Приемную Государственную комиссию возглавлял директор Центрального института авиационного моторостроения проф. В. И. Поликовский, известный специалист по авиакомпрессорам. Однако проведенные им ускоренные испытания машин ОК-7, ОК-8 и ОК-9 были недостаточно полными, особенно для оценки ресурсонадежности компрессоров и коррозионных потерь. Тем не менее комиссия поспешно выдала рекомендации на запуск машин в серийное производство.

На завод № 813 для объекта Д-1 прибывало все большее количество машин с заводов-поставщиков. Шло ускоренное комплектование и пуск машин ОК-9.

И тут при пуске последней очереди ступеней, укомплектованных машинами ОК-9, произошло неожиданное осложнение. Наладчики столкнулись с явлением, о котором вспоминает ветеран завода № 813 А. И. Савчук, который впоследствии стал директором этого уникального предприятия:

«В процессе пуска, вывода участков на заданный гидравлический режим, появились «грубые воздушные течи». Было непонятно, отчего это может происходить, в чем причины? Ведь только поняв техническую сущность этого явления, можно будет принять решение об устранении и предотвращении таких неожиданных сбоев. После разборки нескольких машин ОК-9 выяснилось, что керамическая рубашка, отделяющая ротор от статора двигателя машины, лопалась, отчего и образовывались воздушные течи, что в принципе абсолютно недопустимо. Таким образом, не обеспечивалось главное назначение керамической рубашки — защита ротора от статора».

Принятые поспешные частные конструктивные решения по спасению положения положительных результатов не давали. Тогда конструкторы полностью переработали конструктивные решения разделения ротора и статора двигателя, применив при этом не только новую вакуумно-плотную конструкцию перегородки между ротором и статором двигателя, но и материал для керамической рубашки, выполнив ее из пресованной резольной смолы, покрытой олифой. При этом пришлось заменить ротор новым, в котором было исключено взаимодействие гексафторида урана с трансформаторным железом. Все двигатели машин ОК-9, а их было почти 1500, пришлось заменять двигателями новой конструкции. И это было выполнено в кратчайшие сроки, перед выходом завода Д-1 на заданный гидравлический режим.

Первая очередь каскадов, состоящих из машин ОК-7, была смонтирована к маю 1948 г. и находилась в пусковой готовности. 22 мая 1948 г. на основании доклада ПГУ и научного руководителя проблемы было принято постановление Совета Министров СССР, разрешающее предъявить первую очередь завода Д-1 к пуску. Одновременно постановлением правительства были назначены руководители завода и его основных подразделений. Этим постановлением в целях организационно-административного укрепления завода А. И. Чуринов был перемещен на должность главного инженера. Директором назначен А. Л. Кизима. На ответственную роль начальника производства завода Д-1 был назначен бывший главный инженер М. П. Родионов, а начальником технического отдела завода утвержден главный конструктор ОКБ ЛКЗ Н. М. Синев.

Начальники основных цехов завода Д-1 также были назначены постановлением Совета Министров СССР, что подчеркивало особое значение их роли и ответственности при эксплуатации первого в стране разделительного завода. Начальником цеха малых машин (ОК-7) был назначен опытный авиационный инженер Г. Г. Летевин, цеха средних машин (ОК-8) – Н. В. Алявдин, работавший начальником испытательных стендов ОКБ ЛКЗ, цеха больших машин (ОК-9) – П. С. Микулин. Заместителем директора по научным вопросам утвержден научный руководитель проблемы И. К. Кихонин, ему было предложено командировать из Москвы (из Лаборатории № 2) на пусковой объект на все время его пусконаладки своих ближайших помощников.

Тогда, в 1948 г. понимали, что судьба диффузионной технологии будет решаться на Урале. Первоначально по расписанию на заводе работало 600 чел., через два года численность персонала была доведена до 3500 чел. В 1947 г. руководящий инженерно-технический персонал завода Д-1 интенсивно проходил учебу в Лаборатории № 2, а в 1948 г. И. К. Кихонин организовал учебу на заводе. С лекциями выступали И. К. Кихонин, С. Л. Соболев, Н. А. Колокольцев, Я. А. Смородинский, А. Г. Плоткина и др. В первой половине 1948 г. на заводе были созданы все основные структурные подразделения.

Особо следует отметить ответственную роль группы пусконаладки вновь смонтированного или отремонтированного основного оборудования, которую возглавлял заместитель начальника этого отдела В. Д. Пушкин, опытный инженер-механик, прибывший из Ярослав-

ля. Большое значение в период пуска завода придавалось работе группы расчетов пусковых и переходных режимов вновь вводимых в эксплуатацию каскадов, которую возглавлял молодой ученый Б. В. Жигаловский.

Важную роль в оснащении испытательными стендами и механической оснасткой эксплуатационных служб играли организованное в техническом отделе большое конструкторское бюро (руководитель В. Д. Лурье), а также группа наладки и обслуживания контрольно-измерительной аппаратуры (руководитель М. Л. Райхман), в ведении которой находилось свыше 20 тыс. приборов. Вопросы технического обеспечения нормальной эксплуатации разветвленных вакуумных систем, контроля вакуумной плотности, наладки теплоотводящих насосных и вентиляционных установок, разработки ремонтного оборудования и оснастки, создания различных технических нормативов нового промышленного предприятия приходилось решать техническому отделу безотлагательного. Вакуумную службу в техническом отделе возглавлял В. И. Чувакин. Ему пришлось первым осваивать отечественную новинку – гелиевые теченскатели.

Вакуумная плотность в соединительных частях основного оборудования, в компрессорах ступеней машин ОК обеспечивалась в процессе их изготовления и монтажа тщательностью проведения сборочных работ на заводах-изготовителях и в первую очередь конструктивными решениями уплотнений отдельных узлов многих соединений.

Однако практика показывала, что несмотря на высокое качество изготовления всех видов оборудования часто при его монтаже в каскады в

машинах ОК обнаруживались неплотные соединения.

При этом следует учесть, что объем контрольных проверок вакуумной плотности превышал возможности аппаратуры того времени. Уровень вакуумной техники в те годы был исключительно низок, главным образом из-за отсутствия потребности в ней отраслей промышленности нашей страны.

