

СОДЕРЖАНИЕ

УРАН ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	1
ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРВЫХ ПРЕПАРАТОВ ПЛУТОНИЯ	4
ТЕПЛО ВЫДЕЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	5
ПЕРВЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УРАН-ГРАФИТОВЫЙ РЕАКТОР Ф-1	7
ПЕРВЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЯЖЕЛОВОДНЫЙ РЕАКТОР	9
ПЕРВЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ УРАН-ГРАФИТОВЫЙ РЕАКТОР А.....	11
ОБОГАЩЕННЫЙ УРАН.....	12
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СЕПАРАТОР ИЗОТОПОВ СУ-20	14
ПЕРВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АТОМНАЯ БОМБА РДС-1	16
ПЕРВАЯ В МИРЕ ВОДОРОДНАЯ БОМБА РДС-6С	18
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПОЛИГОН РОССИИ	20
САМАЯ МОЩНАЯ В МИРЕ ТЕРМОЯДЕРНАЯ БОМБА.....	22
ПЕРВАЯ СОВЕТСКАЯ РАКЕТА С ЯДЕРНОЙ БОЕГОЛОВКОЙ	24
РАКЕТА ДЛЯ СУПЕРБОМБЫ	26
РАКЕТЫ МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ	28
КОМПЛЕКС КОНВЕЙЕРНОЙ СБОРКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ.....	30
ХРАНИЛИЩЕ СПЕЦИЗДЕЛИЙ	31
НЕОБЫКНОВЕННОЕ ОЗЕРО	32
УСТАНОВКА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРА НА ГАЗОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ.....	33
ПОДВОДНАЯ ЛОДКА «ЛЕНИНСКИЙ КОМСОМОЛ».....	34
АТОМНЫЕ ПОДВОДНЫЕ ЛОДКИ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ	36
АТОМНАЯ ПОДВОДНАЯ ЛОДКА ПРОЕКТА 661.....	37
АТОМНЫЕ ПОДВОДНЫЕ ЛОДКИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ	38
ТЯЖЕЛЫЙ АТОМНЫЙ РАКЕТНЫЙ КРЕЙСЕР	39
АТОМНЫЙ САМОЛЕТ-СНАРЯД.....	41
ПЕРВАЯ В МИРЕ АЭС	43

ПЕРВЫЙ В МИРЕ ДВУХЦЕЛЕВОЙ РЕАКТОР ЭИ-2.....	44
ЛЕНИНГРАДСКАЯ АТОМНАЯ СТАНЦИЯ	45
ПЕРВЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ РЕАКТОР НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ БР-1	47
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ВЫСОКОПОТОЧНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ РЕАКТОР ИБР-2	48
ШЕВЧЕНКОВСКАЯ АЭС.....	50
БЕЛОЯРСКАЯ АЭС	51
НОВО-ВОРОНЕЖСКАЯ АЭС	52
ВЫСОКОПОТОЧНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР СМ-2.....	53
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР «МИР»	54
АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ «ЛЕНИН»	55
АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ «АРКТИКА»	56
АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ТЭС-3	58
ТЕРМОЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ.....	59
СИНХРОТРОН НА ЭНЕРГИЮ 680 МЭВ	61
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЧАСТИЦ	63
УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ЭНЕРГИЮ 70 ГЭВ.....	64
СЕРИЯ КЛАССИЧЕСКИХ ЦИКЛОТРОНОВ	66
ИЗОХРОННЫЙ ЦИКЛОТРОН МГЦ-20.....	68
ЛИНЕЙНЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ	69
ЛИНЕЙНЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	70
ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	72
ЯДЕРНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ	73
БЛОКИ ОБОГРЕВА ДЛЯ ЛУНОХОДОВ.....	75
ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА «РОМАШКА»	76
ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ	77
КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ВЕГА».....	79
ИЗОТОПНЫЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ	81
АТОМГРАДЫ	83
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА.....	85

УРАН ДЛЯ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

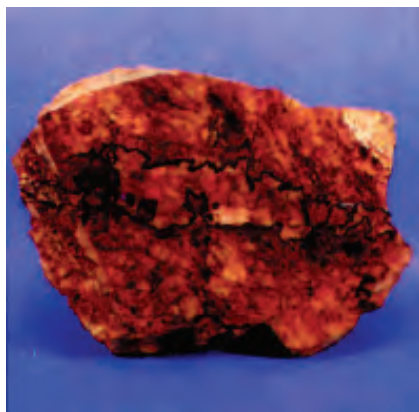
В XVIII веке в Рудных горах Саксонии в районе города Яхимова был найден смолянисто-черный минерал, который сначала принимали то за железную, то за цинковую, то за вольфрамовую руду. В 1789 г. немецкий химик М.Г. Клапрот обнаружил в нем новый химический элемент, который он назвал «уран» в честь открытой незадолго до этого планеты Уран. Урановая смолка из Яхимова была практически единственным исходным материалом для приготовления соединений урана, применявшихся в стеклоделии (получение уранового стекла, флуоресцирующего желтовато-зеленым цветом), в красильной промышленности (получение светящихся красок) и в фотографии (усиление негативов).

Открытие в 1896 г. А. Беккерелем природного излучения урана, а в 1898 г. М. Склодовской-Кюри и П. Кюри наличия в урановых и ториевых (открыты в 1829 г. Берцелиусом) рудах химического элемента с большей интенсивностью излучения - «радия», положили начало обширным работам по изучению явления радиоактивности и поиску урановых руд во многих странах мира. Этот интерес к урану и радию не обошел и Россию. Он особенно усилился после того, как в 1900 г. И.А. Антиповым и Б.Г. Карповым были обнаружены чешуйчатые налеты хальколита, или медного уранита в образцах минерала кальцита из предгорий Алая (Ферганская область).

В 1904 г. первые поиски залежей урановой руды в Средней Азии увенчались успехом. Горным инженером Х.И. Антуановичем было открыто Тюямуюнское месторождение и в 1908 г. начата его разработка на уран и ванадий.

После 1910 г. по инициативе В.И. Вернадского Российской Академией наук были организованы геологические экспедиции на Урал, Кавказ, в Забайкалье, Фергану и в другие регионы страны. Начавшаяся первая мировая война, затем революция и гражданская война на время приостановили изучение радиоактивности в России, но уже в апреле 1918 г. при поддержке Правительства были возобновлены работы по переработке Тюямуюнской руды. 1 декабря 1921 г. В.Г. Хлопиным и М.А. Пасвик были получены первые препараты отечественного радия.

В 1922 г. была возобновлена работа геологических партий. И хотя до середины 40-х годов специальных поисков месторождений урана не проводилось, советскими геологами С.Ф. Машковцевым, Б.Н. Наследовым, И.П. Новохатским, Я.К. Писарчиком, А.А. Данильянцем,



Урановая руда в породе



Добыча руды в карьере Меловой



Добыча руды в карьере Меловой

В.И. Поповым, А.А. Осиповым, Э.П. Горшковым, И.К. Рудаковским, В.Г. Мелковым были открыты четыре новых урановых месторождения: Табошарское (1925, Таджикистан), Майлисуйское (1934, Киргизия), Уйгурсайское (1938, Киргизия) и Адрасманское (1940, Таджикистан), а общие запасы руды в пересчете на металл оценивались в 500 т.

Для решения задачи военного использования ядерной энергии, к которой СССР приступил вслед за Германией, Англией и США, добывавшейся урановой руды было недостаточно. 27 ноября 1942 г., в самом начале работ по Атомному проекту, Государственный комитет обороны СССР принимает постановление о расширении добычи и переработки руд Табошарского месторождения.

С этой целью в Комитете по делам геологии при СНК СССР создается специальный Отдел радиоактивных элементов (начальник Ф.М. Малиновский), а во Всесоюзном институте минерального сырья - специальный сектор № 6 (заведующий Д.И. Щербаков). В декабре 1944 г. к работам по добыче и переработке урановых руд подключается Наркомат внутренних дел, в составе которого организуется Специальное металлургическое управление (начальник С.Е. Егоров), образуется Научно-исследовательский институт № 9 (начальник В.Б. Шевченко). Основной задачей института являлось изучение урановых месторождений СССР и разработка технологии получения металлического урана из руд этих месторождений. На базе действующих рудников и заводов Наркомцветмета в Средней Азии создается Комбинат № 6 (начальник Б.Н. Чирков).

В августе 1945 г. руководство работами по созданию и развитию сырьевой базы зарождающейся атомной промышленности возлагается на заместителя начальника Первого главного управления при СНК СССР П.Я. Антропова. По его инициативе и поддержке создается комплексная экспедиция во главе с А.А. Сауковым и постоянно действующая геологическая

станция во главе с Ф.И. Вольфсоном. Руководством ПГУ (Б.Л. Ванников, А.П. Завенягин и др.) был предпринят целый ряд мер, позволивших поднять выпуск продукции Комбината № 6 с 2 т в 1944 г. до 103 т урана в 1948 г.

Но этого количества урана было недостаточно для наработки оружейного плутония на первом промышленном реакторе и получения обогащенного урана газодиффузионным и электромагнитными методами на строившихся под Свердловском заводах.

Для преодоления отставания добычи урановой руды от быстро и постоянно растущих потребностей промышленности, был организован широкий фронт поисковых работ. На территории СССР за период с 1945 по 1955 гг. было открыто 22 промышленных месторождения урана, а общие запасы урана в СССР составили 28 тыс. т.

В ноябре 1944 г. были начаты планомерные геолого-поисковые и разведочные работы на уран в Болгарии, в августе-сентябре 1945 г. в Чехословакии и Германии, позднее в Румынии, Польше, Венгрии, Китае и других странах. Правительством СССР были заключены долгосрочные соглашения с этими государствами о совместной разведке и разработке радиоактивных руд и поставках урановой продукции Советскому Союзу. За период с 1945 по 1955 гг. в странах Восточной Европы с помощью советских специалистов было открыто, разведано и передано в эксплуатацию более 50 месторождений урана с общими запасами 84 тыс. т.

Успешное решение «сырьевой» проблемы позволило в рамках Атомного проекта достичь основной цели - создания ядерного оружия. В 1949 г. за самоотверженный труд по созданию новой отрасли промышленности С.П. Александров, Б.Н. Чирков, С.С. Панчев, И.К. Кузнецов, М.М. Мальцев, Р.В. Нифонтов, Н.М. Эсакия стали Героями Социалистического Труда.

С середины 50-х годов, после пуска первой в мире АЭС, и особенно в начале 60-х годов, когда была принята программа широкого строительства атомных электростанций, потребность в уране снова резко возросла. Это повлекло за собой внедрение новых технологий переработки урановых руд и способствовало дальнейшей разведке месторождений.

В 1963 г. на юго-востоке Читинской области геологоразведочной партией 324-й Сосновской экспедиции под руководством главного геолога Л.П. Ищуковой было открыто промышленное урановое оруднение. Для его разработки решением Правительства СССР в 1968 г. был образован Приаргунский горно-химический комбинат. Уже с самого начала опытной разработки рудных залежей стало ясно, что высокая радиоактивность руд и обильное выделение радона в горных выработках не позволяет использовать для его добычи традиционные технологии, широко применявшиеся как на урановых предприятиях СССР, так и в других странах.

Специалистами комбината совместно с учеными институтов ПромНИИпроект и ВНИИХТ были разработаны радиационно-безопасные технологии, заключающиеся в широкомасштабном применении на рудниках комбината систем добычи урана нисходящей горизонтальной слоевой выемкой и закладкой выработанного пространства твердеющей смесью.

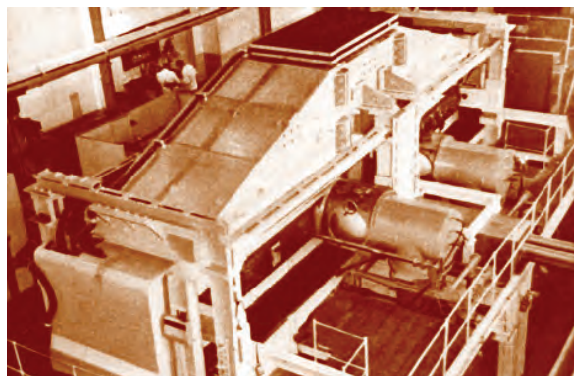
Сегодня ПАО «Приаргунское производственное горно-химическое объединение» является крупнейшим уранодобывающим предприятием России. Готовой продукцией предприятия является закись-окись урана — U_3O_8 .

ПОЛУЧЕНИЕ ПЕРВЫХ ПРЕПАРАТОВ ПЛУТОНИЯ

В 1943 г. перед учеными нашей страны была поставлена задача выделения плутония из облученного урана. В 1944 г. после переработки образцов урана, облученных радий-бериллиевым нейтронным источником, Б.В. Курчатову с сотрудниками удалось выделить препарат, обладающий альфа-излучением, и первыми получить индикаторные количества плутония. Позднее был разработан лантан-сульфатный метод выделения плутония из растворов урана, облученного на циклотроне. По этому методу в Лаборатории № 2 в 1946 г. было выделено несколько микрограммов плутония.

В 1946-1947 гг. в НИИ-9 была создана полупромышленная установка № 5, которая предназначалась для выделения микроколичеств плутония и проверки технологического процесса отделения плутония от урана и продуктов деления. К концу первого полугодия 1947 г. после переработки сотен килограммов облученного урана на установке № 5 удалось сконцентрировать плутоний сначала в количестве десятков микрограмм, а затем в миллиграммовых количествах. Летом 1947 г. на установке № 5 при обработке облученного урана впервые в нашей стране был получен концентрат плутония. В августе 1947 г. группа В.Д. Никольского приступила к выделению плутония из концентратов.

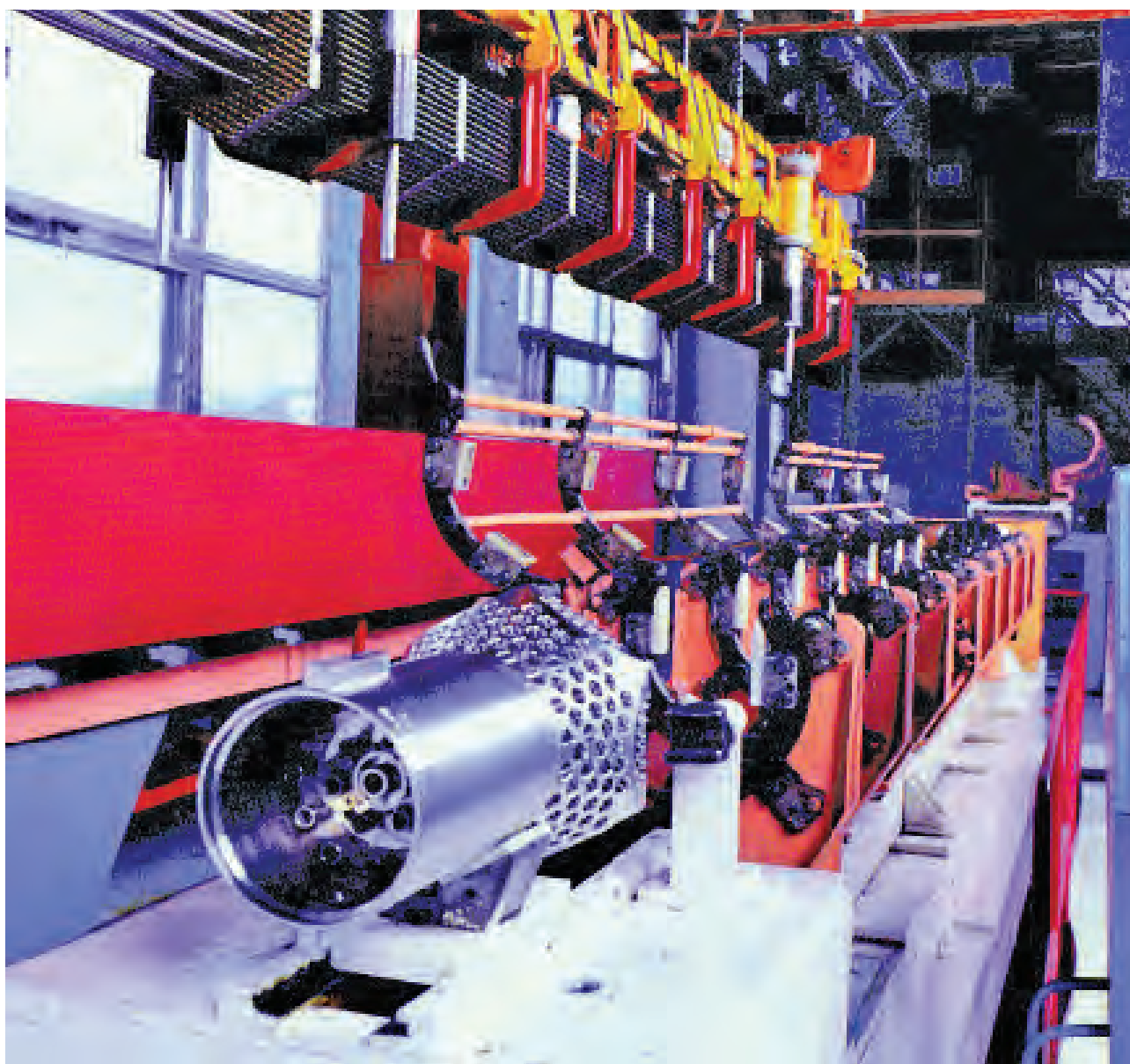
Первый препарат плутония в количестве 73 микрограммов был получен глубокой ночью 18 декабря 1947 г. Р.Е. Картушевой, М.Е. Пожарской, А.В. Елькиной и К.П. Луничкиной. Трехвалентный плутоний был светло-голубого цвета. На следующий день первый препарат плутония, полученный впервые в нашей стране в весовых количествах, был передан в Лабораторию № 2 И.В. Курчатову. Получение первых весовых количеств плутония способствовало ликвидации монополии США в области ядерного оружия.



1. И.В. и Б.В. Курчатовы
2. Установка №5
3. Борис Курчатов с сотрудниками в лаборатории

ТЕПЛОВЫДЕЛЯЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ДЛЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКТОРОВ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Наиболее ответственными и самыми напряженными конструкциями ядерных реакторов АЭС и ядерно-энергетических установок являются тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы). Оболочка твэла является первым и, по сути дела, самым главным барьером, обеспечивая локализацию большого количества радиоактивных продуктов деления внутри герметичного объема и предохраняя попадание их во внутриреакторное пространство и окружающую среду. Ресурс работы твэлов в зависимости от типов реакторов составляет от 1,5 до 5 лет.



Линия сборки ТВС

Создание твэлов явилось очень серьезной проблемой, требующей решения большого комплекса материаловедческих задач, детального изучения физико-химических, физико-механических и теплофизических процессов и явлений, протекающих при эксплуатации твэлов. Необходимо было глубокое понимание взаимосвязи этих процессов с рабочими параметрами твэла и технологией его производства. Твэлы, выпускаемые в настоящее время промышленностью России, отвечают лучшим мировым достижениям.