И только появление атомной промышленности потребовало ее создания.

Например, для замеров давления использовали стеклянные ртутные манометры или дифференциальные жидкостные манометры. В условиях лабораторных работ этот вид приборов вполне устраивал специалистов, но в условиях промышленности такая примитивная техника не могла обеспечить нужды производственников.

Проверку плотности проводили по натеканию воздуха в объем, при этом точность замеров была невысокой, а времени на такие операции требовалось много.

Вот почему места течи в отсутствие приборов по течению приходилось отыскивать старым, проверенным «дедовским методом» — обмыливанием соединений и подозрительных мест по натеканию. При поддуве в местах неплотных соединений появлялись мыльные пузыри.

Объем поисков течи был очень велик, общая длина соединений исчислялась многими тысячами метров, поэтому пришлось организовывать специальные бригады, которые отыскивали течи в машинах ОК перед их монтажом в каскады.

Часто после исправления найденных при проверке на течь дефектов компрессоров или трубопроводов и возвращения их в цех вновь обнару-

живали течи в том же или другом месте.

Опыт показал, что наибольший брак по поискам течи допускали бригады, куда входили мужчины, наименьший — где трудились женщины. Пришлось мужские бригады расформировывать и составлять такие бригады только из женщин.

Борьба с течами сильно нервировала производственников, потому появление специально созданных теченскателей подняло их настроение, хотя первые ПТИ (или, как их ласково называли, «птички») были далеки от совершенства.

Несколько позднее появились ПТИ с использованием газообразного гелия, обладающего уникальными способностями проникать в любые щели, поры вследствие его особой сверхтекучести, что позволило усовершенствовать поиск течи и отказаться от применения мыльной пены.

Большая заслуга в этом Сухумского физико-технического института, групп немецкого специалиста В. В. Шютце и советского инженера Н. А. Шеховцева. Они также разработали масс-спектрометр для анализа газовых проб гексафторида урана. В 1949 г. на заводе Д-3 Комбината № 813 была создана масс-спектрометрическая лаборатория, в которой трудились Н. А. Шеховцев, А. Д. Глухов, А. Т. Кляшторный, В. И. Казаков, Б. Б. Лепорский и др.

Большая роль в освоении и управления процессами технологии на разделительном заводе принадлежит Центральной заводской лаборатории, организованной в конце 1946 г. В 1947–1949 гг. ее возглавлял канд. физ.-мат. наук П. А. Хальдеев, а с 1949 по 1953 г. — член-корреспондент АН СССР И. К. Кижоин. Лаборатория состояла из опытных специалистов,

машинах ОК обнаруживались неплотные соединения.

При этом следует учесть, что объем контрольных проверок вакуумной плотности превышал возможности аппаратуры того времени. Уровень вакуумной техники в те годы был исключительно низок, главным образом из-за отсутствия потребности в ней отраслей промышленности нашей страны.

И только появление атомной промышленности потребовало ее создания.

Например, для замеров давления использовали стеклянные ртутные манометры или дифференциальные жидкостные манометры. В условиях лабораторных работ этот вид приборов вполне устраивал специалистов, но в условиях промышленности такая примитивная техника не могла обеспечить нужды производственников.

Проверку плотности проводили по натеканию воздуха в объем, при этом точность замеров была невысокой, а времени на такие операции требовалось много.

Вот почему места течи в отсутствие приборов по течению приходилось отыскивать старым, проверенным «дедовским методом» — обмыливанием соединений и подозрительных мест по натеканию. При поддуве в местах неплотных соединений появлялись мыльные пузыри.

Объем поисков течи был очень велик, общая длина соединений исчислялась многими тысячами метров, поэтому пришлось организовывать специальные бригады, которые отыскивали течи в машинах ОК перед их монтажом в каскады.

Часто после исправления найденных при проверке на течь дефектов компрессоров или трубопроводов и возвращения их в цех вновь обнару-

живали течи в том же или другом месте.

Опыт показал, что наибольший брак по поискам течи допускали бригады, куда входили мужчины, наименьший — где трудились женщины. Пришлось мужские бригады расформировывать и составлять такие бригады только из женщин.

Борьба с течами сильно нервировала производственников, потому появление специально созданных теченскателей подняло их настроение, хотя первые ПТИ (или, как их ласково называли, «птички») были далеки от совершенства.

Несколько позднее появились ПТИ с использованием газообразного гелия, обладающего уникальными способностями проникать в любые щели, поры вследствие его особой сверхтекучести, что позволило усовершенствовать поиск течи и отказаться от применения мыльной пены.

Большая заслуга в этом Сухумского физико-технического института, групп немецкого специалиста В. В. Шютце и советского инженера Н. А. Шеховцева. Они также разработали масс-спектрометр для анализа газовых проб гексафторида урана. В 1949 г. на заводе Д-3 Комбината № 813 была создана масс-спектрометрическая лаборатория, в которой трудились Н. А. Шеховцев, А. Д. Глухов, А. Т. Кляшторный, В. И. Казаков, Б. Б. Лепорский и др.

Большая роль в освоении и управления процессами технологии на разделительном заводе принадлежит Центральной заводской лаборатории, организованной в конце 1946 г. В 1947–1949 гг. ее возглавлял канд. физ.-мат. наук П. А. Хальдеев, а с 1949 по 1953 г. — член-корреспондент АН СССР И. К. Кижоин. Лаборатория состояла из опытных специалистов,

дочного бюро Управления № 27 (А. И. Савчук, П. П. Харитонов, Б. С. Пужаев, Е. С. Семенова, М. Е. Ерошов, А. В. Шейнина, А. И. Бегунцов и др.). Работа в наладочном бюро явилась основной школой практической подготовки кадров технологов-эксплуатационников не только для заводов Д-1, Д-3, Д-4, но и введенных в строй позднее.

Эта структура, тесно взаимодействующая с научным руководством, ЦЗЛ, техническим отделом завода, позволяла гибко и оперативно решать возникающие вопросы. Впервые в практике нашей промышленности приказом руководства ПГУ от 5 октября 1949 г. при директоре диффузионного завода был создан оперативный технический совет.

Сразу же после пуска наладочных работ на первых введенных в эксплуатацию каскадах, состоящих в основном из ОК-7, начались массовые выходы из строя машин, работающих в эксплуатационном режиме, в дальнейшем это повторялось и на каскадах с машинами ОК-8 и ОК-9. Причины — заедание шариковых подшипников электропривода компрессора, приводящее к его остановке или высокому износу подшипников, сопровождавшемуся недопустимой вибрацией компрессора и повышенном температурой в зоне специальных высокооборотных (6000 об/мин) подшипников. Иногда за сутки выходило из строя до 50 компрессоров. Подшипники работали несколько сотен, а иногда только несколько десятков часов. Ежедневно утром и вечером регистрировали температуру подшипников на тысячах «больных» и еще «здоровых» машин и заносили ее в карточки, введенные для каждой машины каскадов. По этим данным и результатам

делались вскрытия вышедших из строя компрессоров.

Какая же это была мучительная, не прерывавшаяся ни днем ни ночью работа — замена вышедших из строя компрессоров новыми или отремонтированными машинами! Ведь все машины до аварийной их остановки были заполнены рабочим газом — химически агрессивным радиоактивным гексафторидом урана, успевшим получить некоторое изменение в своем изотопном составе. В начале было непонятно, почему изготовленные по первому классу точности шариковые подшипники, прошедшие специальный отбор, выходят из строя. Ведь при заводских и комиссионных приемных испытаниях все было в порядке. Стали искать причину в недостатках сборки, в отклонениях от требований к механической обработке. В то же время выход из строя подшипников с вводом в эксплуатацию новых и новых каскадов нарастал. «Лечение» машин было очень трудным. Из-за одного вышедшего из строя компрессора приходилось останавливать и отключать от каскада целый байпасируемый по газу блок (12 машин), откачивать из него рабочий газ, снимать с места и транспортировать в цех ревизии «больную» машину, при этом обнажать весьма чувствительные к влаге и коррозии пакеты пористых пластин, установленных в баке-делителе. Вместо изъятых машин монтировали новые или уже отремонтированные машины, повторяя вновь весь цикл (откачка, проверка на вакуумную плотность, наполнение газом и т. п.). При этом не было уверенности, что замененная машина долго проработает. Эта трудоемкая изнурительная работа полностью дезорганизовала пуск завода Д-1 и была настоящим бедствием, вызывавшим у некоторых руко-

водителей неверие в успех промышленного освоения диффузионного метода.

На уральской стройке, сменяя друг друга, неделями и месяцами должны были находиться руководители ГМЗ — завода-поставщика машин: директор, главный инженер, главный технолог, а также руководители КБ — виновники допущенных ошибок, а с ними опытные технологи и мастера-сборщики, а также квалифицированные рабочие.

Завод-поставщик машин был обязан в экстремальных условиях исправлять свои ошибки и устранять брак. Напряженность на пусковом объекте нарастала...

По решению Специального комитета весной 1949 г. на пусковую стройку прибыл первый заместитель начальника ПГУ, заместитель Председателя Совета Министров СССР М. Г. Первухин. Он находился на стройке безвыездно один месяц, ежедневно разбирался в обстановке на объекте и принимал оперативные решения по многим вопросам строительства, монтажа и пусковых работ. Так, он потребовал выровнять груды земли на обширных площадях заводской территории, обложить землю дерном, посадить деревья и кустарники. В общем, заставил безотлагательно навести чистоту и порядок вместо привычной на стройке непролазной грязи и пыли. Почти каждый вечер он собирал руководящий состав пускового завода и рассматривал сообщение о состоянии оборудования, вводимого в эксплуатацию, и особенно о состоянии дел с подшипниками и дезорганизующими производством выходами из строя компрессоров.

К концу пребывания М. Г. Первухина на основе обширного анализа оборудования и экспериментальных

работ была установлена истинная причина заклинивания подшипников или их ненормальных износов — недостаточность размера радиального люфта, что вместе с неправильным выбором посадок подшипников в корпусе электропривода и на валу двигателя приводило к их заклиниванию. Выбранные люфты и посадки не учитывали реальное термическое расширение деталей в подшипниковой паре, происходившее в условиях плохого теплоотвода в вакуумной среде. Было принято решение на всех (более 5500) машинах заменить подшипники и откорректировать посадки. После такой замены подшипники перестали выходить из строя.

Однако возникла новая, еще более тяжкая беда — был обнаружен недопустимо высокий уровень разложения рабочего газа (гексафторида урана) в машинах, приводящий к тому, что поток высокообогащенного гексафторида урана практически не достигал конечных каскадов. Гексафторид урана разлагался, и значительная часть его превращалась в порошок тетрафторида урана и осаждалась на внутренних стенках машин.

Было решено освободить всю систему каскадов от гексафторида и тетрафторида урана и промыть ее тщательным образом. Все было осуществлено, но результат был нулевым. И. К. Кикоин мучительно искал пути борьбы с появлением тетрафторида урана.

Нам было известно, что в Сухумском физико-техническом институте работают немецкие ученые-физики, химики и др. — из районов Германии, занятых Советской Армией. Читатель хорошо знает, что американская разведка на территории Германии в первую очередь начала охоту за видными немецкими учеными и специ-

алистами, так или иначе причастными к ядерной физике и занимавшимися созданием ядерной бомбы. США удалось найти и собрать у себя ведущих немецких ученых, таких как В. Гейзенбург, О. Ган, М. Лауэ, В. Боте, К. Вейцзеккер, действительно занимавшихся созданием бомбы, но не получивших серьезной поддержки гитлеровского руководства из-за слишком большой сложности проблемы и длительности сроков, необходимых для изготовления ядерного оружия. Но на территории Германии, занятой советскими войсками, советской разведкой была обнаружена небольшая часть немецких ученых физиков и химиков, которые дали согласие поработать в Советском Союзе, как говорится, до лучших времен. Вот они-то и были размещены в этом грузинском НИИ.