Первые работы по промышленному получению блоков металлического урана в герметических оболочках, предшественников твэлов, были начаты в феврале 1946 г. на бывшем заводе боеприпасов под Москвой (ПАО «Машиностроительный завод», г.Электросталь). В течение второй половины 1946 г. заводом было выпущено около 45 тонн неочехлованных изделий из металлического урана и спрессованных из двуокиси урана, которых было достаточно для постройки первого физического реактора Ф-1. В первой половине 50-х годов завод приступил к изготовлению трубчатых твэлов дисперсионного типа для первой в мире АЭС. В качестве топливной композиции использовалась крупка сплава урана с 9 % молибдена в магниевой матрице. Оболочки твэлов изготавливались из нержавеющей стали с повышенной радиационной стойкостью и высокой сопротивляемостью межкристаллической коррозии. Расширение программы строительства атомных электростанций, исследовательских реакторов, ядерно-энергетических установок для транспортных целей потребовали не только проведения дополнительных исследований в направлении совершенствования конструкционных и топливных материалов, но и принципиально нового подхода к организации производства.

В начале 1960-х годов специалистами Минсредмаша была разработана и внедрена на Московском заводе полиметаллов технология газоплазменной конверсии гексафторида урана в диоксид урана на установках типа «Сатурн» с получением порошка керамического сорта, который использовался при производстве топливных таблеток.

На заводе в г. Электростали была смонтирована автоматизированная линия производства твэлов. Одним из главных ее элементов стал автомат для оригинальной контактно-стыковой сварки твэлов. Сама технология сварки была разработана во ВНИИНМе им. А.А. Бочвара, а автоматы для ее реализации были спроектированы и изготовлены на Ленинградском заводе «Электрик».

В начале 70-х годов производство твэлов и тепловыделяющих сборок (ТВС) было развернуто на Новосибирском заводе химконцентратов, а производство топливных таблеток на Усть-Каменогорском заводе. Весомый вклад в становление и развитие работ по созданию и промышленному производству тепловыделяющих элементов, топливных и конструкционных материалов для активных зон АЭС и ядерно-энергетических установок внесли А.А. Бочвар, Н.П. Агапова, С.Т. Конобеевский, В.А. Малых, Р.С. Амбарцумян, А.М. Глухов, А.Н. Вольский, А.С. Займовский и др.

ПЕРВЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УРАН-ГРАФИТОВЫЙ РЕАКТОР Ф-1

Первый в СССР исследовательский уран-графитовый реактор Ф-1 был создан и пущен в Лаборатории № 2 (ныне НИЦ «Курчатовский институт») под руководством академика И.В. Курчатова 25 декабря 1946 г. Этот ядерный реактор был предназначен для экспериментальной проверки условий осуществления цепной реакции деления, а также получения плутония в уран-графитовых системах. Активная зона реактора Ф-1 представляла собой сферу диаметром 6 м, набранную из графитовых блоков квадратного сечения с отверстиями в центре, в которые загружалось ядерное топливо в виде блочков цилиндрической формы из металлического урана или его соединений, очехлованных в оболочку из алюминиевого сплава. Для сооружения реактора потребовалось изготовить свыше 50 т урана и 500 т графита невиданной в то время чистоты примеси (примесь бора составляла миллионные доли). Изготовление урана и графита с исключительно низким содержанием нейтронопоглощающих примесей оказалось сложной научно-технической задачей и потребовало больших усилий советских ученых и производственников по разработке специальных технологий. Реактор Ф-1, как правило, работал на уровнях тепловой мощности в несколько десятков киловатт. Однако несколько раз реактор выводился на мощность до 4 МВт для ускорения накопления микрограммовых количеств плутония-239 и исследования свойств этого нового элемента.



Первый исследовательский уран-графитовый реактор Ф-1



Здание, где размещался первый исследовательский уран-графитовый реактор Ф-1

На реакторе Ф-1 под руководством И.В. Курчатова были выполнены уникальные нейтронно-физические исследования для обоснования проектов разрабатываемых промышленных уран-графитовых реакторов. В первую очередь, были проведены измерения ядерных констант, которые являлись решающими при расчетном определении величины критической массы, коэффициента размножения и других физических параметров. В результате появилась уверенность в возможности осуществления цепной реакции деления и, следовательно, проектов промышленных реакторов, то есть в правильности выбранных решений.

Реактор Ф-1 продолжает использоваться для решения конкретных задач атомной энергетики. С этой целью он аттестован как образцовый источник нейтронов, что позволяет проводить аттестацию приборов и систем контроля нейтронных полей ядерных реакторов.

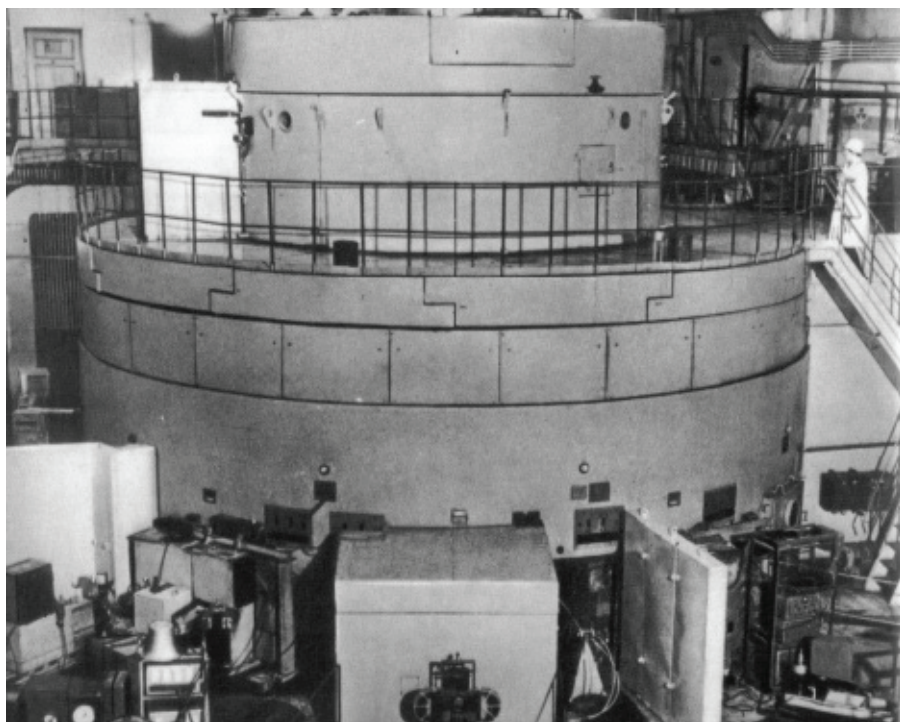
ПЕРВЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЯЖЕЛОВОДНЫЙ РЕАКТОР

С целью физического обоснования промышленных тяжеловодных реакторов для производства плутония, урана-233 и трития было принято решение о сооружении в Москве, в Лаборатории N 3 АН СССР (ныне Институт теоретической и экспериментальной физики НИЦ «Курчатовский институт») исследовательского тяжеловодного реактора ТВР. Разработка проекта реактора была закончена в 1947 г., а 26 апреля 1949 г. под руководством академика А.И. Алиханова состоялся первый физический пуск. Это был первый на Азиатско-Европейском континенте тяжеловодный реактор. Первоначально его проектная тепловая мощность была небольшой (50 кВт), затем, после реконструкции в 1957 г. ее повысили до 2,5 МВт. На этой мощности реактор работал без радиационных аварий до 1986 г., когда он был остановлен, а в последующие годы демонтирован.

Реактор ТВР представлял собой канально-корпусную конструкцию. В технологические каналы (ТК) загружалось ядерное топливо в виде блочков цилиндрической формы, очехлованных в оболочку из алюминиевого сплава. ТК устанавливались в защитный корпус, изготовленный из алюминиевого сплава САВ-1. Через ТК прокачивался насосами тяжеловодный теплоноситель для отвода тепла из активной зоны, образующейся в результате цепной реакции деления. Для пуска реактора ТВР потребовалось решить ряд сложных научно-технических задач, в первую очередь, разработать технологию промышленного производства тяжелой воды высокой чистоты.



Главный корпус Института теоретической и экспериментальной физики



Первый исследовательский тяжеловодный реактор



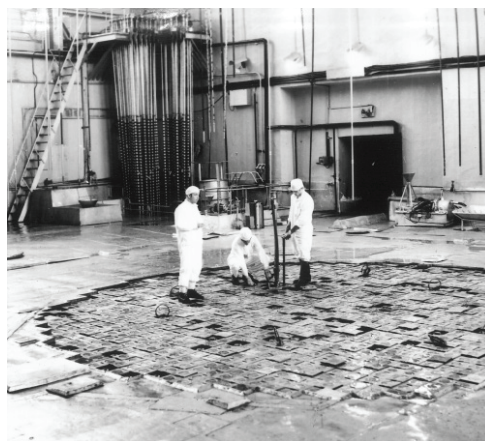
А.Ф.Иоффе, А.И. Алиханов, И.В. Курчатов

На реакторе ТВР было проведено большое число физических исследований для обоснования проектов промышленных тяжеловодных реакторов. Эти исследования позволили осуществить впервые в мире пуск промышленного тяжеловодного реактора ОК-180 в уран-ториевом режиме для производства урана-233. В последующие годы реактор ТВР обеспечивал производство радионуклидов, главным образом, медицинского назначения для Москвы и Московского региона. На реакторе ТВР впервые в мире были выполнены уникальные оригинальные исследования в области нейтронной физики, результаты которых получили всемирное признание, удостоены высокими научными наградами и дипломами.

ПЕРВЫЙ ПРОМЫШЛЕННЫЙ УРАН-ГРАФИТОВЫЙ РЕАКТОР А

Для получения оружейного плутония в количествах, необходимых для изготовления ядерных зарядов, необходимо было построить промышленный ядерный реактор значительной мощности. Решение о строительстве реактора, получившего вскоре наименование реактора А («Аннушка») было принято в начале 1946 г. Главным конструктором реактора был назначен директор НИИХИММАШа Н.А. Доллежалъ, научным руководителем был утвержден директор Лаборатории № 2 АН СССР (ныне НИЦ «Курчатовский институт») академик И.В. Курчатов. Строительные работы начались на комбинате № 817 (ныне ФГУП «Производственное объединение Маяк») на Южном Урале 1 мая 1946 г. Темпы строительно-монтажных работ позволили осуществить пуск реактора А уже 19 июня 1948 г.

В отличие от американских промышленных реакторов горизонтального типа для производства оружейного плутония реактор А был спроектирован в вертикальном исполнении. Последующая эксплуатация реактора А показала правильность принятого конструктивного решения. Реактор А состоял из активной зоны с ядерным топливом, системы отвода тепла, биологической защиты, систем контроля, аварийной защиты, транспортно-технологической части и других вспомогательных систем. Активная зона была образована графитовыми кирпичами квадратного сечения с отверстиями в центре для постановки труб из алюминиевого сплава САВ, называемых технологическими каналами или сокращенно ТК. Внутри ТК загружали ядерное топливо в виде блочков цилиндрической формы, очехлованных в оболочку из алюминиевого сплава АМСН. Между блочком и стенкой ТК оставлялся зазор для прокачки охлаждающей воды с целью отвода тепла, выделяющегося в результате цепной реакции деления. Эксплуатация реактора А в течение менее одного года позволила наработать нужное количество оружейного плутония для первого отечественного ядерного заряда, испытанного на Семипалатинском полигоне 29 августа 1949 г.



Центральный зал реактора А



Общий вид здания, где размещен первый промышленный реактор А

16 июня 1987 г. после 39 лет работы реактор А был выведен из эксплуатации.

ОБОГАЩЕННЫЙ УРАН

Создание технологии для изотопного обогащения урана было одной из наиболее сложных и масштабных научно-технических и производственных проблем мировой и отечественной науки и техники. В природном урановом сырье содержатся крайне малые количества изотопа урана-235, являющегося, с одной стороны, «ядерной взрывчаткой», а с другой стороны - «ядерным горючим» для реакторов на тепловых нейтронах. Для различных целей требуется продукт с различным содержанием урана-235.

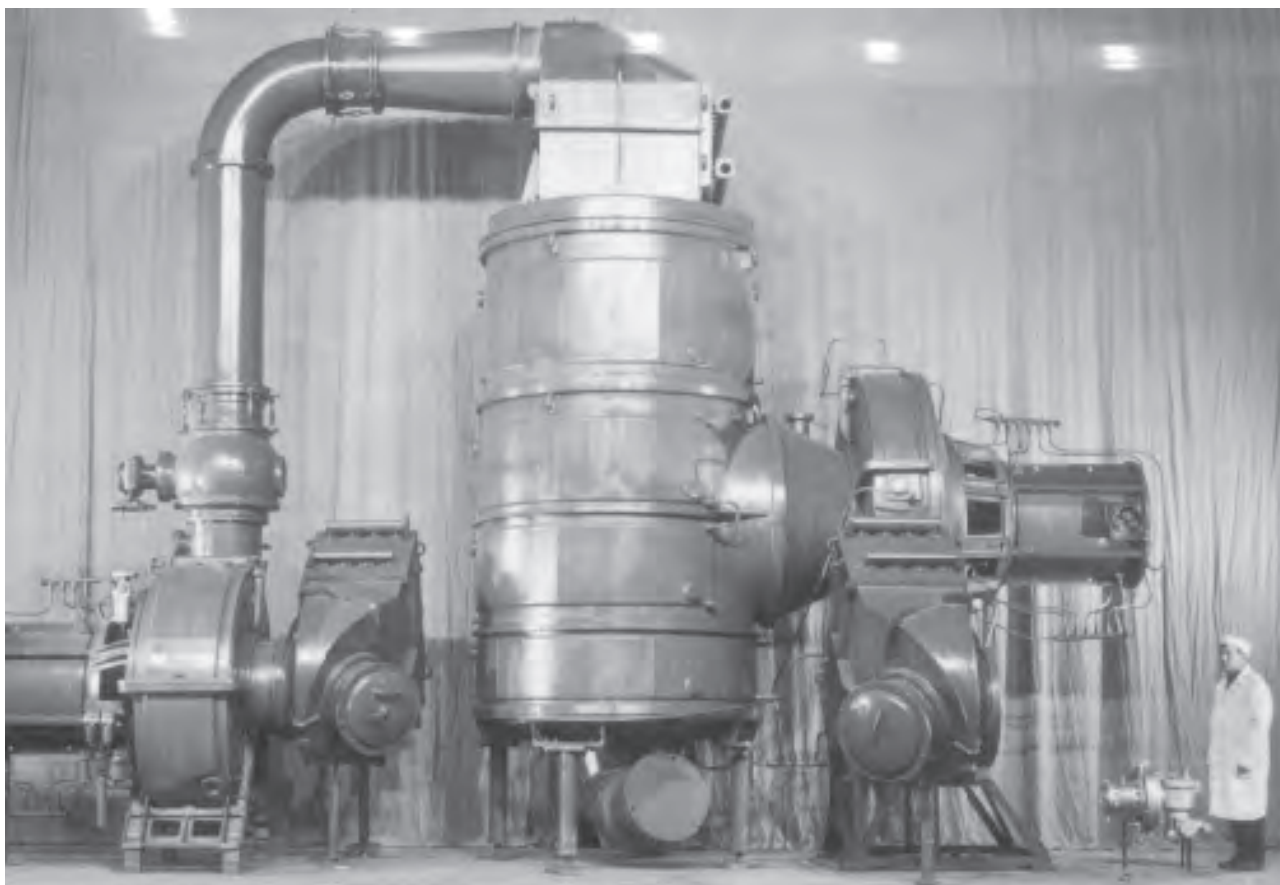
На сегодняшний день в мировой практике промышленно используются два метода разделения изотопов — диффузионный и центрифуговый. Первый завод по получению высокообогащенного урана для создания ядерного оружия в нашей стране был построен в конце 1949 г. на Урале, в закрытом городе с условным наименованием Свердловск-44.

За период с 1949 по 1964 гг. возникло еще три завода по обогащению урана в городах Томск-7, Ангарск и Красноярск-45. Все четыре завода использовали диффузионную технологию и работали как единый технологический комплекс.

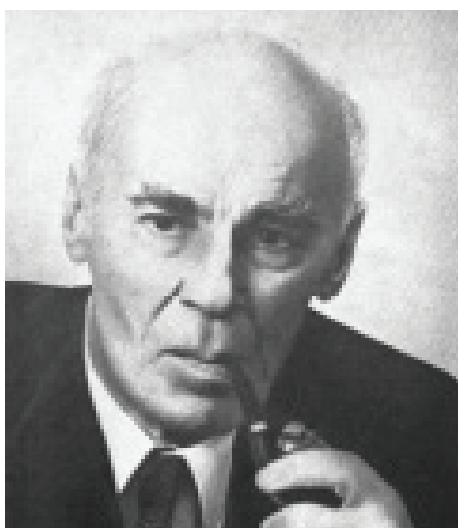
В методе диффузии использовалось свойство некоторых мембран пропускать через себя преимущественно газообразные соединения урана лишь в одну сторону. Если с одной стороны мембраны в газовой смеси различных изотопов урана-235 одно количество, то с другой стороны - несколько большее. За другой мембраной - еще больше. На каждом «звене» цепочки увеличение доли урана-235 крайне мало, но когда эта цепочка вытягивалась на километры, то на «выходе» содержание урана-235 достигало десятков процентов вместо первоначальных долей процентов. Существенным недостатком диффузионной технологии являлось высокое энергопотребление.



Центрифуги для отделения урана-235 от урана-238



Центрифуга для получения обогащенного урана



И.К. Кикоин

Поэтому в начале 50-х годов под руководством академика И.К. Кикоина были начаты интенсивные исследования центробежного метода разделения изотопов урана. Первые лабораторные образцы центрифуг, в которых газовый поток вовлекался во вращательное движение и более тяжелые компоненты газовой смеси отбрасывались за счет центробежной силы к периферии и отделялись от более легких, были созданы к 1952 г. Первый опытный завод, оснащенный газовыми центрифугами, начал работу в 1957 г., а первый промышленный завод был построен и пущен в эксплуатацию в течение 1962-1964 гг. Это событие почти на 10 лет опередило постройку опытно-промышленного центробежного завода консорциумом «URENKO» (Англия, Германия, Нидерланды).

В течение 1964-1992 гг. газоцентрифужной технологией были оснащены все четыре разделительных завода. Производительность современных центрифуг почти в 5 раз выше, чем у первых моделей, а период эксплуатации без ремонта основного оборудования — не менее 15-20 лет.

Начиная с 1988 г. все разделительные заводы производят обогащенный уран только для нужд ядерной энергетики и производства стабильных (нерадиоактивных) изотопов железа, вольфрама, ксенона, серы, молибдена и ряда других элементов.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ СЕПАРАТОР ИЗОТОПОВ СУ-20

Электромагнитная разделительная установка стабильных изотопов СУ-20 (сепарационная установка из 20 камер) была разработана большим научно-техническим коллективом под руководством академика Л.А. Арцимовича. Для своего времени это уникальное сооружение впитало в себя последние достижения фундаментальных и прикладных наук, инженерной техники и экономики страны. К концу 1950 г. на ней были получены первые образцы урана, обогащенные ураном-235. После реконструкции установки, выполненной в 1952-1955 гг., на ней были произведены образцы лития, обогащенные литием-6. Внеся важный вклад в создание ядерного, а затем и термоядерного оружия, установка с 1955 г. и по настоящее время используется для получения широкой номенклатуры стабильных изотопов.

Специалистами комбината «Электрохимприбор» были разработаны технологические процессы и организовано производство более 200 изотопов 45 элементов. Как известно, стабильные изотопы широко используются в различных областях промышленности и в сельском хозяйстве. Обогащенные изотопы являются предметом постоянного экспорта в ведущие страны. За выдающиеся успехи в области разработки оборудования, освоения технологии и организации производства Л.А. Арцимович, П.М. Морозов, Д.Е. Васильев, А.И. Ильин, Н.Н. Владимирский, Н.А. Кашеев стали лауреатами Государственной премии СССР.



Монтаж установки СУ-20



Цех сборки сепараторов



Пульт управления СУ-20

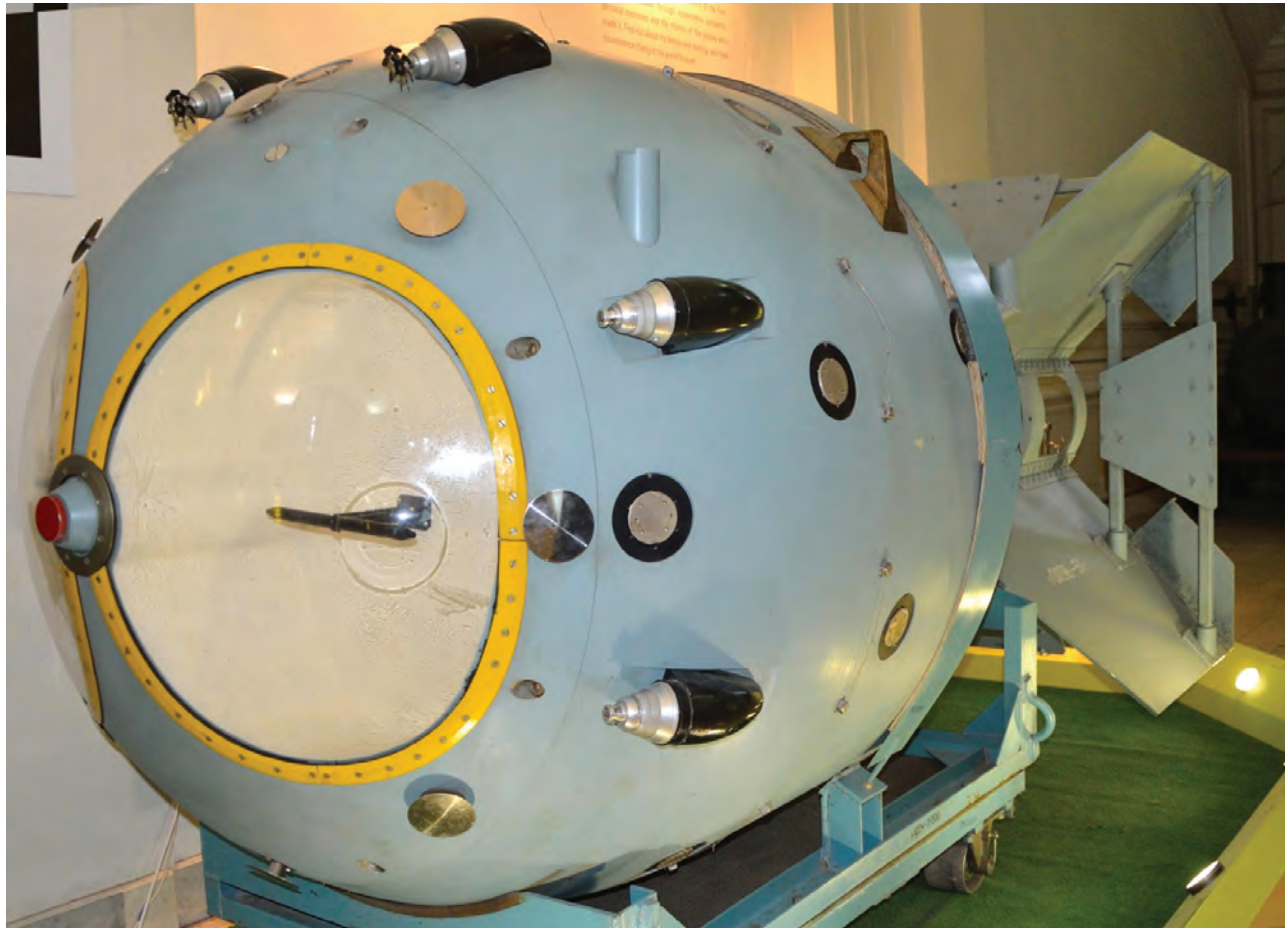
ПЕРВАЯ ОТЕЧЕСТВЕННАЯ АТОМНАЯ БОМБА РДС-1

Разработка атомного оружия в СССР началась во время Великой Отечественной войны после того, как руководству страны стало известно, что такое оружие разрабатывается в Германии, США и может быть обращено против СССР.

Советский Атомный проект возглавил выдающийся физик академик И.В. Курчатов. Научным руководителем проекта стал академик Ю.Б. Харитон.

20 августа 1945 г. Государственный комитет обороны СССР в целях скорейшей ликвидации монополии США на обладание ядерным оружием принял постановление о коренной реорганизации органов управления советским Атомным проектом. Были созданы Специальный комитет при ГКО во главе с Л.П. Берией, Технический совет и Первое главное управление при Совете Министров СССР во главе с Б.Л. Ванниковым.

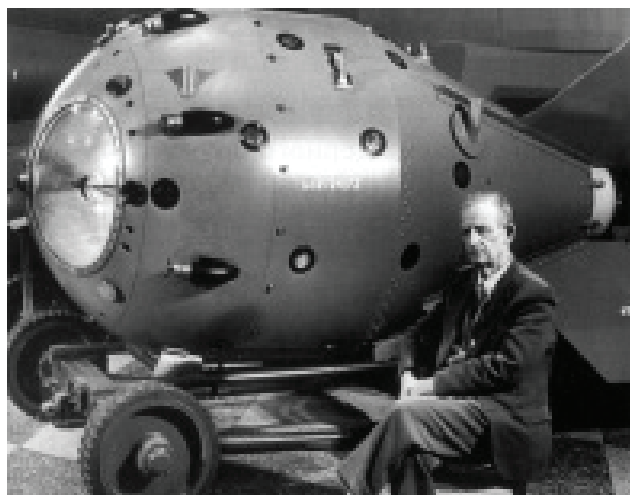
Уже в начале 1946 г. в поселке Саров Мордовской АССР под руководством К.И. Щелкина и Ю.Б. Харитона начал формироваться коллектив специального конструкторского бюро № 11 (РФЯЦ «ВНИИЭФ»), призванного в кратчайшие сроки обеспечить разработку проекта советской плутониевой бомбы. Под Семипалатинском, на базе полигона № 2 Министерства обороны СССР, началось строительство полигона для испытания ядерного заряда, а в конструкторском бюро А.Н. Туполева приступили к созданию тяжелого бомбардировщика ТУ-4.



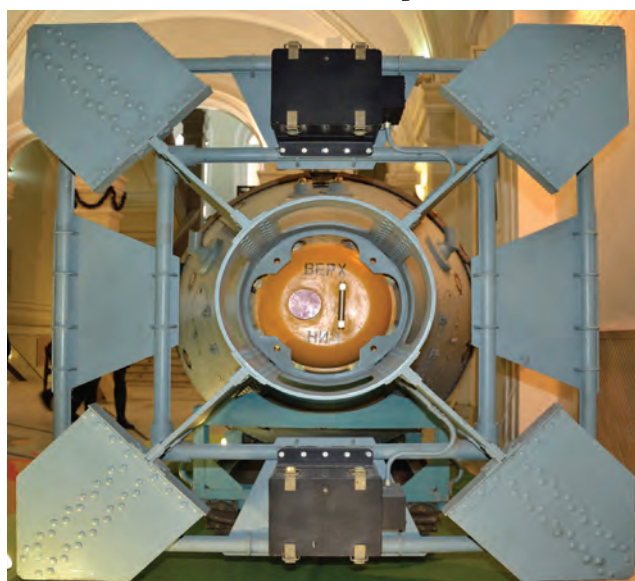
Первая отечественная атомная бомба РДС-1

8 апреля 1949 г. Ю.Б. Харитон и К.И. Щелкин представили в Правительство доклад о решении всех теоретических, конструкторских и технических задач, связанных с созданием первого советского ядерного заряда РДС-1 и порядке его испытания на полигоне. 5 августа 1949 г. на комбинате № 817 И.В. Курчатовым, Е.П. Славским, Ю.Б. Харитоновым, А.А. Бочваром и В.Г. Кузнецовым была осуществлена процедура приемки заряда, который специальным эшелоном был доставлен в КБ-11. В ночь с 10 на 11 августа специалистами конструкторского бюро с целью изучения процессов прохождения быстрых нейтронов через конструкцию плутониевого заряда была произведена контрольная сборка изделия. После разборки ядерный заряд был отправлен на Семипалатинский полигон, где с 27 августа начались заключительные операции по подготовке испытания. В 7 часов утра 29 августа создатели ядерного оружия и испытатели увидели на месте башни с зарядом ослепительный свет и донесшаяся до командного бункера ударная волна возвестила - ядерной монополии США больше не существует. Советское Правительство высоко оценило подвиг ученых, конструкторов, производственников. Многие из них удостоены правительственных наград, отмечены государственными премиями, а 36 - удостоены звания Героя Социалистического Труда.

Благодаря усилиям ведущих советских физиков, конструкторов, инженеров уже в 1949 г. был испытан первый ядерный заряд, а в 1951 г. - первая ядерная бомба типа РДС-3 мощностью 20 кТ тротилового эквивалента, которая была сброшена с самолета ТУ-4.



Академик Ю.Б. Харитон



ПЕРВАЯ В МИРЕ ВОДОРОДНАЯ БОМБА РДС-6с

В 1953 г. на Семипалатинском испытательном полигоне, на том же самом месте, где в августе 1949 г. была взорвана плутониевая бомба, прошли успешные испытания первого советского термоядерного заряда. В отличие от американского экспериментального термоядерного устройства «Майк», взорванного на атолле Эниветок 1 ноября 1952 г. и весившего 65 т, советский термоядерный заряд РДС-6с, хотя и не являлся еще «бомбой» в чистом виде этого слова, был вполне транспортабельным объектом и перевозился на самолете.

Работы по созданию водородного оружия начались в СССР в 1946 г. вскоре после того, как И.И. Гуревичем, Я.Б. Зельдовичем, И.Я. Померанчуком и Ю.Б. Харитоном был представлен в Правительство специальный доклад о возможности использования для взрывных целей ядерной реакции превращения дейтерия в водород и тритий, инициируемой первичным атомным взрывом. К июню 1948 г. над проблемой создания водородного устройства на принципе детонации дейтерия работало несколько групп ученых, возглавляемых Я.Б. Зельдовичем, Л.Д. Ландау. Выдающаяся роль в создании советского термоядерного оружия принадлежит А.Д. Сахарову, который осенью 1948 г., буквально через несколько месяцев после включения в группу И.Е. Тамма, высказал основополагающие идеи, определившие дальнейшее развитие всей проблемы. Если в качестве горючего для термоядерного устройства группой Я.Б. Зельдовича рассматривался до этого жидкий дейтерий (возможно в смеси с тритием), то А.Д. Сахаров предложил гетерогенную конструкцию из чередующихся слоев легкого вещества (дейтерий, тритий и их химические соединения) и тяжелого U-238, названную им «слоистой».



Первая в мире водородная бомба РДС-6с

В 1952 г. для решения задач математической физики, связанных с атомной проблемой, под руководством М.В. Келдыша была создана первая отечественная ЭВМ «Стрела», на которой А.Н. Тихоновым, К.А. Семендяевым и др. выполнялись работы по «слойке». С их помощью отбраковывались те или иные схемы конструкций и корректировались первоначальные оценки.

К апрелю 1953 г. отработка всех элементов термоядерного заряда РДС-6с была в основном закончена. На заводах освоена технология изготовления узлов и деталей. Испытания показали возможность транспортировки автомобильным и железнодорожным транспортом в полностью собранном виде. Была разработана, изготовлена и прошла проверку система подрыва ВВ заряда. На заключительной стадии разработки находились реактивный бомбардировщик ТУ-16, баллистический корпус авиабомбы и бортовая аппаратура автоматического управления подрывом заряда на траектории. 11 июля 1953 г. Совет Министров СССР утвердил оперативный план подготовки и проведения испытаний РДС-6с. Вокруг полигона были установлены запретные зоны радиусом от 45 до 250 км. После проведения генеральной репетиции и получения сообщения о том, что метеорологические условия соответствуют расчетным, Государственная комиссия приняла решение о проведении испытания. Операции по сборке заряда были проведены Н.Л. Духовым, Д.А. Фишманом, Н.А. Терлецким под руководством Ю.Б. Харитона и в присутствии И.В. Курчатова. Подготовка систем автоматики осуществлялась В.И. Жучихиным, Г.А. Цырковым, А.Д. Захаренковым и Е.А. Негиним. Снаряжение заряда капсюлями-детонаторами после подъема его на башню осуществлялось А.Д. Захаренковым и Г.П. Ломинским под руководством К.И. Щелкина и в присутствии А.П. Завенягина. Руководство операторами автоматики поля и пульта управления осуществлял К.И. Щелкин. Подрыв ядерного заряда был осуществлен 12 августа в 7 час 30 мин местного времени.

«Испытания РДС-6с полностью подтвердили работоспособность физических и конструктивных принципов, заложенных в разработку этого типа термоядерного заряда, а также методов его расчета», - говорилось в сводном отчете по испытанию, подписанном И.В. Курчатовым, Ю.Б. Харитоновым, Я.Б. Зельдовичем, Е.И. Забабахиним и В.С. Комельковым.

После удачного испытания А.Д. Сахаров, получивший звание Героя Социалистического Труда и лауреата Сталинской (Государственной) премии, был избран академиком. Звание Героя Социалистического Труда во второй раз было присвоено Е.П. Славскому, А.П. Завенягину, А.А. Бочвару и Я.Б. Зельдовичу. Трижды Героями Социалистического Труда стали И.В. Курчатов, Б.Л. Ванников, К.И. Щелкин и Н.Л. Духов. Многие конструктора, исследователи и производственники были награждены орденами и медалями.

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ПОЛИГОН РОССИИ

Новая Земля - обширный арктический архипелаг в Северном Ледовитом океане, состоящий из массы мелких и двух крупных островов - Северного и Южного, разделенных проливом Маточкин Шар. Около четверти всей площади архипелага занято льдом. В отдельных местах его толщина достигает 900 м. Свободные от льда земли скованы вечной мерзлотой.

Испытательный полигон на Новой Земле создавался для проведения испытаний ядерного оружия, связанных с изучением его воздействия на морскую военную технику, и для проведения испытаний морских систем вооружений (прежде всего ядерных торпед). Постановление Правительства об организации полигона было принято 31 июля 1954 г. на основании рекомендаций Государственной комиссии в составе: контр-адмирала Н.Д. Сергеева, академика Н.Н. Семенова, научного руководителя Семипалатинского полигона М.А. Садовского, директора Института прикладной геофизики Е.К. Федорова, заместителя начальника сектора КБ-11 Е.А. Негина и др.

Строительство жилых сооружений для обслуживающего персонала, а также необходимых для проведения испытаний инженерных сооружений, было поручено специально созданному в структуре инженерного управления ВМФ подразделению, получившему название «Спецстрой - 700», а сам полигон стал именоваться «Объект - 700». В распоряжение полковника Е.Н. Барковского, возглавившего строительство полигона, было выделено 13 батальонов военных строителей, которые в течение года должны были подготовить все инженерные



Центральный полигон России Новая Земля

сооружения к проведению в районе губы Черной первого советского подводного ядерного испытания. День 17 сентября 1954 г., когда директивой Главного штаба ВМФ была объявлена штатная структура нового соединения, считается днем рождения полигона. В 1984 г. в поселке Белушья Губа, известным сегодня всему миру как столица Центрального полигона России, в честь основателей гарнизона был открыт памятный монумент.

К середине августа 1955 г. были построены основные сооружения полигона: командный пункт, 19 береговых приборных пунктов и стендов, 2 ретрансляционных пункта автоматики управления, аэродром с металлической полосой для базирования полка реактивной истребительной авиации для охраны полигона, эскадрилья транспортной авиации для связи с Большой землей и эскадрилья специального назначения (для киносъемки, забора проб воздуха, слежения за радиоактивным облаком и т.д.), специальное сооружение для сборки ядерного заряда, радиохимические, физико-технические, медико-биологические и другие лаборатории.

25 августа 1955 г. Правительство СССР приняло окончательное постановление о проведении подводного испытания. В акватории бухты, на разном расстоянии от места подрыва торпеды Т-5 с ядерным зарядом мощностью 3,5 Кт ТЭ, были расставлены подводные лодки и надводные корабли, оборудованные уникальной аппаратурой для определения поведения кораблей во время взрыва, а также регистрации параметров ядерного взрыва.

21 сентября 1955 г. в 10 час. 00 мин. по сигналу с командного пункта торпеда была подорвана. «Огромный столб воды встал мгновенно и застыл. Затем в верхней части его, не спеша, стала образовываться грибовидная шапка...Казалось, что...вышел джин из бутылки и не знает, что делать дальше. Наконец султан начал медленно разрушаться, опадать». При взрыве были полностью уничтожены тральщик, с борта которого на глубину 12 м была опущена торпеда, и ближайший к эпицентру эсминец «Реут». Установленная на соседнем к нему корабле-мишени фотоаппаратура зафиксировала быстрый подъем его в воздух, падение в воду и погружение. Через два года, 10 октября 1957 г., в губе Черной был произведен первый пуск ядерной торпеды с подводной лодки. В отчете Государственной комиссии под председательством адмирала С.Г. Горшкова, составленном сразу же после испытания, было отмечено, что на «Объекте - 700» можно проводить не только подводные ядерные взрывы, но и испытания иных образцов ядерного оружия практически без ограничения мощности и, несмотря на погодные условия, в течение всего года. Осенью 1959 г. на полигоне, который 5 марта 1958 г. был переименован в Государственный центральный полигон № 6 МО СССР и расширен до его нынешних границ, началась подготовка подземных испытаний. В 1960 г. в районе устья реки Шумилихи была начата проходка пяти штолен. В 1961 г. эти работы были приостановлены и возобновлены только после подписания 5 августа 1963 г. в Москве министрами иностранных дел СССР, США и Великобритании Договора о запрещении испытаний ядерного оружия в атмосфере, в космическом пространстве и под водой. Первое подземное испытание в одной из штолен состоялось 18 сентября 1964 г. На первых этапах подземных испытаний их интенсивность определялась скоростью подготовки штолен для проведения взрывов. Начиная с 1972 г. для проведения испытаний на Новой Земле начали использоваться скважины.