Столкнувшись с такой тяжелой задачей, И. К. Кикоин решил пригласить эту группу немецких специалистов на консультацию прямо сюда, на нашу строительную площадку. Согласие вышестоящих органов было получено, немецкие специалисты прибыли. Кикоин рассказал им о сущности нашей работы и пригласил их посетить цеха завода и ознакомиться на месте с его оборудованием. Немецкие ученые в течение нескольких дней внимательно со всем ознакомились и затем сообщили, что все увиденное поразило их своими масштабами и техникой исполнения и что они чувствуют себя здесь учениками — так далеко ушли советские специалисты. И работа, и оборудование, подчеркнули они, выше всяких похвал, о чем-либо подобном в Германии могли только мечтать. В первый момент мы решили, что немцы хитрят и не хотят нам помочь. Но потом, подробно обсудив, с чем они имели дело в Германии, и попытались

найти ответы на мучившие нас вопросы, мы поняли, что они были достаточно искренни в своем незнании и непонимании научной и технической ситуации.

Вскоре после этого к нам на площадку приехал высший начальник, руководитель Специального комитета по созданию ядерного оружия Л. П. Берия. Его салон-вагон был установлен недалеко от завода, в тихом месте. Ознакомившись с положением на строительстве, вечером он приехал к нам на объект и собрал узкий круг людей, связанных с технологией процесса и пуском завода. Первым выступил И. К. Кикоин с сообщением о проделанной работе и о трудностях, с которыми мы встретились. Затем Берия выслушал меня и еще двух-трех специалистов, прервал выступление и сказал примерно следующее (стенограммы, конечно, не было):

— Сделано, конечно, очень много. Страна после войны, будучи в тяжелом состоянии, дала вам все, что вы просили. И мы теперь вправе ожидать от вас полного выполнения заданий. Короче, дело обстоит так — даю вам срок три месяца, чтобы все закончить, но если вы не обеспечите за это время все, что от вас требуется, пеняйте на себя, а я заранее предупреждаю — готовьте сухари.

И, не прощаясь с нами, он ушел к себе, в салон-вагон. Мы все, присутствовавшие на совещании, хорошо поняли, что если мы не совладаем с коррозионной бедой и если завод не станет выдавать высококачественный продукт с 90%-ным обогащением ураном-235, нам не сдобровать. Да мы и без него понимали, что все трудности надо преодолеть, без этого не будет у нас ядерного оружия. Но мы также понимали, что деваться нам некуда, ибо он, Л. П. Берия,

лично отвечал перед НИИМ за создание ядерного оружия, и что он тоже боялся за свою шкуру, за свое место в жизни, за свою жизнь. Но все же все дело в нас самих. И лучше всего это понимал научный руководитель проблемы И. К. Кикоин.

До своего отъезда с завода № 813 руководитель Специального комитета Л. П. Берия принял ряд организационных мер. К выяснению истинных причин высокой коррозии и потерь газообразного гексафторида урана, превращающегося в твердый порошок тетрафторида, были привлечены видные советские ученые-химики и физико-химики, в том числе академик А. Н. Фрумкин, А. П. Виноградов, профессора И. В. Тананаев, С. В. Карпачев, В. А. Каржавин и др., а также немецкие ученые, работавшие в г. Сухуми.

Было установлено и подтверждено путем разборки многих машин и тщательного сбора осажденных на поверхностях продуктов и их точного взвешивания, что главным виновником недопустимо высокого уровня коррозии газа являются низковольтные электродвигатели компрессоров типа ДТ (двигатель-трансформатор), разработанные в ОКБ ГМЗ и установленные на всех ОК-7 и ОК-8. Двигатели имели химически незащищенную большую поверхность шихтованных тонких железных листов, статора и ротора, кроме того, при работе двигателей температура повышалась, что усугубляло коррозионные процессы. При разборке статора и шихтованного ротора электродвигателя извлекалось до 700 г порошка зеленого тетрафторида урана.

Было решено на всех ОК-7 и ОК-8, т. е. на работающих в каскадах 5000 компрессорах, заменить электродвигатели ДТ «выносными» типа

уже используемых на ОК-9, имеющих керамическую перегородку, выполненную из прессованной резольной смолы, покрытой олифой. Эта перегородка герметично отделила статорный объем электродвигателя от ротора. Кроме того, П. А. Тиссен и В. А. Каржавин предложили проводить общую пассивацию внутренних поверхностей машин всех каскадов вместе с трубопроводами с помощью нагретой фторно-воздушной смеси.

В форсировании процессов коррозии особенно сильным средством является влажный воздух, попадающий (засасываемый) из атмосферы в вакуумный объем машин и коммуникаций. Он проникает в машины при недостаточной герметичности огромного числа (на заводе их десятки тысяч) фланцевых разъемов, уплотняемых специальными вакуумными прокладками.

Если в процессе эксплуатации для ремонта аварийных машин останавливают и вскрывают блоки или каскады, то избавиться от напуска влажного воздуха практически невозможно. Было принято не предусмотренное проектом завода решение о переоборудовании всех помещений каскадов, заключении их в воздухопроницаемые каньоны и установлении шлюзовых запоров. В каньонах должен находиться только сухой (до 1% влажности) воздух. Следовательно, необходимо иметь специальный цех по получению сухого воздуха. Спустя менее года на заводе Д-1 был введен в эксплуатацию такой цех производительностью 40 тыс. м³ сухого воздуха в час. Это огромный объем часовой подачи кондиционированного воздуха. Он равен объему помещения 200x20x10 м. Осушку воздуха осуществляли в силикагелевых фильтрах с помощью компрессоров.

Разводка сухого воздуха по каньонам и его рециркуляция потребовали проложить протяженные громоздкие герметичные воздухопроводы большого сечения, с байпасами и отсечными клапанами. Строители и монтажники работали круглосуточно.

К этим тревожным факторам добавлялись сомнения в достаточной герметичности многочисленных тонкостенных труб разъемных газовых коммуникаций, имевших приварные фланцы. Общая протяженность их на заводе Д-1 достигала нескольких километров.