Совершенствование методики испытаний привело к появлению технологии проведения групповых взрывов. В ходе таких испытаний осуществлялся одновременный подрыв нескольких устройств. Групповые взрывы позволяли существенно снизить стоимость испытаний и соответственно увеличить интенсивность их проведения. Первый групповой взрыв на Новой Земле состоялся 21 октября 1967 г., а последний, который стал последним ядерным испытанием в СССР, состоялся 24 октября 1990 г.

26 февраля 1992 г. Указом президента России Б.Н. Ельцина испытательному полигону на Новой Земле присвоен статус Центрального полигона России. Огромный вклад в его создание и развитие внесли Е.Н. Барковский, В.Г. Стариков, Н.А. Осовский, Н.Л. Луцкий, И.И. Пахомов, Г.И. Кудрявцев, Е.П. Збрицкий, В.К. Стешенко, Н.Г. Миненко, С.П. Кострицкий, В.К. Чиров, Е.П. Горожин, В.А. Горев, В.С. Ярыгин, В.В. Шевченко, С.И. Чирков, П.Ф. Фомин, Н.И. Павлов, Е.А. Негин, В.Н. Михайлов, Г.А. Цырков, Н.П. Волошин, Г.И. Золотухин и другие.

САМАЯ МОЩНАЯ В МИРЕ ТЕРМОЯДЕРНАЯ БОМБА

30 октября 1961 г. на северном испытательном полигоне Новая Земля был испытан термоядерный заряд мощностью 50 мегатонн тротилового эквивалента. Решение о разработке и изготовлении сверхмощного термоядерного заряда и проведении его воздушных испытаний было принято Правительством СССР в ноябре 1955 г. Ожидаемая масса разработанной под руководством А.Д. Сахарова «супербомбы» составила порядка 26 т. Для ее доставки к месту испытания в конструкторском бюро А.Н. Туполева была осуществлена модернизация самолета ТУ-95, получившего индекс ТУ-95-202. Самолет был оборудован двумя пультами управления, размещаемыми в кабине пилотов: пультом управления автоматики «изделия» и пультом управления системой обогрева «изделия». Поскольку из-за своих габаритов «изделие 202» не помещалось в бомбовом отсеке самолета, для его подвески было разработано специальное устройство, обеспечивавшее подъем «изделия» к фюзеляжу и закрепление его на трех синхронно управляемых замках. В 1956 г. на полигоне 71 ВВС начались натурные испытания самолета-носителя ТУ-95-202 и «супербомбы». Научное руководство испытаниями



Самая мощная в мире термоядерная бомба

«изделия 202» осуществлял Г.А. Цырков. Для повышения безопасности экипажа самолета при испытании, в случае отказа парашютной системы авиабомбы, в автоматику «изделия» было введено блокирующее устройство, исключающее возможность неконтролируемого взрыва «изделия». К началу 1957 г. уникальный испытательный комплекс был полностью отработан, но сами испытания были «заморожены» на четыре года и состоялись на северном испытательном полигоне Новая Земля только 30 октября 1961 г. Руководителем испытания «супербомбы» был назначен Н.И. Павлов. В руководстве испытаниями участвовали Н.И. Сажин, В.А. Чернорез, К.С. Москаленко и др. Непосредственная подготовка «изделия» к испытанию производилась специалистами Министерства среднего машиностроения СССР под руководством Е.А. Негина и Е.И. Забабахина.

Выполнение задания по сбросу «изделия 202» на площадку Д-2 полигона было поручено экипажу самолета-носителя под командованием майора А.Е. Дурновцева. Самолет-носитель с «супербомбой» в полете сопровождал самолет-лаборатория ТУ-16 под командованием подполковника В.Ф. Мартыненко (ведущий штурман И.Н. Клещ). Взлет самолета-носителя ТУ-95-202 был произведен с аэродрома «Оленья» в 9 час. 27 мин. В 11 час. 30 мин. с высоты полета 10500 м бомба была сброшена на площадку Д-2 в районе Маточкина Шара. На 188 секунде, после отделения бомбы от самолета, остров Новая Земля был озарен длительным свечением небывалой яркости. В момент вспышки самолет-носитель находился от взрыва на удалении более 45 км, а самолет-лаборатория - 55 км. По возвращении на аэродром экипажи самолетов могли наблюдать облако взрыва на расстоянии до 800 км.

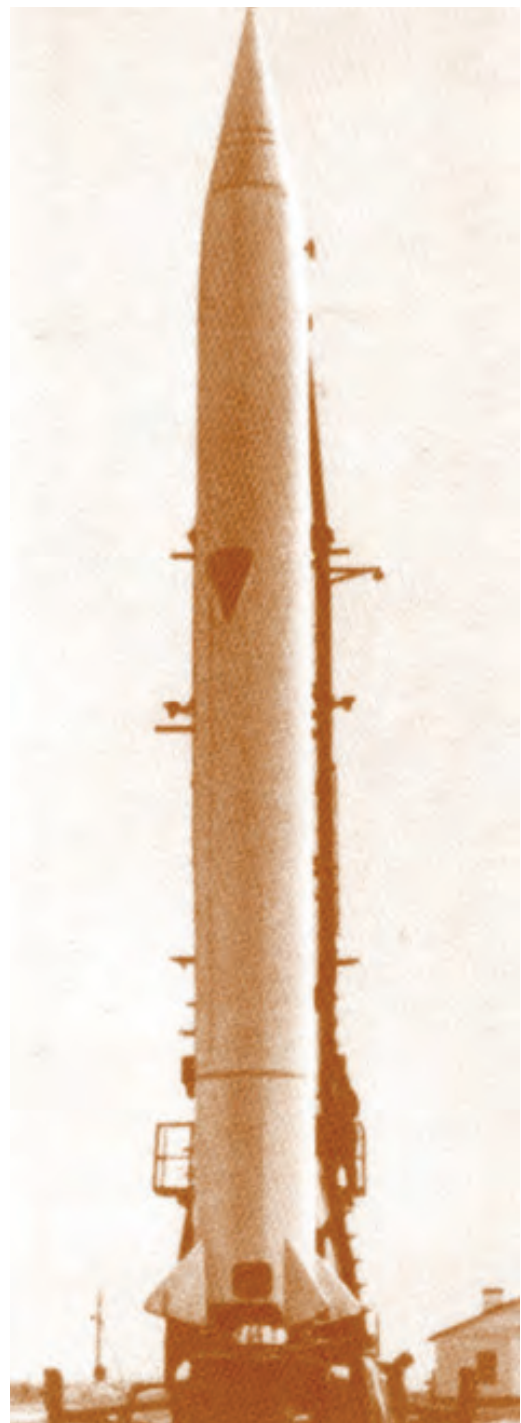
За проявленные мужество, отвагу и героизм при испытании самой мощной термоядерной бомбы майору А.Е. Дурновцеву, майору И.Н. Клещу, подполковнику В.Ф. Мартыненко было присвоено звание Героя Советского Союза. Трижды Героями Социалистического Труда стали А.Д. Сахаров и Е.П. Славский.

ПЕРВАЯ СОВЕТСКАЯ РАКЕТА С ЯДЕРНОЙ БОЕГОЛОВКОЙ

2 февраля 1956 г. на ракетном испытательном полигоне Капустин Яр состоялись первые испытания ракеты Р-5М с ядерной боеголовкой (председатель Госкомиссии маршал М.И. Неделин). Работы по разработке ракеты Р-5М - носителя ядерного заряда - начались в 1953 г. За основу был принят эскизный проект одноступенчатой ракеты Р-5, законченный в конструкторском бюро С.П.Королева в НИИ-88 еще в 1951 г. При летных испытаниях, проводившихся в 1953 г. на полигоне Капустин Яр, ракеты Р-5 показали почти 90%-ную надежность: из 15 ракет только две не достигли цели. Испытания Р-5М предусматривали два этапа: летноконструкторские и зачетные; при этом на летно-конструкторских должна была быть отработана надежность носителя со всеми его бортовыми и наземными системами и проверена документация, обеспечивающая надежную эксплуатацию ракеты.

Летно-конструкторские испытания ракеты Р-5М проводились на полигоне Капустин Яр с января по июнь 1955 г. Ракеты вывозились на стартовую площадку без головной части. Головную часть (не с ядерными зарядами, а с их макетами) собирали и готовили к стыковке далеко от старта в специальном и особо охраняемом здании. Стыковка головной части с ракетой производилась непосредственно на стартовой позиции. Из 17 ракет 15 достигли цели. Две ракеты отклонились более чем на семь разрешенных градусов, и двигатель был выключен автоматической системой подрыва ракеты.

В августе 1955 г., после успешного завершения летноконструкторских испытаний, Правительство СССР приняло решение о проведении зачетных испытаний ракеты Р-5М. К зачетным испытаниям было представлено 5 ракет. Головные части четырех оснащались «макетами» ядерного заряда (их пуски были успешно завершены в январе 1956 г.), а один - зарядом из плутония, при этом сам заряд активного вещества в целях обеспечения безопасности во время полета и в месте падения был уменьшен.



Ракета Р-5М

Пуск ракеты был произведен 2 февраля 1956 г. в 10 час. 30 мин. по Московскому времени. Менее чем через 11 минут головная часть ракеты с ядерным зарядом типа РДС-4, пролетев через космос почти 1200 км без разрушения, долетела до земли в районе Аральских Каракумов. Первые ракеты с ядерными боевыми частями были поставлены на боевое дежурство в районах Прибалтики и Дальнего Востока.

В разработку ракетно-ядерной системы весомый вклад внесли С.П. Королев, В.П. Мишин, Л.А. Воскресенский, Ю.Б. Харитон, Н.А. Петров, К.И. Щелкин, С.Г. Кочарянц, Е.А. Негин, Н.Л. Духов, В.И. Зуевский, В.П. Глушко, В.А. Вижна, М.С. Рязанский, Н.А. Пилюгин, М.И. Борисенко, В.И. Кузнецов, В.П. Бармин, Г.Ф. Катков, А.М. Гольцман, Н.С. Лейкин, В.П. Петров, Б.С. Жданов, Ф.Л. Курбатов, Г.Н. Бажанов, М.В. Кулаков, П.М. Ходос, Б.Е. Черток и др.

РАКЕТА ДЛЯ СУПЕРБОМБЫ

До 1953 г. в СССР были созданы только авиационные бомбы в качестве ядерных боеприпасов. Их доставка к цели осуществлялась самолетами стратегической (дальней) авиации. В 1953 г. вышло постановление Правительства о создании ядерных боеприпасов для других носителей, в частности: тактической ракеты Р-5М (С.П. Королев), крылатой ракеты КС-7 (А.Я. Березняк), торпеды Т-5 (А.М. Борушко), зенитной ракеты С.А. Лавочкина, стратегических крылатых ракет «Буря» и «Буран» соответственно С.А. Лавочкина и В.М. Мясищева. 20 мая 1954 г. было принято постановление о создании межконтинентальной ракеты Р-7 (главный конструктор С.П. Королев), оснащенной термоядерным зарядом РДС-6с А.Д. Сахарова, которые раз и навсегда должны были закрыть вопрос о достигаемости потенциальных противников СССР. Министерству среднего машиностроения, в котором после слияния в июле 1953 г. Первого и Третьего главных управлений при Совете Министров СССР были сосредоточены все работы как по созданию ядерных зарядов, так и по ракетной технике, предстояло решить невероятную по своей сложности задачу.

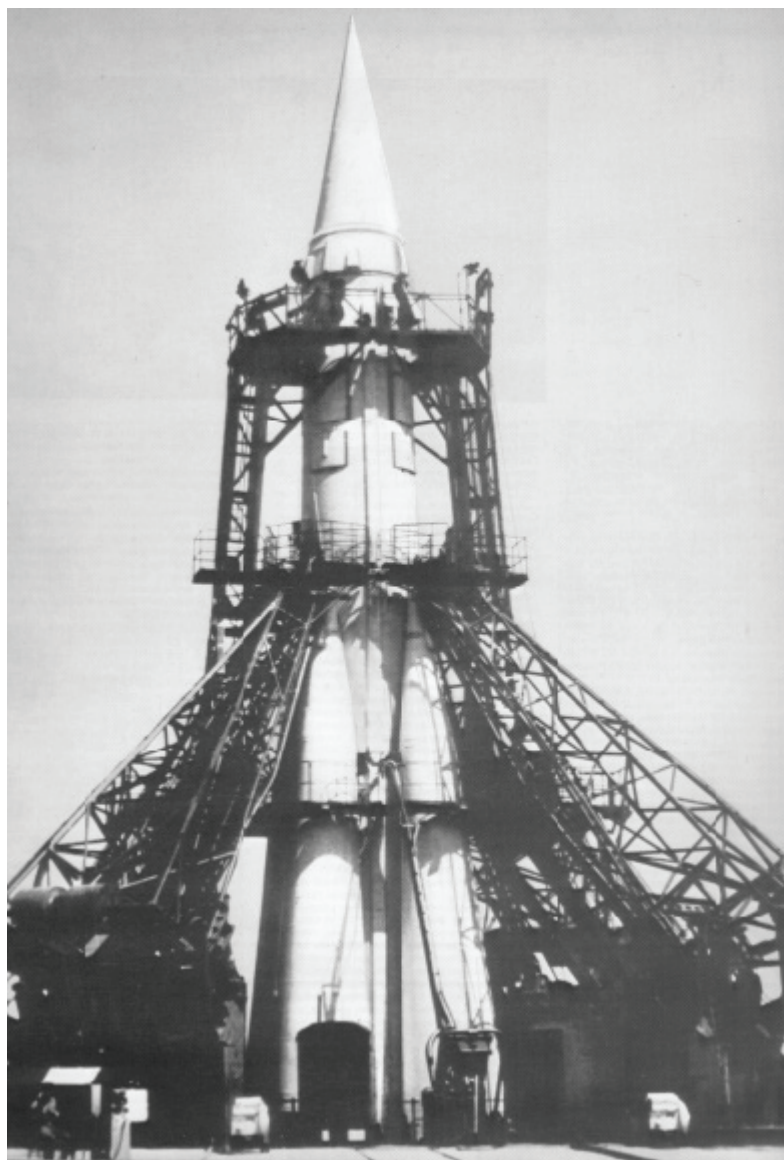
Если ракета Р-5 приспособлялась для ядерного заряда, то ракету Р-7 делали специально для того, чтобы доставить термоядерный заряд весом в четыре с половиной тонны в любую точку земного шара. Если все предыдущие конструкции советских ракет могли считать своей прародительницей немецкую ФАУ-2, то теперь требовалось нечто новое - ракета другого поколения. Ракета Р-7 была двухступенчатой. Вокруг ее корпуса высотой 28,75 м с четырехкамерными жидкостными двигателями располагались четыре боковые ступени, высотой 19,8 м каждая с четырехкамерными двигателями, работающими на кислороде и керосине. Наибольший поперечный размер внизу равнялся 10,3 м.

В момент старта работали все двигатели, поскольку тогда еще не было опыта запуска их в невесомости. После выгорания топлива в боковых ступенях, они сбрасывались и работал только центральный блок, соединяющий в себе 1-ю и 2-ю ступени. Общий вес заправленной ракеты составлял 267 т. Как выяснилось позднее, конструкция Р-7 отличалась с одной стороны простотой, с другой - удивительной универсальностью и легкой перестраиваемостью, что позволило многократно ее модернизировать, наращивать новые ступени, превращая ее в 3-х и 4-х ступенчатую.

Разработка ядерного заряда для ракеты Р-7, разработка системы автоматики боеприпаса и общая компоновка автоматики и заряда в носитель были поручены КБ-11 и его филиалу № 1, который возглавил Н.Л. Духов (сегодня ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова», г. Москва).

Новая ракета Р-7, помимо решения многих технических вопросов, потребовала и создания нового полигона для ее испытаний. Капустин Яр, где проводились запуски ракет типа Р-1 и Р-2, был для нее уже тесен. Встал вопрос о выборе обширного малонаселенного района, земли которого мало использовались в сельскохозяйственном производстве и вблизи которого существовала какая-нибудь железнодорожная магистраль. Такой район нашли в Казахстане к востоку от Аральского моря.

Полигон создавался с невероятной быстротой и уже 5 мая 1957 г. был подписан акт Государственной комиссии о приемке первого стартового комплекса полигона, а уже 6 мая на этом комплексе была установлена первая ракета Р-7.



Ракета Р-7

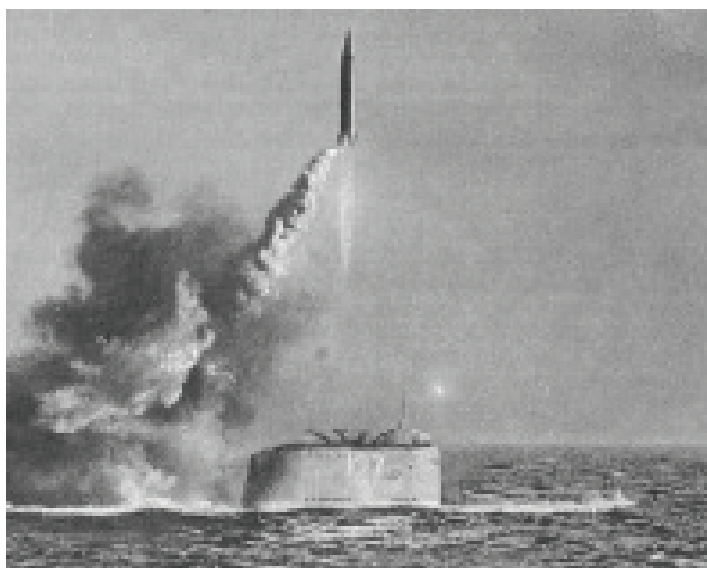
Первый пуск ракеты на полигоне № 5 (тогда слово «космодром» еще не существовало) состоялся 15 мая 1957 г. Ракета пролетела всего 400 км. Второй состоялся 11 июня. Из-за ошибки сборщика ракета потерпела аварию. Неудачным был и третий пуск 11 июля. Ракета начала кувыряться в воздухе, рассыпалась на куски, которые упали недалеко от старта. Атмосфера на полигоне была очень тяжелой. Наконец, 21 августа 1957 г., ракета успешно стартовала и долетела до Камчатки. Спустя 43 дня после этого события состоялся запуск первого в истории человечества искусственного спутника Земли.

РАКЕТЫ МОРСКОГО БАЗИРОВАНИЯ

В первой половине 50-х годов в СССР были развернуты работы по созданию баллистических ракет морского базирования. К решению проблем создания ракет, ракетных двигателей, специальных боеприпасов, систем управления, корабельных систем, наземного оборудования приступили конструкторские коллективы, возглавляемые С.П. Королевым, В.П. Макеевым, К.Д. Бушуевым, С.С. Ваниным, Е.И. Забабахиным, К.И. Щелкиным, Н.Н. Исаниным и др.