Следует отметить, что американцы, создавая свой первый диффузионный завод, как пишет Г. Смит в книге-отчете, были тоже не очень уверены относительно допустимой величины коррозионных потерь рабочего газа и обеспечения герметичности протяженных газопроводных коммуникаций. Первоначально они предполагали все трубопроводы выполнять сваркой (без фланцевых соединений) и изготавливать их из чистого никеля. Горьковчане в 1947 г. серьезно обсуждали с научным руководителем вопрос, не применить ли вместо горячекатаных труб сверленные (или расточенные) трубы из поковки, используя технологию артиллерийского производства. Экспериментальная проверка прокатных труб и освоение технологии надежной сварки позволили принять решение о применимости цельнокатаных стальных труб с внутренним гальваническим никелевым покрытием. Но и эти меры оказались недостаточными. Завод работал, а положенной ему продукции не выдавал.

По результатам анализов отборочного конечного продукта уже к середине 1948 г. было установлено, что при существующем комплектовании каскадов машинами ОК-7, ОК-8 и

ОК-9 требуемого обогащенного урана (90%-ного по урану-235) получить нельзя — не хватает разделительного потенциала. Необходимо достроить технологическую схему, дополнительно установив около 1000 разделительных ступеней, не предусмотренных проектом Д-1.

В этой обстановке в августе 1948 г. было предложено установить на высокообогащенном участке завода Д-1 новую, самую малую по производительности (6–8 г/с вместо 30 г/с у ОК-7) концевую мини-ступень, имеющую минимальный объем газового заполнения и предельно малые поверхности, контактирующие с газом. Н. М. Синев предложил эскизную компоновку конструкции такой ступени с высокооборотным (12 тыс. об/мин) компрессором, вращаемым электродвигателем с вынесенным статором, герметично отделенным от роторного объема тонкой (0,15 мм) гофрированной никромовой перегородкой. Коррозионные потери высокообогащенного газа в такой машине будут весьма малы, а коэффициент обогащения урана достаточно высок при использовании плоских фильтров на сниженном на их входе давлении газа (примерно 14 мм рт. ст.) и повышенной (до 4,4) степени его сжатия в компрессоре.

Постановлением Совета Министров СССР от 15 января 1949 г. отмечено, что по данным, представленным научным руководителем И. К. Киконным, на заводе Д-1 выявились не предусмотренные значительные потери рабочего газа — гексафорида урана, снижающие проектную производительность завода на 35–50%. В целях снижения потерь конечного продукта, обеспечения проектной производительности и пуска завода Совет Министров СССР разрешил заменить 896 машин ОК-7

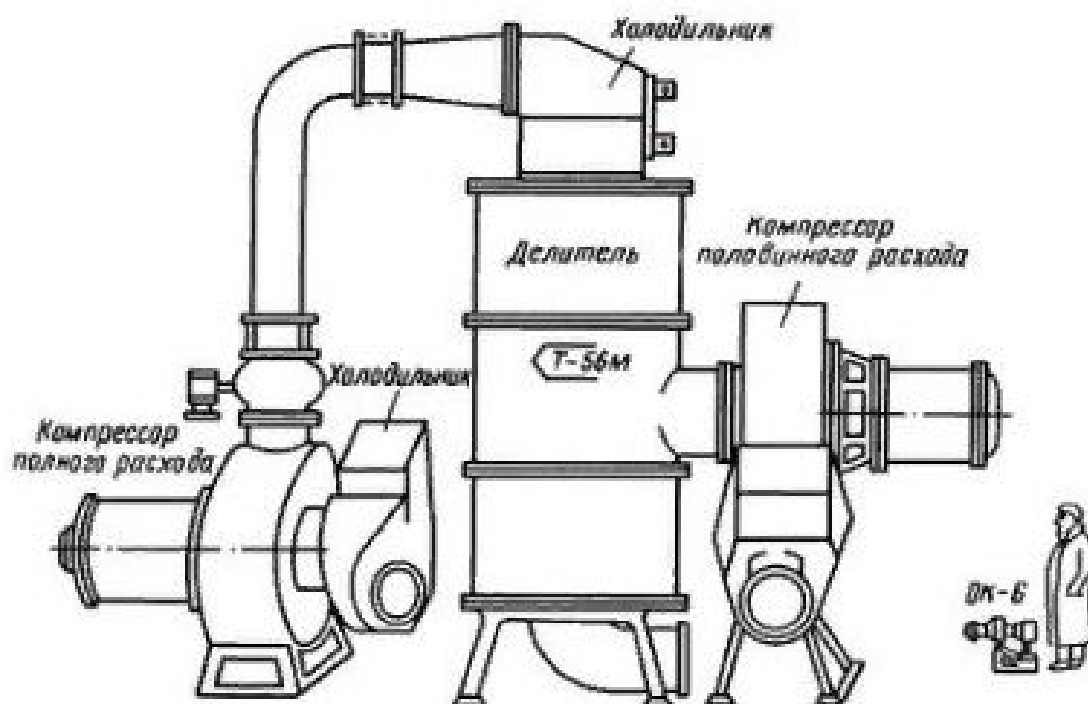


Рис. 3. Самая большая и самая маленькая диффузионные машины (Т-56М и ОК-6)

на 1696 машин ОК-6, смонтировать и сдать их в эксплуатацию к 15 мая 1949 г. Этот срок был выполнен ГМЗ.

Монтаж очень малых по размеру машин ОК-6 производительностью 6–8 г/с (вместо 30 г/с у машины ОК-7), с высокооборотным компрессором на 12 тыс. об/мин внес некоторую сложность в энергоснабжение завода, так как для машины ОК-6 в отличие от всех других машин требовался электрический ток с частотой 200 Гц.

В июне 1949 г. смонтированные каскады с машинами ОК-6 были включены в технологическую цепочку и позволили в середине 1949 г. осуществить двухцикловой режим работы завода, т. е., пропуская повторно через концевые каскады обогащенный газ, получить первый продукт 75%-ного обогащения. Всего потребовалось изготовить около 1600 машин ОК-6.