В августе 1955 г. Правительство СССР приняло постановление о разработке для подводных лодок ракеты Р-11ФМ. В качестве прототипа для первой морской ракеты была принята армейская ракета Р-11. Конструктивно-компоновочная схема ракеты Р-11 ФМ не имела существенных отличий от ракеты Р-11, за исключением дополнительных устройств, воспринимающих нагрузки от корсетного устройства пусковой установки, и дополнительной герметизации приборного и двигательного отсеков ракеты с целью приспособления ее к морским условиям эксплуатации. Для размещения систем ракетного комплекса, отработки старта ракет с подводной лодки и проведения различных видов испытаний на заводе № 402 под руководством ЦКБ-16 была переоборудована большая торпедная подводная лодка проекта 611. На ней за боевой рубкой в диаметральной плоскости были установлены две вертикальные шахты, в которых хранились ракеты. Старт ракет производился со специальных выдвижных пусковых стволов при скорости хода лодки в надводном положении до 20 узлов и при волнении моря до 5 баллов.

Первый в мире пуск баллистической ракеты с борта подводной лодки Б-67 состоялся 16 сентября 1955 г. В проведении испытаний приняли участие С.П. Королев, Н.Н. Исанин, Ф.Ф. Финогеев, П.М. Зеленцов, Ф.И. Козлов, С.Ф. Бондин и др. Советский Союз стал первой страной, в состав подводных сил которой вошли подводные лодки с баллистическими ракетами.



Старт ракеты Р-13 с подводной лодки



Старт ракеты из под воды



Баллистическая ракета стратегического назначения для подводных лодок БРПЛ Р-13

В августе 1956 г. Советом Министров СССР было принято постановление о разработке ракетного комплекса Д-2 с ракетой Р-13, предназначенного для вооружения дизельных подводных лодок проекта 629 и атомных подводных лодок проекта 658. У обоих типов лодок имелось по 3 вертикальных ракетных шахты в рубке. Это был первый отечественный комплекс, создававшийся специально для подводных лодок. Работы над ракетой Р-13 были начаты в ОКБ-1 С.П. Королева, а затем были продолжены в СКБ-385 под руководством В.П. Макеева, который до своей смерти в 1985 г. был главным конструктором ракетных комплексов отечественных подводных лодок с баллистическими ракетами и единственного в мире противокорабельного комплекса с баллистической ракетой.

Ракета Р-13 запускалась из надводного положения и могла нести ядерную боевую часть мощностью до 1 Мт. В октябре 1961 г., после завершения успешных пусков на Северном флоте, ракетный комплекс Д-2 с ракетой Р-13 был принят на вооружение ВМФ.

Незадолго до этого, в августе 1960 г., на Северном флоте начались испытания первых образцов ракеты Р-11ФМ (шифр С4.7), доработанных для подводного старта. Два первых подводных пуска ракет были неудачными, и только третий пуск, состоявшийся 10 сентября 1960 г. с борта подводной лодки Б-67 под командованием В.К. Коробова, стал успешным. Впервые в СССР с глубины 30 метров и при скорости хода 3,2 узла на дальность 125 км был осуществлен пуск экспериментальной баллистической ракеты. Проведенные испытания подтвердили возможность старта ракет и выхода их на заданную расчетную траекторию с подводной лодки из подводного положения. Дальнейшие работы над ракетой С4.7 были прекращены, так как к этому времени в разработку была принята ракета с подводным стартом Р-21 с существенно более высокими тактико-техническими характеристиками и дальностью стрельбы свыше 1000 км. Первый пуск ракеты Р-21 был произведен 24 февраля 1962 г. с подводной лодки К-102 под командованием В.Ф. Бочкина. Важнейшей особенностью развития баллистических ракет морского базирования являлось то, что оно с самого начала приобрело системный характер и проходило в тесном взаимодействии с развитием ядерных боеприпасов и подводных лодок - носителей этого оружия, систем боевого управления, обеспечения и обслуживания.

КОМПЛЕКС КОНВЕЙЕРНОЙ СБОРКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ

Приборостроительный завод в г. Трехгорном является одним из ведущих предприятий оборонного комплекса страны. В 1967 г. на заводе был введен в эксплуатацию конвейер с механическим приводом для сборки специальных изделий. Отличительной особенностью конвейера является жесткое закрепление на определенном расстоянии друг от друга тележек с установленными на них стендами для сборки специзделий. При перемещении через определенный промежуток времени тележки с одного рабочего места до другого последовательно осуществляются сборка, испытания и упаковка специзделий. Весь технологический процесс постоянно находится под строгим и высокопрофессиональным контролем специалистов. Внедрение конвейерной линии позволило увеличить производительность труда, повысить качество и надежность выпускаемых заводом специзделий. В создание и внедрение конвейерной линии, совершенствования технологии сборки специзделий большой вклад внесли Л.А. Петухов, Б.В. Горобец, Е.К. Андрияшин, В.С. Комаров, А.Ф. Кравец, И.Н. Вотяков и многие другие.



Лаборатория периодических испытаний специзделий

ХРАНИЛИЩЕ СПЕЦИЗДЕЛИЙ

Для защищенного хранения и выдачи готовой спецпродукции, а также для хранения изделий, поступающих на разборку, контрольную проверку и переаттестацию, специалистами ВНИПИЭТ в сотрудничестве с работниками комбината «Электрохимприбор» в 1988 г. был разработан проект железобетонного сооружения повышенной стойкости. При разработке проекта В.А. Седову, В.А. Курносову, В.М. Богданову, В.В. Шестакову, А.А. Рогозину и др. необходимо было учесть как возможное внешнее воздействие фронта ударной волны на сооружение, так и нагрузки от аварийного взрыва боеприпаса мощностью до 120 кг тротилового эквивалента внутри модуля.

Для усиления защиты и снижения степени возможного воздействия на окружающую среду хранилище, состоящее из трех блоков, выполнено внутри обвалованного котлована. Вход в каждый блок оснащен системой двойного шлюзования. Установленная в хранилище система вентиляции гарантирует качественную очистку выбросов в атмосферу при любой, предусмотренной проектом, аварийной ситуации. Все системы хранилища автоматизированы и снабжены дистанционным управлением. Установленное в хранилище оборудование защищено 15 авторскими свидетельствами на изобретения.



Боевой блок ракеты в контейнере



Блок хранилища специзделий

НЕОБЫКНОВЕННОЕ ОЗЕРО

В 1959 г. по инициативе Е.П. Славского институт ПромНИИпроект приступил к изучению проблемы промышленного использования энергии ядерных взрывов. Для этого специалистами института совместно с ИФЗ АН СССР, ИПГ ГУГМС, ВНИИП и ВНИИЭФ были выбраны в качестве приоритетных следующие прикладные направления:

- интенсификация добычи нефти и газа;
- строительство гидротехнических сооружений;
- создание искусственных водоемов в засушливых районах страны;
- вскрытие месторождений полезных ископаемых и др.

К 1964 г. учеными и специалистами была завершена разработка научно-технических обоснований, проектных заданий и рабочих чертежей на проведение экспериментальных ядерных взрывов в районе Грачевского месторождения нефти и взрыва на выброс для создания водохранилища на реке Чаган в Семипалатинской области (Казахстан).

В соответствии с решением Правительства 15 января 1965 г. впервые в Советском Союзе был произведен ядерный взрыв в мирных целях. Основной целью проведения экспериментального взрыва на р. Чаган являлось образование воронки выброса с перекрытием русла реки выброшенной массой грунта и последующим заполнением воронки паводковыми водами.

В результате экспериментального взрыва на выброс была получена уникальная научно-техническая информация, которой в то время не обладала ни одна страна в мире. Этот эксперимент позволил доказать принципиальную возможность создания искусственных водохранилищ с обеспечением сейсмической и радиационной безопасности.

В подготовке и проведении эксперимента на реке Чаган участвовали Е.П. Славский, Ю.Б. Харитон, М.А. Садовский, Е.К. Федоров, Б.И. Нифонтов, Г.А. Цырков, Е.А. Негин, Ю.А. Валентинов, В.Ф. Дороднов, Ю.В. Федоров и многие другие.

В том же 1965 г. был подготовлен и осуществлен подрыв трех ядерных зарядов на действующем Грачевском месторождении. Всего за период с 1965 по 1988 гг. в Советском Союзе в интересах народного хозяйства было проведено 124 ядерных взрыва.



Искусственное озеро на р. Чаган в семипалатинской области

УСТАНОВКА ДЛЯ ЛИКВИДАЦИИ ПОЖАРА НА ГАЗОВОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

В 1963 г. на газовом месторождении Урта-Булак в Узбекистане, в результате нарушения технологии бурения одной из скважин, вспыхнул огневой факел. В пламени гигантской свечи, поднявшейся на высоту свыше 120 метров, за одни только сутки сгорало более 10 млн. кубометров ценнейшего природного газа. Все попытки по заглушению аварийной скважины тяжелыми растворами через специально пробуренные на глубину 2400 - 2500 метров дополнительные скважины не увенчались успехом. Сильно возросшее давление газа в аварийной скважине и его распространение в проницаемые пласты породы привело к образованию на поверхности земли грифонов с большим содержанием сероводорода. Их быстрое распространение грозило отравлению воздуха большого района с населенными пунктами. Было принято решение о перекрытии ствола скважины подземным взрывом ядерного заряда. После разработки соответствующего проекта (ВНИИ протехнологии) по соседству с огненным факелом появилась новая буровая вышка, с которой началось бурение наклонной скважины. В эту скважину на глубину 1500 метров намечалось опустить ядерный заряд (КБ-11) необходимой формы и мощности. Взрыв должен был состояться в пластичных породах под газонепроницаемыми пластами.

К 30 сентября 1966 г. все работы по спуску ядерного заряда и цементированию скважины для предотвращения прорыва газа в вышележащие горизонты были завершены. Машины и люди были отведены с боевой площадки за пятикилометровую зону. Председатель государственной комиссии, Министр среднего машиностроения СССР Е.П. Славский, дал команду на проведение взрыва. Через 23 секунды после подрыва ядерного заряда рев огня, бушевавшего три года подряд, прекратился навсегда. Дозиметрическая разведка не обнаружила радиоактивности ни в воздухе, ни на земле вокруг аварийной скважины.



*Установка для ликвидации пожаров в скважинах диаметром 920 мм
на глубинах до 1000м*

*Установка для ликвидации пожаров в скважинах диаметром 720 мм
на глубинах до 550м*



ПОДВОДНАЯ ЛОДКА «ЛЕНИНСКИЙ КОМСОМОЛ»

В середине ноября 1946 г. ученым секретарем НТС ПГУ Б.С. Поздняковым по поручению Б.Л. Ванникова был подготовлен один из первых планов работ по использованию ядерной энергии в народнохозяйственных целях.

24 марта 1947 г. на заседании НТС из трех основных направлений работ по созданию реактора для атомной электростанции, атомного самолета и корабля было признано целесообразным приступить к научно-исследовательским и проектным работам по морским энергосиловым установкам.

К сентябрю 1952 г., когда Правительство СССР приняло постановление о строительстве опытной атомной подводной лодки (АПЛ), работы по разработке проекта реактора велись в Лаборатории №2, Институте физических проблем, ОКБ «Гидропресс», НИИХИММАШе и Лаборатории «В». Институтами было предложено восемь вариантов реакторов для лодки. 25 ноября Совет Министров СССР принял постановление, определившее план работ по проектированию объекта 627 (одно из условных наименований лодки) на период с ноября 1952 г. по март 1953 г.

Реакторную установку предполагалось выполнить в нескольких вариантах:

- водографитовый - разработчики Лаборатория «В» и НИИХИММАШ;
- с жидкометаллическим теплоносителем - разработчики ОКБ «Гидропресс» и Лаборатория «В»;
- водо-водяного типа - разработчики Лаборатория №2 и НИИХИММАШ. Общее научное руководство работами было поручено А.П. Александрову (Лаборатория №2), главным конструктором энергетической установки был назначен Н.А. Доллежалъ (НИИХИММАШ), а проекта подводной лодки - В.Н. Перегудов (СКБ-143, СПМБМ «Малахит»). В начале 1953 г. в качестве основного был принят вариант водо-водяного реактора корпусного типа, не имеющего к тому времени еще аналогов наземных АЭС.



Атомная подводная лодка «Ленинский комсомол»



Герои Советского Союза Л.М. Жильцов, А.И. Петелин, Р.А. Тимофеев

Разработка паротурбинной установки для АПЛ была возложена на М.А. Казака; реакторов - В.Д. Максименко, И.И. Африкантова и Ю.И. Кошкина; электрооборудования — А.В. Мозилевского, радиоэлектроники - Н.А. Чарина; навигационного оборудования - Э.И. Эллера; гидроакустики - Е.И. Алдышкина; регенерации воздуха - В.С. Шпака; стали - Г.И. Копырина и В.А. Горынина; архитектуры корабля - К.К. Фадаевского и В.И. Першина, ядерного оружия - А.М. Борушко.

Атомная подводная лодка была спроектирована двухкорпусной, с сечением прочного корпуса круговой формы. Ограждение рубки имело плавные обводы и минимальные размеры. В качестве конструкционного материала корпуса была применена новая для того времени сталь с повышенными механическими характеристиками, позволявшая обеспечить впервые в отечественном подводном кораблестроении глубину погружения 300 м. Восемь переборок делили корпус на девять отсеков. В пятом отсеке находились расположенные в диаметральной плоскости два реактора тепловой мощностью по 70000 кВт каждый и два парогенератора с их вспомогательными механизмами, теплообменными аппаратами и системами. Пульт управления реактора, а также все другие органы управления находились в третьем отсеке. Лодка имела 8 носовых 530-мм торпедных аппаратов с общим боекомплектом 20 торпед.

Торжественная закладка лодки состоялась 24 сентября 1955 г. на заводе № 402 в г. Молотовске (г. Северодвинск). 9 августа 1957 г. методом поперечного спуска опытная атомная подводная лодка проекта 627 была спущена на воду и 13-14 сентября состоялись загрузка топлива и первый физический пуск реакторов. 1 июля 1958 г. на АПЛ, получившей шифр К-3, был поднят флаг ВМФ СССР, а 4 июля во время ходовых испытаний в Белом море впервые на АПЛ был дан ход от атомной энергетической установки.

В 1962 г. атомная подводная лодка под командой Л.М. Жильцова побывала в подполюсном районе и всплыла на Северном полюсе. В октябре 1962 г. первой советской атомной подводной лодке было присвоено имя «Ленинский комсомол». Все без исключения члены команды награждены орденами и медалями, а руководитель похода контр-адмирал А.И. Петелин, командир лодки капитан 2-го ранга Л.М. Жильцов и инженер-механик корабля инженер-механик 2-го ранга Р.А. Тимофеев были удостоены звания Героя Советского Союза. В 1989 г. СПМБМ «Малахит» был разработан проект создания на базе АПЛ К-3 «Ленинский комсомол» музея-памятника.

АТОМНЫЕ ПОДВОДНЫЕ ЛОДКИ С ЖИДКОМЕТАЛЛИЧЕСКИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

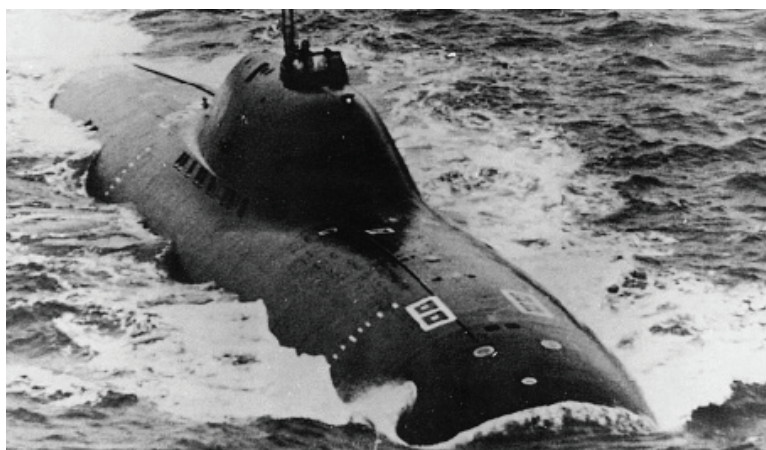
Разработка двух направлений установок подводных лодок с водяным и жидкометаллическим теплоносителем была вызвана большим количеством проблем в создании морских атомных энергетических установок, порождаемых очень жесткими требованиями. Оба направления начали развиваться практически одновременно, но в связи с освоением нового типа теплоносителя, по которому в то время не имелось никакого опыта, жидкометаллическое направление задержалось на старте.

Первый проект реактора с жидкометаллическим теплоносителем свинец-висмут был выполнен в 1956 г. По сравнению с водо-водяным реактором, он имел более низкое давление в первом контуре и более высокий температурный потенциал, что в перспективе позволило достичь более высокий коэффициент полезного действия. Специфические особенности проекта потребовали создания наземного стенда, а также проведения огромного комплекса исследований по реакторной физике, теплообмену и гидродинамике, технологии теплоносителя, коррозии материалов, безопасности, системам контроля, разработке тепловыделяющих элементов и оборудования, работающих в сплаве свинец-висмут.

В результате многолетней работы ГНЦ РФ-ФЭИ, ОКБ «Гидропресс» и ряд других институтов и КБ стали обладателями уникальной, не имеющей в то время мировых аналогов, реакторной технологии. Закладка опытной подводной лодки К-27 (проект 645, главный конструктор А.К. Назаров) с двухреакторной паропроизводящей установкой с жидкометаллическим теплоносителем из сплава свинец-висмут состоялась 15 июня 1958 г. на заводе № 402 в г. Северодвинске, а 1 апреля 1962 г. лодка была спущена на воду. После вступления в конце октября 1963 г. в состав ВМФ СССР атомная подводная лодка совершила два длительных похода на полную автономность: один продолжительностью 52 сут., другой - 60 сут. Позднее в СССР была построена небольшая серия из 7 лодок второго поколения (проекты 705 и 705К). Благодаря компактности мощной энергоустановки эти лодки имели минимальное водоизмещение и высокие скорости. Достижения жидкометаллического направления явились важным стимулятором работ по усовершенствованию реакторных установок с водяным теплоносителем.



*Стенд с жидким металлом для
исследования динамики течений
и температурных полей
реакторов*



Атомная подводная лодка проекта 705

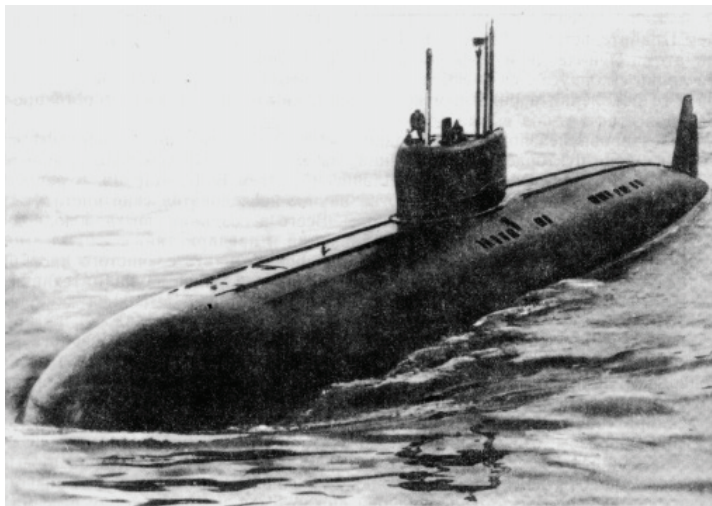
АТОМНАЯ ПОДВОДНАЯ ЛОДКА ПРОЕКТА 661

В декабре 1959 г. вышло постановление ЦК КПСС и СМ СССР «О создании новой скоростной подводной лодки, новых типов энергетических установок и научно-исследовательских, опытно-конструкторских работ для подводных лодок». В соответствии с этим постановлением в СССР была построена единственная в мире атомная подводная лодка проекта 661 (К-162), главный конструктор Н.Н. Исанин, а затем Н.Ф. Шульженко.

Лодка должна была стать первой высокоскоростной подводной лодкой с корпусом из титанового сплава, с атомной энергетической установкой второго поколения, ракетным комплексом с крылатыми ракетами, стартующими из-под воды. В создании лодки проекта 661 участвовали сотни организаций и предприятий. Энергетическая установка подводной лодки состояла из двух автономных групп правого и левого борта. Каждая группа включала атомную паропроизводящую установку, трубозубчатый агрегат и автономный турбогенератор. Мощная атомная энергетическая установка в сочетании с рядом новых конструктивных решений в части архитектурных форм корпуса позволила получить высокие скоростные характеристики, превосходящие в то время аналогичные характеристики как отечественных, так и зарубежных АПЛ.

На государственных испытаниях при мощности реактора 90-92% полная скорость составила 42 узла вместо 37-38 по проекту. В период опытной эксплуатации на лодке была зафиксирована скорость 44,7 узла.

К сожалению, в ходе государственных испытаний и последующей эксплуатации подводной лодки в составе ВМФ, был выявлен ряд конструктивных недостатков. При высоких скоростях подводного хода начинал возрастать внешний гидродинамический шум, который создавался турбулентными потоками при обтекании корпуса лодки. Кроме того, лодка имела и существенный тактический недостаток. При массированном ракетном ударе по противнику для выпуска всего боекомплекта ракет требовалось произвести два ракетных залпа, интервал между которыми составлял около 3 мин. Устранение этих недостатков требовало коренной переработки конструкции лодки, что было признано нецелесообразным. В 1988 г. лодка, вступившая в строй 31 декабря 1969 г., была исключена из состава Северного флота СССР.



Атомная подводная лодка проекта 661

АТОМНЫЕ ПОДВОДНЫЕ ЛОДКИ ТРЕТЬЕГО ПОКОЛЕНИЯ

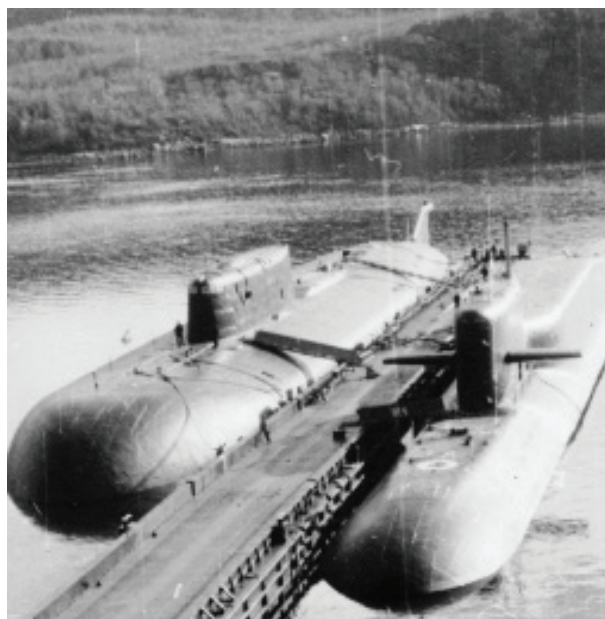
Строительство атомных подводных лодок третьего поколения типа «Акула» (проект 941), который на Западе называют «Тайфун», было начато в 1977 г. Проект «Акулы» разработан в Ленинградском конструкторском бюро «Рубин». Головная лодка этого проекта была заложена в марте 1977 г., а в декабре 1981 г. подводный ракетоносец вступил в строй.

К 1989 г. было построено 6 АПЛ типа «Акула», способных нести до 200 ракет с ядерными боеголовками. Атомный подводный ракетный крейсер стратегического назначения проекта 941 представляет собой своего рода катамаран. Два прочных корпуса диаметром по 7,2 м были объединены одним легким корпусом, что придает лодке необычно широкий вид. В каждом из корпусов, разделенных на 8 отсеков, находится по одному атомному реактору типа ОК-650 мощностью 50000 л.с. каждый и одной паровой турбине. Реакторные установки позволяют лодке поддерживать скорость подводного хода до 27 узлов.

Между корпусами лодки расположены еще три прочных модуля и 20 шахт для баллистических ракет типа РСМ-52 с дальностью полета 8300 км. Особенностью подводных лодок типа «Акула» стали сравнительно комфортные условия жизни экипажа: на лодке есть бассейн, сауна и даже оранжерея.

Примерно в это же время в состав Северного флота была принята первая атомная подводная лодка проекта 949. Для борьбы с авианосными группировками вероятного противника лодка оснащалась крылатыми ракетами типа «Гранит».

В 1995 г. в России была спущена на воду первая атомная подводная лодка 4-го поколения проекта 885 «Северодвинск».



Атомные подводные лодки у причала



Атомная подводная лодка проекта 949 в походе

ТЯЖЕЛЫЙ АТОМНЫЙ РАКЕТНЫЙ КРЕЙСЕР

Среди крупнейших отечественных научно-технических достижений в послевоенное время важное место занимают разработка, создание и освоение в серийном производстве и эксплуатации атомных энергосиловых установок для подводных лодок и кораблей Военно-морского флота, а также судов гражданского флота. По своей масштабности, по большому числу подлежащих решению научных, конструкторских и технологических задач создание судовых ЯЭУ правомерно поставить в один ряд с созданием ядерного оружия, реактивной авиации и космических систем.

Судовая ЯЭУ - это самый сложный технический комплекс, включающий помимо реактора, в котором обеспечивается преобразование энергии ядерного распада в тепло, еще и целый набор сложного и ответственного технологического оборудования - насосы, парогенераторы, системы управления реактором и энергоустановкой, турбина с редуктором, фильтры, теплообменники, компрессоры, различные приборы и др. Для обеспечения эксплуатации объектов с судовыми ЯЭУ дополнительно требуются: специально оборудованные базы с рядом береговых служб, специальные средства и устройства для загрузки свежего и для выгрузки отработавшего ядерного топлива, сбора, хранения и переработки твердых и жидких радиоактивных отходов и т.п.



Тяжелый атомный ракетный крейсер проекта 1144 «Киров»



Тяжелый атомный ракетный крейсер «Петр Великий»

Предварительное проектирование боевого надводного корабля-атомохода началось в СССР в 1964 г. Первоначально планировалось создать 8000-тонный противолодочный корабль с ядерной энергетической установкой, однако постепенно и заказчики, и конструкторы пришли к выводу о целесообразности проектирования более крупного многоцелевого крейсера. Так родился проект 1144 - самый большой в мире ударный неавианесущий боевой корабль - правнук броненосных линкоров и линейных крейсеров.

Решение о строительстве крейсера, получившего название «Киров» (впоследствии «Адмирал Ушаков»), было принято Правительством СССР в сентябре 1969 г. Проектирование реакторной установки, получившей индекс КН-3, поручалось ОКБМ Минсредмаша (главный конструктор Ф.М. Митенков) при научном руководстве «Курчатовского института» (научный руководитель Н.С. Хлопкин). Монтаж ППУ КН-3 на атомный крейсер «Киров» был выполнен в 1978 г., а в апреле-мае 1980 г. в Ленинграде на Балтийском заводе были проведены комплексные швартовые испытания главной энергетической установки. После проведения Государственных ходовых испытаний крейсер был принят в состав ВМФ. Создатели крейсера и ППУ КН-3 в 1985 г. были удостоены Государственных премий СССР. В 1984, 1988 и 1996 гг. в состав ВМФ были приняты атомные крейсера «Фрунзе» («Адмирал Лазарев»), «Калинин» («Адмирал Нахимов») и «Андропов» («Петр Великий»).

Флагманом Российского флота является тяжелый атомный ракетный крейсер «Петр Великий». Атомная энергетика обеспечила крейсеру огромные дальность плавания (14000 миль), автономность (60 суток) и скорость хода до 32 узлов. Главное оружие крейсера - крылатые ракеты «Гранит», установленные в наклонных шахтах в носовой части корабля.

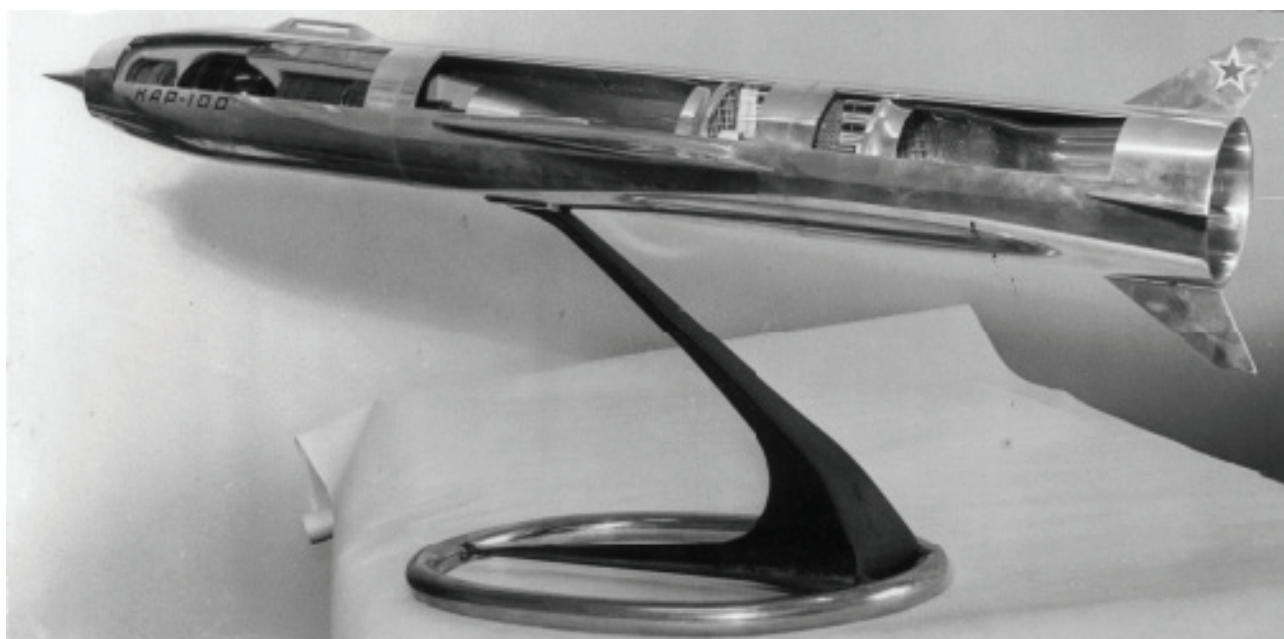
АТОМНЫЙ САМОЛЕТ-СНАРЯД

В конце 40-х - начале 50-х годов в иностранной научно-технической литературе широко обсуждались различные схемы атомных силовых установок для транспортных целей, в т.ч. для авиации. К наиболее реальным и перспективным проектам иностранные специалисты относили ядерные энергетические установки с применением турбин замкнутого цикла, а также с использованием турбокомпрессорного воздушно-реактивного двигателя, камеры сгорания которого заменены ядерным реактором или теплообменниками.

Сообщения о некоторых проектах таких реакторов прозвучали на 1-й Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии в 1955 г. К этому времени, и это нашло свое отражение в ряде выступлений И.В. Курчатова середины 50-х годов, проблема создания различных ядерных установок для самолетов и бурно развивающейся ракетной техники стала самостоятельным и очень важным направлением научных исследований Советского Союза.

В конструкторских бюро Туполева, Лавочкина, Мясищева, Королева, в ядерных центрах под руководством И.В. Курчатова, А.П. Александрова, А.И. Лейпунского и др. прорабатываются различные варианты пилотируемых и автономных самолетов, прямоточных и турбореактивных двигателей, реакторы на тепловых и быстрых нейтронах, реакторы с воздушным и промежуточным жидкометаллическим охлаждением, безоболочечные керамические тепловыделяющие элементы и ТВЭЛы в металлических оболочках.

Проведенный в течение 1952-1953 гг. анализ различных систем показал, что наиболее эффективным двигателем на ядерном горючем для сверхзвукового самолета-снаряда дальнего действия с астронавигационной системой управления является прямоточный воздушно-реактивный двигатель, при этом мощность реактора должна быть не менее 135 тыс. кВт, а скорость самолета - более 3200 км/час. На основе исследовательских проработок И.В. Курчатова,



Модель атомного самолета-снаряда KAP-100

М.В. Келдыш и А.П. Александров вышли в Правительство с предложением о создании самолета-снаряда.

Разработка эскизного проекта самолета-снаряда была поручена КБ С.А. Лавочкина, а двигателя - КБ А.М. Люлька. Изготовление модельного высокотемпературного керамического реактора и опытного натурного двигателя предполагалось завершить в 1958 г. Однако работы затянулись. Рабочий проект экспериментального реактора был завершен «Курчатовским институтом» только в 1960 г., а штатная активная зона экспериментального реактора с тепловыделяющими элементами из окиси бериллия с добавкой двуокиси обогащенного урана-235 была изготовлена только в 1963-1964 гг.

Успехи в разработке и создании межконтинентальных баллистических ракет в корне изменили отношение к теме, и в 1965 г. все работы по созданию атомного самолета-снаряда были прекращены. Однако полученные знания и опыт были использованы при разработке многих видов космических ядерных энергетических установок.

ПЕРВАЯ В МИРЕ АЭС

27 июня 1954 г. в г. Обнинске в 105 км от Москвы состоялся пуск первой в мире АЭС электрической мощностью 5000 кВт. Начало работ по первой в мире АЭС относится к концу 40-х годов. Первоначально предусматривалось сооружение станции, как прототипа корабельной ядерно-энергетической установки и только в феврале 1950 г. на совещании у начальника Первого главного управления при Совете Министров СССР Б.Л. Ванникова было принято решение использовать эту установку в качестве стационарной АЭС. Конструктором реактора был утвержден академик Н.А. Доллежал, научным руководителем - академик И.В. Курчатов. Рассматривались различные варианты ядерного реактора первой в мире АЭС, однако был выбран вариант вертикального уран-графитового реактора по типу промышленного реактора А с изменениями, необходимыми для обеспечения энергетического режима работы. Был изменен тип тепловыделяющих элементов, так как необходимо было обеспечить высокие параметры теплоносителя. Была предусмотрена замкнутая система теплоотвода от реактора, рассчитанная на выработку пара и др.

Пуск и последующая эксплуатация первой в мире АЭС позволили понять уровень сложности научно-технических проблем по созданию атомной энергетики и наметить программу НИОКР. Особую роль в пуске первой в мире АЭС сыграл Е.П. Славский, который полностью отвечал за обеспечение ее ввода.

Первая в мире АЭС долгие годы являлась базой по проверке основных технических решений по различным типам энергетических реакторов, а также школой, где оттачивалось мастерство не одного поколения реакторщиков.



Здание первой в мире АЭС

ПЕРВЫЙ В МИРЕ ДВУХЦЕЛЕВОЙ РЕАКТОР ЭИ-2

Эксплуатация первых промышленных уран-графитовых реакторов показала, что наряду с производством оружейного плутония можно использовать тепловую энергию, выделяющуюся при делении ядер урана, для выработки электроэнергии. В результате проведенных исследований был разработан и построен на Сибирском химическом комбинате в Томске промышленный уран-графитовый реактор ЭИ-2, который одновременно производил электрическую энергию и оружейный плутоний. Пуск этого реактора осуществлен в 1958 г. Электрическая мощность реактора ЭИ-2 составляла 100 МВт, часть вырабатываемого тепла использовалась для отопления жилых зданий и производственных нужд. Разработку проекта реактора осуществил Научно-исследовательский институт энерготехники под руководством академика Н.А. Доллежала, научное руководство осуществлял Институт атомной энергии под руководством академиков И.В. Курчатова и А.П. Александрова.

Для достижения поставленной задачи были внесены значительные изменения в конструкцию реактора ЭИ-2 по сравнению с существовавшими промышленными реакторами. Во-первых, был предусмотрен замкнутый контур отвода тепла от активной зоны реактора вместо проточной схемы. Теплоноситель первого радиоактивного контура нагревал в парогенераторах теплоноситель второго, нерадиоактивного контура для получения низкотемпературного пара, который направлялся в турбогенераторы для выработки электроэнергии. Во-вторых, были увеличены параметры охлаждающей воды первого контура, что потребовало использования новых конструкционных материалов технологических каналов и оболочек твэлов. В-третьих, была изменена схема перегрузки реактора и конструкция перегрузочных механизмов. В-четвертых, в проекте была предусмотрена система преобразования тепловой энергии реактора в электрическую, т.е. имелся машинный зал со всеми необходимыми для этого устройствами и системами.

Доклад по реактору ЭИ-2 был представлен академиком Н.А. Доллежалем на Женевской конференции по мирному использованию атомной энергии и положительно воспринят научной общественностью.

Опыт эксплуатации двухцелевого реактора ЭИ-2 был учтен при создании серии двухцелевых промышленных уран-графитовых реакторов типа АДЭ, а также при создании отечественных энергетических реакторов других типов. В настоящее время реактор ЭИ-2 выведен из эксплуатации.



Центральный зал реактора ЭИ-2

ЛЕНИНГРАДСКАЯ АТОМНАЯ СТАНЦИЯ

Успешный опыт работы одноконтурных реакторов с водным теплоносителем на Белоярской АЭС (блоки 1 и 2) и промышленных атомных реакторов в Томске-7 и Красноярске-26 позволил в начале 60-х годов создать двухцелевой реактор большой мощности для производства электроэнергии и некондиционного плутония.

В декабре 1963 г. НИКИЭТом по техническому заданию ИАЭ была выполнена разработка, а 30 июня 1964 г. закончен проект такого реактора. В декабре 1964 г. ИАЭ выдвинул предложение о проектировании и сооружении новых АЭС с реактором РБМК - энергетическим водно-графитовым реактором канального типа.

29 сентября 1966 г. вышло постановление Правительства о назначении НИКИЭТа головной организацией по проектированию реакторной установки РБМК. Главным конструктором был назначен Н.А. Доллежал. Научное руководство работой было возложено на ИАЭ (директор А.П. Александров).

В апреле 1967 г. на берегу Финского залива в 80 км от Ленинграда началось сооружение первой очереди станции. Сборка и монтаж первого реактора начались весной 1971 г. Физический пуск первого реактора РБМК состоялся 12 сентября 1973 г., а 1 ноября 1974 г. он был выведен на проектную мощность. В последующие годы, с января 1976 г. по август 1981 г., введены в эксплуатацию еще три энергоблока. С вводом последнего, 4-го реактора мощность ЛАЭС составила 4 млн. кВт.