Итак, завод Д-1 имел 56 каскадов, из них 1520 ступеней, состоящих из

машин ОК-6, 2016 ступеней — из машин ОК-7, 2160 ступеней — из машин ОК-8, 1344 ступени — из машин ОК-9. Для поддержания низкой (до 10°C) температуры охлаждающей воды на заводе была срочно сооружена холодильная аммиачная установка, однако при этом коррозионные потери на машинах ОК все еще были велики: они в 2,5–3 раза превышали проектное значение. Было ясно, что расчетную мощность завода Д-1 можно получить только после замены электродвигателей на всех компрессорах машин ОК. Эта гигантская работа легла на плечи поставщика — Горьковского машиностроительного завода и персонала эксплуатационников уникального завода. Переоборудование было завершено только через год.

Для оценки состояния завода и принятия срочных мер по его вводу и нормальной эксплуатации в конце сентября 1949 г. на пусковой объект прибыли специальным поездом шеф

проблемы – заместитель Председателя Совета Министров СССР Л. П. Берия, начальник ПГУ Б. Л. Ванников, А. М. Петросьянц и др.

Три вагона этого поезда были отцеплены и установлены на железнодорожных путях напротив здания дирекции завода. Началось разбирательство... Оно проходило как на шумных совещаниях, так и методом персонального опроса-допроса. В вагон поочередно вызывались руководители стройки, представители службы эксплуатации завода, ведущие сотрудники научных и технических подразделений. Однако к этому времени обстановка на пусковом объекте в целом прояснилась. Было ясно, что нужно делать. Многочисленные решения, предложенные специалистами, позволили смягчить или отвести угрозу расправы и получить общий вотум доверия Правительства в лице всемогущего строгого шефа Л. П. Берия.

Шефом было принято правильное решение о серьезном укреплении научного руководства на объекте. Заместителем научного руководителя завода был назначен металлофизик профессор М. В. Якутович, переведенный из Свердловского отделения АН СССР, заместителем начальника ЦЗЛ – электрохимик из Свердловского университета профессор С. В. Карпачев. Из Сухумского НИИ вскоре были переведены высокоэрудированный и опытный физико-химик профессор В. А. Каржавин, физико-масс-спектрометрист Н. А. Шеховцев и др. В ЦЗЛ были переведены ученые из Свердловска: физик С. К. Сидоров, химики Ю. В. Карякин, Б. Н. Лундин.

Решения касались и администрации завода: директор А. Л. Кизима был снят с должности как несправив-

шийся, А. И. Чурин стал снова директором, а М. П. Родионов – главным инженером завода. Начальником производства (по эксплуатации) был выдвинут прошедший трудную школу освоения машин ОК-8 начальник цеха средних машин Н. В. Алявдин.

В 1950 г. после комплектования завода машинами ОК-6 и замены всех двигателей ТД на машинах ОК-7 и ОК-8, а также проведения пассивирующей обработки внутренних поверхностей и пористых фильтров всех машин, полного ввода в эксплуатацию холодильной станции для подачи охлаждающей воды низкой (8–10°C) температуры, цеха сухого воздуха, наконец, была налажена нормальная эксплуатация завода Д-1 и был обеспечен выпуск конечного продукта вначале 75%-ного, а затем 90%-ного обогащения в заданном проекте количестве.

Но в 1948 г. более 75%-ного обогащения по изотопу уран-235 на комбинате № 813 в Верх-Нейвинске получить не удавалось. Между тем для второго экземпляра ядерной бомбы нужен был высокообогащенный уран с 94%-ным обогащением по урану-235. Вот тут на помощь пришел завод № 418, где сооружалась электромагнитная установка под научным руководством Л. А. Арцимовича.

Уже отмечалось, что для получения высокообогащенного урана было принято решение начать освоение двух методов: диффузионного под научным руководством И. К. Кикона и электромагнитного под научным руководством Л. А. Арцимовича.

Оба эти предприятия были расположены на Урале, в Свердловской области, создание их курировал заместитель начальника ПГУ А. М. Петросьянц. В Лаборатории № 2 под

руководством Л. А. Арцимовича было организовано крупное подразделение с привлечением специалистов академических организаций и промышленных предприятий. Особо важную роль играл завод «Электросила» в Ленинграде с участием ОКБ завода и его руководителя Д. В. Ефремова.

Под руководством Л. А. Арцимовича и с участием Д. В. Ефремова было спроектировано, сконструировано и изготовлено все специальное оборудование для строительства завода № 418 в г. Лесном в Свердловской области.

Завод № 418 представлял собой крупнейшую электромагнитную установку для получения методом электромагнитного разделения изотопов урана и его обогащения ураном-235.

Масса всей электромагнитной установки составляла 6000 т, причем вся она приходилась собственно на электромагнит, что поражало всех причастных к этому проекту. Так, масса магнита для циклотрона в РИАН составляла лишь несколько тонн, масса магнита циклотрона, сооруженного для Лаборатории № 2, — 75 т, а здесь 6000 т, т. е. в 80 раз больше. Такие масштабы не могли не удивлять специалистов, тем более что все это создавалось в самые тяжелые послевоенные годы разрухи.

Все основное оборудование было изготовлено на заводе «Электросила» в Ленинграде, еще только восстанавливаемом после блокады. Для размещения магнита в его вертикальном исполнении было построено специальное многоэтажное здание, на пяти этажах которого располагались двадцать специально разработанных камер, в которых смонтированы все необходимые системы для осуществления процесса разделения изотопов урана. Камеры сложной конструкции изготовлены из

дорогостоящей латуни, обеспечивающей необходимую плотность для удержания высокого вакуума 10^{-6} мм рт. ст. (что удивительно, если иметь в виду состояние техники тех времен). При этом надо отметить, что общая масса камер составляла более 1000 т.

Электромагнитный метод разделения изотопов урана, несмотря на всю сложность, высокую стоимость используемых металлов, требование высокого качества и технологии исполнения, обеспечивал:

высокий коэффициент разделения изотопов в одном цикле;

возможность обогащения всех изотопов разделяемого элемента в одной разделительной установке;

автономность отдельных разделительных установок;

возможность разделения очень малых количеств вещества.

В то же время он имел и существенные недостатки:

малую производительность и незначительный коэффициент использования вещества в одном цикле разделения;

наличие значительных безвозвратных потерь разделяемого вещества;

большое энергопотребление;

большие эксплуатационные затраты.

И все же, несмотря на эти недостатки, не позволившие освоению впервые в нашей стране методу электромагнитного разделения изотопов урана стать основным используемым в промышленности методом разделения и получения высокообогащенного урана, он сыграл важную и фактически решающую роль в создании первой советской ядерной бомбы, начиненной высокообогащенным ураном. Так, полученный в 1948 г. на заводе № 813 уран с 75%-ным обогащением был передан на дообогащение на завод № 418, где и был дове-

руководством Л. А. Арцимовича было организовано крупное подразделение с привлечением специалистов академических организаций и промышленных предприятий. Особо важную роль играл завод «Электросила» в Ленинграде с участием ОКБ завода и его руководителя Д. В. Ефремова.

Под руководством Л. А. Арцимовича и с участием Д. В. Ефремова было спроектировано, сконструировано и изготовлено все специальное оборудование для строительства завода № 418 в г. Лесном в Свердловской области.

Завод № 418 представлял собой крупнейшую электромагнитную установку для получения методом электромагнитного разделения изотопов урана и его обогащения ураном-235.

Масса всей электромагнитной установки составляла 6000 т, причем вся она приходилась собственно на электромагнит, что поражало всех причастных к этому проекту. Так, масса магнита для циклотрона в РИАН составляла лишь несколько тонн, масса магнита циклотрона, сооруженного для Лаборатории № 2, — 75 т, а здесь 6000 т, т. е. в 80 раз больше. Такие масштабы не могли не удивлять специалистов, тем более что все это создавалось в самые тяжелые послевоенные годы разрухи.

Все основное оборудование было изготовлено на заводе «Электросила» в Ленинграде, еще только восстанавливаемом после блокады. Для размещения магнита в его вертикальном исполнении было построено специальное многоэтажное здание, на пяти этажах которого располагались двадцать специально разработанных камер, в которых смонтированы все необходимые системы для осуществления процесса разделения изотопов урана. Камеры сложной конструкции изготовлены из

дорогостоящей латуни, обеспечивающей необходимую плотность для удержания высокого вакуума 10^{-6} мм рт. ст. (что удивительно, если иметь в виду состояние техники тех времен). При этом надо отметить, что общая масса камер составляла более 1000 т.

Электромагнитный метод разделения изотопов урана, несмотря на всю сложность, высокую стоимость используемых металлов, требование высокого качества и технологии исполнения, обеспечивал:

высокий коэффициент разделения изотопов в одном цикле;

возможность обогащения всех изотопов разделяемого элемента в одной разделительной установке;

автономность отдельных разделительных установок;

возможность разделения очень малых количеств вещества.

В то же время он имел и существенные недостатки:

малую производительность и незначительный коэффициент использования вещества в одном цикле разделения;

наличие значительных безвозвратных потерь разделяемого вещества;

большое энергопотребление;

большие эксплуатационные затраты.

И все же, несмотря на эти недостатки, не позволившие освоению впервые в нашей стране методу электромагнитного разделения изотопов урана стать основным используемым в промышленности методом разделения и получения высокообогащенного урана, он сыграл важную и фактически решающую роль в создании первой советской ядерной бомбы, начиненной высокообогащенным ураном. Так, полученный в 1948 г. на заводе № 813 уран с 75%-ным обогащением был передан на дообогащение на завод № 418, где и был дове-

В краткой статье невозможно рассказать обо всех, кто принимал участие в этой героической эпопее, но имена некоторых назвать необходимо.

Чурин Александр Иванович – начал работать директором строящегося Комбината с апреля 1946 г., оставив пост главного инженера Уралэнерго в Свердловске. Внес особо большой вклад в строительство Комбината № 813, ввод в эксплуатацию, в освоение сложного диффузионного оборудования и получение конечного продукта. Впоследствии стал первым заместителем министра среднего машиностроения. Лауреат Ленинской и Государственных премий СССР, Герой Социалистического Труда.

Родионов Михаил Петрович – прибыл на Комбинат № 813 в октябре 1946 г., оставив пост главного энергетика Уралмашзавода им. Орджоникидзе в Свердловске, работал главным инженером Комбината, а в марте 1955 г. стал директором Комбината № 813. Будучи исключительно эрудированным инженером, М. П. Родионов был выдвинут впоследствии директором крупного научного центра под Москвой, в Обнинске, – Физико-энергетического института (ФЭИ).

Летевин Григорий Георгиевич – на Комбинате с первых дней 1947 г. Работал начальником цеха так называемых малых компрессоров диффузионного производства. Получил первую готовую продукцию. Лауреат Государственных премий СССР.

Жигаловский Борис Всеволодович – начал работу в период строительства Комбината. Создатель ставшей впоследствии классической теории построения схем обогащательных газодиффузионных заводов. За-



М. П. Родионов

меститель главного инженера Комбината № 813 по науке. Доктор технических наук, профессор. Заслуженный деятель науки и техники. Лауре-



Б. В. Жигаловский

ат Государственных премий СССР. Имеет правительственные награды.

Харитонов Петр Петрович – на Комбинате с начала 1948 г. Под его руководством и при его непосредственном участии проделана огромная и очень сложная работа по усовершенствованию основного диффузионного оборудования и его технологии. Кандидат технических наук. Лауреат Государственных премий СССР. Имеет правительственные награды.

Савчук Андрей Иосифович – начав работать в поселке Верх-Нейвинске с 1947 г. инженером, прошел путь до директора Комбината № 813, которым бессменно руководил почти 30 лет. Доктор технических наук. Лауреат Государственных премий СССР. Имеет правительственные награды. Герой Социалистического Труда.

Батаева Анна Григорьевна – на Комбинате с первых дней 1948 г. Аппаратчик в цехах основного, диффузионного производства. Принимала непосредственное участие в монтаже, наладке оборудования и пуске цехов. В числе первых награждена орденом Ленина и другими наградами.

Тиханов Сергей Григорьевич – начал работу с ноября 1946 г. Принимал участие в отладке многих видов диффузионного оборудования и пуске основных технологических цехов. Начальник основного объекта № 47. Имеет ряд правительственных наград и поощрений.