Принципиальными особенностями реакторов РБМК является одноконтурная схема теплоотвода с охлаждением ядерного топлива пароводяной смесью, образующейся в активной зоне. Пар из реактора, после прохождения специальных сепараторов, направляется непосредственно в турбины для выработки электроэнергии. На станции установлено 8 турбогенераторов мощностью 500 МВт каждый.



Главный пульт управления первого блока Ленинградской атомной станции



Ленинградская атомная станция

Успешная эксплуатация ЛАЭС способствовала разработке других проектов АЭС с реакторами РБМК: Курской (декабрь 1976 г.), Чернобыльской (сентябрь 1977 г.), Смоленской (декабрь 1982 г.). В 1982 г. был пущен первый реактор РБМК-1500 с мощностью 1500 МВт на Игналинской АЭС (Литва).

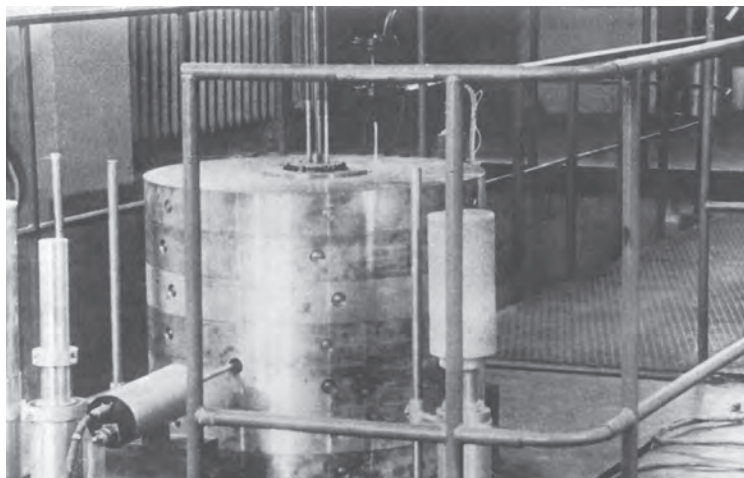
За время эксплуатации ЛАЭС специалисты станции и ведущие проектно-конструкторские организации осуществили большую работу по обеспечению надежной эксплуатации реакторов этого типа, особенно после аварии на Чернобыльской АЭС.

ПЕРВЫЙ ФИЗИЧЕСКИЙ РЕАКТОР НА БЫСТРЫХ НЕЙТРОНАХ БР-1

Изучение перспектив расширенного производства ядерного топлива в реакторах на быстрых нейтронах было начато в Лаборатории «В» еще в 1949 г. Для экспериментального определения коэффициента воспроизводства и других характеристик таких реакторов в Обнинске в 1955 г. под руководством А.И. Лейпунского был построен первый в Европе физический реактор БР-1.

Реактор БР-1, мощностью всего 50 Вт, не имел защиты от излучения и специальной системы охлаждения. Его активная зона состояла из плутониевых стержней и была окружена экраном из урана. Выполненные на реакторе измерения показали, что коэффициент воспроизводства может достигать 2-2,5 и, таким образом, впервые была в нашей стране подтверждена практическая возможность расширенного воспроизводства ядерного топлива.

В 1956 г. в Лаборатории вступил в строй реактор БР-2 с использованием ртути для системы охлаждения.



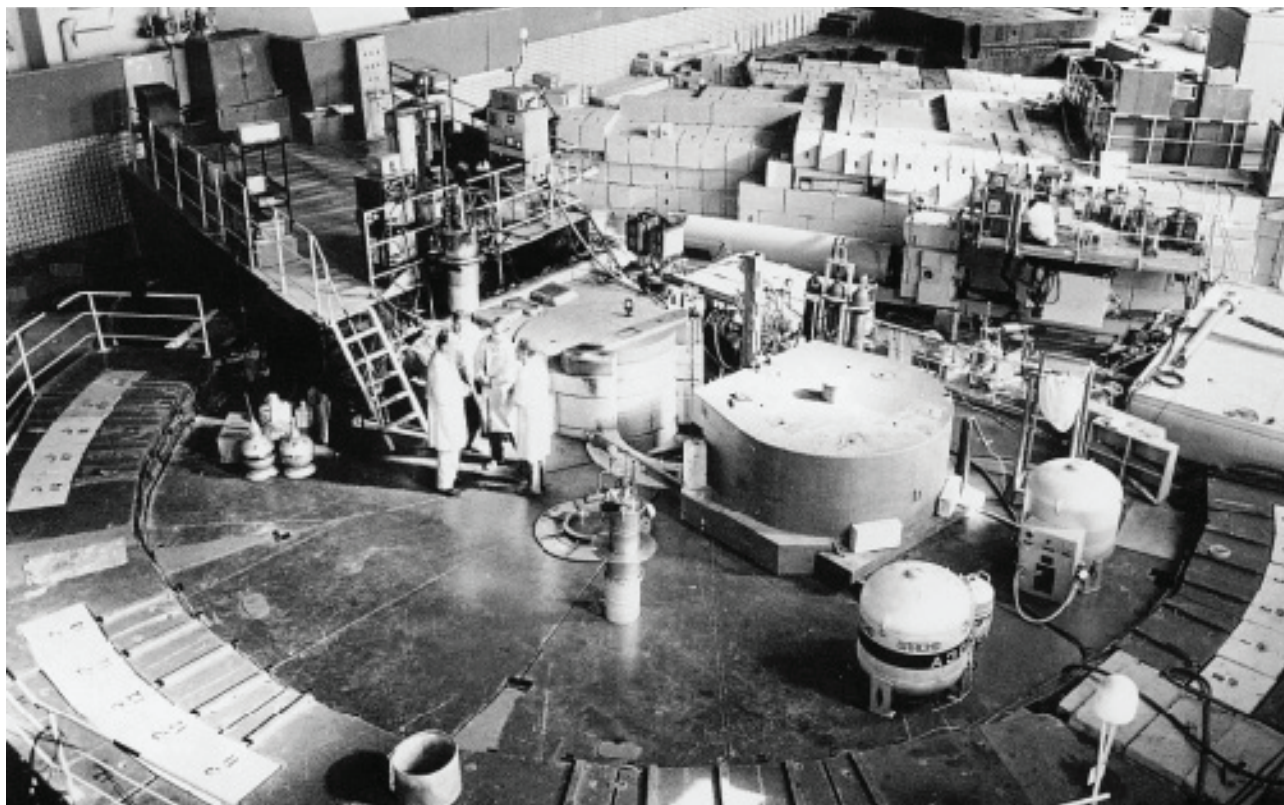
*Первый в Европе физический реактор
на быстрых нейтронах БР-1*

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ВЫСОКОПОТОЧНЫЙ ИМПУЛЬСНЫЙ РЕАКТОР ИБР-2

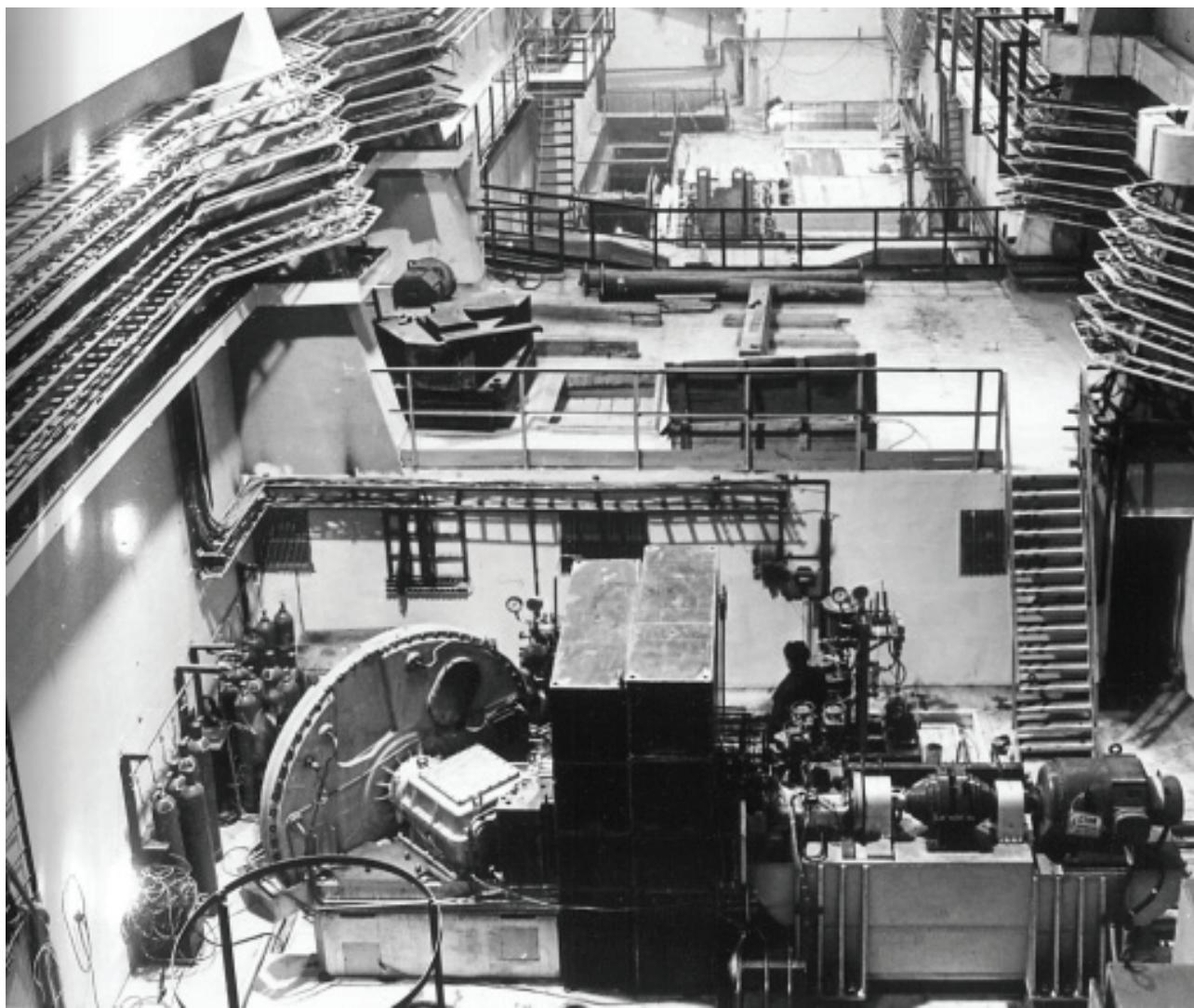
Работы над проектом исследовательского высокопоточного импульсного реактора периодического действия ИБР-2 были начаты в НИКИЭТ в 1966 г. К работам были привлечены ГСПИ-12 (проектные работы), ВНИИНМ и химкомбинат «Маяк» (топливные элементы).

В 1968 г. в Физико-энергетическом институте состоялась первая критическая сборка реактора, а затем, в течение 1970-1975 гг., стендовые исследования макета подвижного отражателя. 30 ноября 1977 г. в Обнинске состоялся физический пуск реактора (без теплоносителя), а в апреле 1982 г. - энергетический пуск. 10 февраля 1984 г. реактор ИБР-2 был введен в эксплуатацию в Лаборатории нейтронной физики ОИЯИ.

Заключенная в двойной шестигранный корпус, по которому прокачивается натриевый теплоноситель, активная зона реактора загружается топливом из двуокиси плутония (около 90 кг). С трех сторон активная зона, окруженная водяными замедлителями нейтронов, просматривается 14 горизонтальными каналами, а с четвертой стороны вблизи активной зоны располагаются подвижные основной и дополнительный отражатели нейтронов, обеспечивающие механическую модуляцию реактивности с частотой 5 Гц. При одновременном прохождении отражателей вблизи активной зоны на реакторе генерируется импульс мощностью до 1500 МВт при средней тепловой мощности 2 МВт.



Спектрометрический комплекс ДИН-2К на базе реактора ИБР-2



Центральный зал реактора ИБР - 2

За время эксплуатации реактора ИБР-2 вокруг него был создан комплекс спектрометров, позволяющих проводить на современном уровне исследования с рассеянием нейтронов по всем актуальным проблемам физики конденсированных сред. Являясь экономичным и эффективным источником нейтронов, реактор ИБР-2 своей надежностью и безопасностью на практике подтвердил высокий уровень научной и инженерной мысли в нашей стране. В 1996 г. одиннадцать разработчиков и создателей уникального исследовательского высокопоточного реактора ИБР-2 были удостоены премии Правительства Российской Федерации в области науки и техники.



А.А. Бочвар



Д.И. Блохинцев

ШЕВЧЕНКОВСКАЯ АЭС

В 1972 г. состоялся физический, а в 1973 г. энергетический пуск реактора БН-350 Шевченковской АЭС. Реактор БН-350 является первой крупной ядерно-энергетической установкой, продемонстрировавшей в промышленном масштабе принципиальную возможность создания и эксплуатации энергетических реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем. Реактор БН-350 был выполнен по трехконтурной схеме теплоотвода, два первых контура содержали натриевый теплоноситель, а третий - являлся пароводяным.

Всего на реакторе имелось 5 работающих контуров и 1 резервный. Второй натриевый контур позволял отделить радиоактивный натрий от пароводяного теплоносителя третьего контура в случае аварии с разгерметизацией теплопередающих трубок парогенераторов. Как показал последующий опыт эксплуатации реактора БН-350, случаи разгерметизации теплопередающих трубок парогенераторов происходили несколько раз, однако наличие промежуточного натриевого контура позволило значительно облегчить ремонтные работы.

Реактор БН-350 представляет собой стальной корпус с защитным герметичным кожухом с двумя поворотными пробками, имеющим для герметизации корпуса два специальных гидрозатвора с натрий-калиевым сплавом, на которых размещаются механизмы приводов СУЗ и перегрузочный механизм.

Внутри корпуса устанавливаются тепловыделяющие сборки шестигранной формы с твэлами из обогащенного урана, что позволяет обеспечить коэффициент воспроизводства ядерного топлива 1,03.

Наряду с освоением натриевой технологии в промышленном масштабе, реактор БН-350 выполнял и другую, жизненно важную для населения г. Шевченко (ныне г. Актау, Казахстан) функцию. Тепло, вырабатываемое в реакторе БН-350, кроме производства электроэнергии, использовалось для получения дистиллированной воды за счет опреснения морской воды Каспийского моря в опреснительных установках. Из дистиллированной воды путем смешивания с солоноватой подземной водой приготавливали питьевую воду. Производительность комплекса БН-350 и опреснительных установок составляла 120 тыс. м³ питьевой воды в сутки. Шевченковская АЭС проработала с 1973 до 1999 года.



Шевченковская АЭС

БЕЛОЯРСКАЯ АЭС

Вторым из серии промышленных реакторов на быстрых нейтронах являлся реактор БН-600, пущенный в эксплуатацию на Белоярской АЭС в 1980 г. и имевший электрическую мощность 600 МВт. Проект реактора был выполнен специалистами ОКБМ, под научным руководством Физико-энергетического института.

Особенностью реактора БН-600 является интегральный вариант компоновки, при котором активная зона и оборудование 1 контура (циркуляционные насосы и теплообменники) находятся в едином корпусе. Интегральная компоновка позволяет сократить длину трубопроводов 1 контура и разместить их внутри прочного корпуса, что исключает вероятность аварии с разрывом трубопровода 1 контура. Реактор имеет урановую загрузку, что обеспечивает коэффициент воспроизводства ядерного горючего примерно 1,03.

В прошедшие годы на реакторе БН-600 проводились исследования смешанного уран-плутониевого топлива (МОХ-топливо) для будущих быстрых реакторов. На реакторе БН-600 накоплен большой опыт эксплуатации реакторов на быстрых нейтронах с натриевым теплоносителем, что позволило разработать проекты серийных реакторов на быстрых нейтронах БН-800 с электрической мощностью 800 МВт.



Белоярская АЭС

НОВО-ВОРОНЕЖСКАЯ АЭС

Начало работ по энергетическим реакторам корпусного типа с водяным охлаждением (типа ВВЭР) в бывшем СССР относится к 1954-1955 гг. Для сооружения первых ВВЭР была выбрана площадка в 70 км от г. Воронежа, получившая название Ново-Воронежской АЭС. Первый реактор ВВЭР-1 электрической мощностью 210 МВт был включен в сеть в 1964 г. и выведен из эксплуатации в 1984 г., второй ВВЭР-2 мощностью 365 МВт - в 1969 г. и 1990 г. соответственно. Затем в соответствии с Государственным планом строительства АЭС в СССР в течение 1971-1975 гг. было введено 6 реакторов ВВЭР-440 электрической мощностью 440 МВт каждый и 10 реакторов в Болгарии, бывшей ГДР и Чехословакии в период с 1974 г. по 1982 г. Одновременно была осуществлена разработка проекта реактора ВВЭР-1000 электрической мощностью 1000 МВт. В течение 1980-1993 гг. было введено в эксплуатацию 17 блоков ВВЭР-1000 в бывшем СССР и 2 блока - в Болгарии.

Устройство реакторов типа ВВЭР достаточно простое: имеется стальной корпус, выдерживающий рабочее давление 16 МПа, с крышкой, на которой размещены приводы поглощающих стержней системы управления и защиты. Внутри корпуса устанавливают тепловыделяющие сборки с обогащенным ядерным топливом. Особенностью реакторов ВВЭР-1000 последней разработки является использование принципа эшелонированной защиты в глубину наружной герметизирующей оболочки (контейнмента) для предупреждения выброса радиоактивности в случае аварии и т.д. Этот реактор предлагается использовать в качестве основного типа энергетических реакторов с водяным охлаждением.



Ново-Воронежская АЭС



Реактор Ново-Воронежской АЭС

ВЫСОКОПОТОЧНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР СМ-2

Высокопоточный исследовательский реактор СМ-2 - первый в мире исследовательский реактор мощностью 50000 кВт, работающий на промежуточных нейтронах при водяном замедлителе. Он был предназначен для накопления трансурановых элементов и исследований по ядерной физике, физике твердого тела, материаловедению, радиационной химии, физике и технике реакторостроения. Физический пуск реактора состоялся в г. Димитровграде в октябре 1961 г., а с ноября 1962 г. реактор эксплуатировался в Научно-исследовательском институте атомных реакторов (НИИАР) при номинальных параметрах.

Реактор СМ-2 имел очень небольшую активную зону, окруженную отражателем из окиси бериллия. Активная зона высотой 250 мм была набрана из 28 кассет сечением 70x70 мм, с пластинчатыми тепловыделяющими элементами. Тепловыделяющие элементы, содержащие уран 90%-го обогащения, покрывались никелевыми оболочками. В каждой кассете устанавливалось 54 трехслойных пластинчатых элемента толщиной 0,8 мм. Внутри корпуса реактора были предусмотрены ячейки для хранения свежих и отработанных кассет. Перегрузка кассет осуществлялась дистанционно с помощью специального механизма со штангами, без сброса давления в реакторе. Отработанные кассеты после использования всех запасных выгружались из реактора через наклонный канал.