Израилевич Иосиф Семенович – начал работать лаборантом в ЦЗЛ. Один из основных создателей лаборатории физических методов исследования пористых сред, очень важного компонента для диффузионного производства. Доктор технических наук. Лауреат Ленинской и Государственных премий СССР.



А. И. Савчук

Бортников Иван Николаевич – на Комбинате № 813 с января 1947 г., работал главным механиком, начальником основных цехов. Внес большой вклад в ревизию основного оборудования в период его освоения. Лауреат Государственных премий СССР, Герой Социалистического Труда. Позднее был директором аналогичного производства в Сибири.

Алейников Борис Федорович – на Комбинате № 813 с первых месяцев 1947 г. В течение многих лет руководил Управлением непрерывного производства (основного). Лауреат Государственной премии СССР.

Якутович Михаил Васильевич – заместитель директора Комбината по научной работе. Доктор физико-математических наук, профессор. Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР. Имеет правительственные награды.

Каржавин Всеволод Александрович – прибыл на Комбинат в конце 1948 г. Внес большой вклад в созда-

ние методов антикоррозионной защиты основного оборудования, в разработку фильтров диффузионных машин. Доктор технических наук, профессор. Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР. Имеет правительственные награды.

Боженко Сергей Дмитриевич — на Комбинате № 813 с 1948 г. Электромонтер высшей квалификации. Внес очень большой личный вклад в успешную работу электрооборудования диффузионных насосов. Герой Социалистического Труда.

Карпачев Сергей Васильевич — возглавлял Центральную заводскую лабораторию. Доктор химических наук, профессор. Лауреат Государственной премии СССР. Впоследствии стал ректором Государственного университета в Свердловске.

Халилеев Павел Акимович — на Комбинате с 1947 г. В годы становления Комбината — руководитель ЦЗЛ. Лауреат Ленинской и Государственной премий СССР.

Фадеев Герман Андреевич — прибыл на Комбинат в начале 1948 г. Участвовал в наладке диффузионных цехов. Герой Социалистического Труда.

Шеховцев Николай Архипович — широко известный в стране специалист в области масс-спектрометрии. Доктор технических наук. Руководитель лаборатории по масс-спектрометрии в ЦЗЛ. Лауреат Ленинской и Государственных премий СССР. Впоследствии был директором Института ядерного приборостроения в Москве.

Морохов Игорь Дмитриевич — на Комбинате с марта 1948 г. Начал работу у пульта первого основного цеха. Был главным диспетчером основного производства, прошел путь до директора Комбината № 813. До-



И. Д. Морохов

ктор технических наук. Лауреат Ленинской и Государственных премий СССР. Позднее был заместителем председателя Государственного комитета по использованию атомной энергии СССР.

Шеенков Михаил Петрович — аппаратчик цехов непрерывного производства с 1948 г. Герой Социалистического Труда.

Грошев Алексей Егорович — с 1948 г. участвовал в освоении, пуске и эксплуатации цехов диффузионного производства. В числе первых награжден орденом Ленина.

Ахмадеев Вахим Мухаметшанович — один из лучших электровакуумщиков, участник пуска завода Д-1. Награжден орденом Ленина.

Карякин Юрий Викторович — доктор технических наук, профессор, известный специалист в области аналитической химии. Лауреат Государственной премии СССР.

Новошенин Виктор Федорович — внес большой вклад в становление

и развитие диффузионного производства. Начальник цеха 24. Впоследствии директор аналогичного производства в Сибири.

Лаповок Владимир Натанович – кандидат технических наук, один из основных разработчиков фильтров новой конструкции. Лауреат Ленинской премии.

Голын Юрий Леонидович – доктор технических наук, профессор, главный специалист. Заслуженный изобретатель России. Лауреат Ленинской и Государственных премий СССР.

Вспоминая участников этой героической эпопеи, мы в какой-то степени, пусть очень малой, отдаем им дань уважения.

*
* *

Талант и доблестный самоотверженный труд ученых, конструкторов, проектировщиков, технологов, производственников, строителей, монтажников и эксплуатационников позволили овладеть диффузионным методом обогащения урана и создать в короткие сроки первый в стране диффузионный завод.

Несмотря на то что научные и технические сложности всего комплекса диффузионной технологии были чрезвычайно велики, СССР без всякой помощи извне овладел этим методом, выпустив первую продукцию в 1949 г. (Д-1), в то время как Великобритания смогла это сделать лишь в 1956 г. (завод в Кейпенхерсте), а Франция – в 1967 г. (завод в Пьерлате).

Спустя десять лет в СССР был разработан новый метод центрифужной технологии, более сложный по сравнению с диффузионным и, самое главное, гораздо более экономичный. Причем этот метод был освоен нами в промыш-

ленном масштабе на много лет раньше, чем на западе, и, что самое поразительное, технология центрифуг, разработанная в нашей стране в то время, является и сегодня, в 1995 г., наиболее совершенной.

Ныне уже работает пятое поколение центрифуг с производительностью, в 5 раз большей производительности первых моделей. Созданная технология не требует регламентных ремонтов основного оборудования в течение 15 лет непрерывной работы. Уровень отказов центрифуг составляет 0,2% в год. И все же дальнейшее совершенствование продолжается.

Мы уже приводили слова американского ученого Г. Д. Смита: «Вероятно, больше чем какая-либо другая группа в Манхэттенском проекте, группа, работавшая над газовой диффузией, заслуживает награды за храбрость и настойчивость, так же как и за научные и технические дарования...»

Эту оценку деятельности американских специалистов мы целиком и полностью должны отнести в адрес и наших советских специалистов, овладевших диффузионным методом разделения изотопов урана в промышленном масштабе в очень короткие сроки. Причем все это осуществлялось в тяжелейшие послевоенные годы в разрушенной и разоренной немецкими войсками стране.

Честь и слава нашим труженикам-первопроходцам, создавшим невиданную передовую технику из своих отечественных материалов и оборудования.

Наличие ядерного оружия обеспечивает мирную жизнь нашей стране, нашему народу в течение вот уже 50 лет.