Циркулирующая сверху вниз в зазорах тепловыделяющих элементов вода служила одновременно теплоносителем и замедлителем. Рабочая загрузка реактора составляла 18 кг U-235. Для проведения экспериментальных работ в реакторе предусматривалось пять горизонтальных и 18 вертикальных каналов. В центре активной зоны при извлечении четырех кассет образовывалась водяная полость сечением 140x140 мм и высотой 250 мм - ловушка нейтронов, в которую вставлялся центральный технологический канал.

В ходе эксплуатации на исследовательском реакторе СМ-2 была достигнута удельная (объемная) мощность 4500 кВт/л и средняя 1600 кВт/л. В 1964 г. в целях повышения запасов реактивности и обеспечения большей глубины выгорания ядерного топлива, были начаты работы по модернизации реактора СМ-2. После увеличения высоты активной зоны до 350 мм, замены пластинчатых твэлов на крестообразные и отражателей из окиси бериллия на отражатели из металлического бериллия, его мощность, при полной загрузке топливом, достигла 75000 кВт.

Последующие реконструкции реактора были произведены специалистами НИКИЭТа и НИИАРа в 1974 и 1992-1993 гг., после чего реактор получил новую аббревиатуру СМ-3.

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РЕАКТОР «МИР»

Развитие реакторостроения для атомных судов и электростанций в конце 50-х - начале 60-х годов потребовало отработки топлива для таких реакторов на специальных экспериментальных установках, где нужные величины энерговыделения в топливе, а также параметры теплоносителя - температура, давление, скорость потока создавались в экспериментальных каналах, устанавливаемых в активную зону высокопоточного исследовательского реактора и подсоединенных к специальному циркуляционному контуру («контур экспериментальной петли»). Первым реактором такого типа был специально созданный в СССР реактор РФТ (МР), однако его возможности были достаточно ограниченными. Именно поэтому в 1957 году НИКИЭТу совместно с ИАЭ была поручена разработка крупного реактора для петлевых испытаний топлива и конструкционных материалов, получившего название «МИР».

Технический проект канального реактора был разработан в 1958-1959 гг. Его активная зона, содержащая рабочие каналы с топливом, петлевые каналы с испытываемыми сборками и блоки бериллиевого замедлителя размещались в бассейне с водой, что обеспечивало как создание необходимых для испытаний нейтронных потоков, так и удобное и безопасное обслуживание реактора. Технический проект реактора «МИР» был выполнен в двух вариантах: с наклонными каналами и с вертикальными каналами. Проект с вертикальными каналами был осуществлен в 1967 г. на площадке НИИАРа в г. Димитровграде, а проект с наклонными каналами был использован при реконструкции реактора МР в ИАЭ им. Курчатова.

Реактор «МИР» мощностью 30 МВт в канально-бассейновом варианте успешно проработал в ИАЭ почти 30 лет и был выведен из эксплуатации в 1991 г.



Реактор ИРТ

АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ «ЛЕНИН»

На всех этапах развития советского судостроения созданию специализированных ледокольно-транспортных судов и ледоколов, обеспечивающих перевозки грузов в полярном бассейне, придавалось первостепенное значение. Особый размах эти работы приобрели в середине 50-х годов после пуска в эксплуатацию первой в мире АЭС. У истоков создания первого в мире надводного судна, движимого энергией атома, находились выдающиеся советские ученые и инженеры: И.В. Курчатов, А.П. Александров, В.И. Неганов, И.И. Африкантов, Б.Я. Гнесин, П.П. Березин, Н.К. Горбатенко, Н.А. Агафонов и многие другие. Ледокол «Ленин» был спроектирован и построен в исключительно короткий срок. Проектные работы были начаты в конце 1953 г., а в августе 1956 г. ледокол был заложен на стапеле Адмиралтейского завода в Ленинграде (С.-Петербурге) и уже в 1959 г. сдан в эксплуатацию.

При проектировании атомохода многие вопросы пришлось решать, не имея каких-либо надежных прототипов и проверенных решений. Во-первых, это в полной мере относилось к ядерной энергетической установке и обслуживающим ее системам, включая вопросы радиационной защиты экипажа и окружающей среды. Во-вторых, это был первый ледокол с паротурбозлектрической установкой. В-третьих, его мощность почти вдвое превышала все ранее построенные корабли. И, наконец, впервые создавался ледокол, рассчитанный на автономное длительное плавание в суровых условиях Арктики.

Уже первые годы эксплуатации подтвердили высокую эффективность атомного ледокола. Продолжительность навигации в Арктике увеличилась с 3-4 до 5-6 месяцев, более чем вдвое возросла скорость проводки судов, существенно увеличился объем грузоперевозок. В период шести навигаций ледокол «Ленин» участвовал в проводке 457 судов, пройдя за это время во льдах Арктики свыше 110 тыс. км. Его атомная энергетическая установка (перезарядка реакторов ядерным топливом осуществлялась в 1963 и 1966 гг., т.е. один раз в три года), проработала более 25 тыс. часов, показала высокую надежность эксплуатации при порывистой качке на волнении, ударах судна об лед и частых изменениях нагрузки.

За вклад в освоение Севера первый атомный ледокол в 1974 г. был удостоен высшей награды СССР - ордена Ленина. Успешная многолетняя эксплуатация ледокола «Ленин» подтвердила перспективность применения атомной энергии на ледоколах и крупнотоннажных ледокольно-транспортных судах.



Атомный ледокол «Ленин»

АТОМНЫЙ ЛЕДОКОЛ «АРКТИКА»

1 марта 1963 г. Совет Министров СССР принял решение о постройке нового атомного ледокола «Арктика». Местом постройки ледокола был определен Балтийский судостроительный завод им. С. Орджоникидзе, г. Ленинград (С.-Петербург). Закладка атомохода «Арктика» проекта 1052 (№ 700) состоялась 3 июня 1971 г. Он стал вторым ледоколом серии мощных атомоходов, разработанных конструкторским бюро под руководством В.И. Неганова.

К этому времени в ОКБМ была закончена разработка реактора «ОК-900А», имевшего отдельные отличия от реактора «ОК-900», установленного ранее вместо реактора «ОК-350» на первенце советского атомного флота ледоколе «Ленин». Наличие на Балтийском заводе кранов грузоподъемностью 350 т, а также внесенные в конструкцию реактора изменения, позволили реакторостроителям при сборке реактора использовать метод укрупненного агрегатирования. Вся паропроизводящая установка (ППУ) каждого борта была разбита на два основных агрегата, общей массой 290 и 205 т.

В начале мая 1973 г. начался монтаж реактора на ледокол, который 26 декабря 1972 г. в 15 час. 17 мин. был торжественно спущен на воду. К началу сентября 1974 г. все работы по монтажу реактора и строительству ледокола были завершены и в октябре 1974 г. начались швартовые испытания. Первые физические пуски реакторов состоялись 7 и 12 ноября 1974 г.

26 ноября 1974 г. ледокол был предъявлен Приемной комиссии для ходовых испытаний и 1 декабря 1974 г. в 2 час. 30 мин. вышел в море. Ходовые испытания атомного ледокола «Арктика» проводились в районе о. Готланд и г. Таллин и были успешно завершены 19 декабря 1974 г.



Атомный ледокол «Арктика»

30 декабря 1974 г. состоялась торжественная передача ледокола в эксплуатацию Мурманскому пароходству. 7 мая 1975 г. атомоход вышел из порта Мурманск на ледовые испытания, которые успешно закончились 18 июня 1975 г. Не заходя в порт Мурманск, ледокол «Арктика» начал свою первую навигацию.

Трудовыми усилиями коллективов более 350 объединений и предприятий, 100 научно-исследовательских, проектно-конструкторских и эксплуатационных организаций страны был создан уникальный атомный арктический ледокол с мощностью реакторных установок в 75000 л.с., водоизмещением в 26430 т, на котором был реализован целый ряд не имеющих аналогов в отечественной и мировой практике технических решений.

17 августа 1977 года «Арктика» (капитан Ю.С. Кучиев) впервые в мире достигла Северного полюса. Рейс протяженностью 7130 км (2980 км во льдах) из Мурманска к Северному полюсу и обратно выполнен за 13 суток.

Кроме ледокола «Арктика» были построены: «Сибирь» (№ 701), «Россия» [№ 702], «Советский Союз» (№ 703], «Урал» (№ 704); позднее на Балтийском ССЗ строились атомные ледоколы «Ямал», «Таймыр», «Вайгач» и лихтеровоз «Севморпуть». Атомные ледоколы серии «Арктика» работают на Северном морском пути, обеспечивая проводку судов в ледовых условиях.



Атомный ледокол «Арктика»

АТОМНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ ТЭС-3

Наряду с созданием крупных АЭС, в СССР получили развитие работы по созданию атомных энергетических установок относительно малой для ядерной энергетики мощности. Использовать АЭС малой мощности предполагалось в отдельных и труднодоступных районах страны. К проектируемым установкам предъявлялись достаточно жесткие требования:

- быть очень надежными, так как они должны являться единственными источниками энергии и тепла в районе;
- выработка электроэнергии должна сочетаться с поставкой тепла для промышленных и бытовых нужд;
- соответствовать местным условиям (сейсмичность района, отсутствие воды, низкие температуры и др.);
- иметь блочную конструкцию для ускорения монтажа установки, полностью смонтированную и отлаженную на заводе-изготовителе, а вес и габариты блоков должны соответствовать доступным транспортным средствам.

В 1961 г. в Обнинске была пущена в эксплуатацию опытная транспортируемая атомная энергоустановка ТЭС-3. Атомная электростанция ТЭС-3 имела реактор с водой под давлением. Оборудование установки было размещено на четырех самоходных гусеничных платформах с обогреваемыми кузовами вагонного типа, что позволяло эксплуатировать установку без сооружения специальных зданий. Подготовка площадки в этом случае сводилась в основном к сооружению биологической защиты. Тепловая мощность реактора составила 8800 кВт, а электрическая - 1500 кВт. Продолжительность работы реактора без перегрузки топлива - 8,3 месяца.

Опыт создания установки ТЭС-3 оказался удачным. Ее длительная эксплуатация в Физико-энергетическом институте подтвердила надежность, хорошую управляемость и удобство обслуживания.



Транспортируемая атомная энергоустановка ТЭС -3

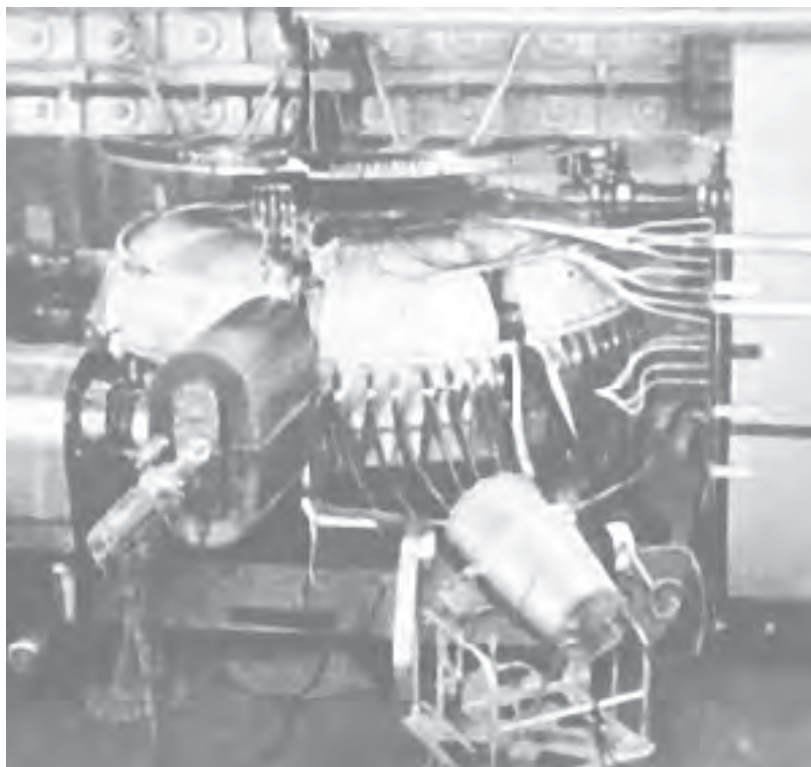
ТЕРМОЯДЕРНЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Необходимость поиска альтернативных источников энергии, сочетающих в себе высокие экономические характеристики, относительно низкие затраты на производство и возможность практически неограниченного обеспечения человечества энергией, привели к развитию работ по осуществлению самоподдерживающейся термоядерной реакции синтеза.

Одним из перспективных направлений явилось создание установок с внешним тороидальным магнитным полем и кольцевой плазмой - тороидальной камеры с магнитными катушками, получившей название «Токамак». Идея использования магнитного поля для термоизоляции плазмы в тороидальной системе была высказана и обоснована при первичных расчетах термоядерного реактора И.Е. Таммом и А.Д. Сахаровым в 1950 г.

В мае 1951 г. организация научно-исследовательских и конструкторских работ по получению самоподдерживающейся термоядерной реакции была возложена на Первое главное управление при Совете Министров СССР во главе с Б.Л. Ванниковым. Для рассмотрения научных и технических вопросов по проблеме термоядерного синтеза при ПГУ во главе с И.В. Курчатовым была создана специальная комиссия. В состав комиссии входили Л.А. Арцимович, Д.В. Ефремов, И.Е. Тамм, А.Д. Сахаров, И.Н. Головин, М.А. Леонтович, В.В. Владимирский.

Первые тороидальные камеры, изготовленные в 1951 г., были стеклянными, с большим и малым диаметром, соответственно 50 и 5 см. Камеры, после откачки воздуха, заполнялись водородом до предельного давления, при котором вихревое электрическое поле осуществляло пробой газа. Первые эксперименты дали температуру плазмы порядка 1-5 эВ.



Установка Токамак-3



Установка Токамак-14



Установка «Ангара-5-1»



Сверхпроводящая намотка Токамак-15

В 1953 г. в ЛИПАНе под руководством И.Н. Головина и Н.А. Явлинского была создана установка СК-1, на которой температура электронной части плазмы достигла 15 эВ. После определения В.Д. Шафрановым условий устойчивости плазменного шнура в продольном магнитном поле появилась возможность создания установок типа «Токамак».

Первый «Токамак (Т-1)» с камерой из тонколистовой нержавеющей стали и температурой плазмы 15 эВ был сооружен в 1958 г. В конце 1959 г. были начаты исследования на установке Т-2, имевшей отличную от Т-1 систему вакуумной откачки камеры и оснащенной системой предварительного прогрева камеры до 450° С. Мощность радиационных потерь энергии из плазмы значительно упала, а температура достигла 30 эВ.

В 1962 г. на установке Т-3, созданной в НИИЭФА, температура плазмы была доведена до 100-140 эВ. Позднее создаются модели Т-4, Т-6 и др.

В июне 1971 г. Правительство СССР принимает решение о сооружении установки «Токамак-10». Сооружение Т-10 проходило в условиях острого соперничества с лабораториями США, где создавался «Токамак ПЛТ» с параметрами, аналогичными Т-10.

После пуска в июне 1975 г. на «Токамаке-10», основные параметры которого были максимально приближены к будущему термоядерному реактору электростанции нового типа, была впервые получена достаточно чистая и устойчивая термоядерная плазма с числом нейтронов в импульсе в 100 раз больше, чем на Т-4. К 1987 г. мощность Т-10 достигла 4 МВт, а температура плазмы - 90 млн.° С. Накопленный опыт позволил советским специалистам перейти к сооружению более крупных термоядерных установок.

В 1978 г. в СССР был введен в действие первый в мире «Токамак» со сверхпроводящими катушками Т-7. Разработка сверх-проводников осуществлялась ВНИИНМ. В начале 80-х годов началось сооружение «Токамака-15» в г. Москве в ИАЭ им. И.В. Курчатова и «Токамака-14» (ТСП - с сильным тороидальным магнитным полем и с адиабатическим сжатием плазмы) в филиале ИАЭ в г. Троицке (теперь ГНЦ РФ ТРИНИТИ). В это же время в Троицком институте инновационных и термоядерных исследований по проекту НИИЭФА был начат монтаж установки «Ангара-5», позволяющей осуществлять широкий спектр исследований в области управляемого инерциального термоядерного синтеза. Начиная с 1978 г. советские специалисты активно участвовали в разработке проекта международного термоядерного реактора ИНТОР, а с 1988 г. - экспериментального термоядерного реактора ИТЭР. Концепция ИТЭР основывается на предложенной в России термоядерной системе «Токамак». ИТЭР - поистине грандиозное сооружение высотой с восьми - и диаметром с десятиэтажный дом. В реализации проекта участвуют Россия, США, Япония и страны Европейского сообщества.

СИНХРОТРОН НА ЭНЕРГИЮ 680 МЭВ

Наряду со строительством АЭС, в бывшем Советском Союзе происходило интенсивное развитие такой отрасли атомной промышленности, как создание различных типов ускорителей заряженных частиц, по своим параметрам не только не уступающим, но и во многом превосходящим зарубежные аналоги. Это стало возможным благодаря открытиям советских ученых, сделанных раньше или одновременно с зарубежными специалистами в области основополагающих принципов ускорения заряженных частиц.

В создание современной ускорительной техники внесли вклад такие известные научные центры, как Физический институт АН СССР (ФИАН), МГУ, Институт теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ), Харьковский физико-технический институт (ХФТИ), Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова (НИИЭФА), Московский радиотехнический институт (МРТИ), Объединенный институт ядерных исследований (ОИЯИ), Институт физики высоких энергий (ИФВЭ), Институт ядерной физики Сибирского отделения АН СССР и многие другие.

Благодаря усилиям специалистов этих научных центров были созданы кольцевые и линейные ускорители электронов, протонов и других заряженных частиц для проведения фундаментальных исследований в области ядерной физики и прикладных работ. Первые два кольцевых ускорителя электронов с энергией 30 и 250 миллионов электрон-вольт (МэВ), их называли синхротроны, были сооружены в ФИАНе в 1949 г.

На их основе были разработаны проекты синхротронов с большей энергией электронов. Самый крупный в мире в то время синхротрон на энергию протонов 480-680 МэВ был введен в действие 14 декабря 1949 г. в Дубне в филиале Лаборатории № 2 АН СССР (ныне это ОИЯИ). Его строительство началось в 1947 году. За два года в это сооружение было уложено 20 тыс. куб. м бетона. Одно только верхнее защитное перекрытие толщиной 2 м весило 10 тыс. т. На обмотку системы питания и управления было затрачено 500 км кабеля.

Синхротрон состоял из вакуумной камеры, в которой происходил процесс ускорения протонов, вращающихся по кольцевым орбитам под действием внешнего магнитного поля. Снаружи вакуумной камеры находилась магнитная система, создающая необходимой величины магнитное поле, управляемое по специальному алгоритму. Ускоренный пучок протонов выводился из вакуумной камеры наружу, в экспериментальный зал для проведения физических экспериментов. Для обеспечения работы ускорителя был предусмотрен также ряд других вспомогательных систем (системы ионного источника, энергоснабжения, технологического и радиационного контроля, биологической защиты, транспортной системы и т.д.).



*Лаборатория ядерных проблем
в ОИЯИ (г. Дубна)*



Синхротрон на энергию 680МэВ

На Дубненском ускорителе было выполнено большое число исследований в области ядерной физики и частиц высоких энергий, получивших международное признание.

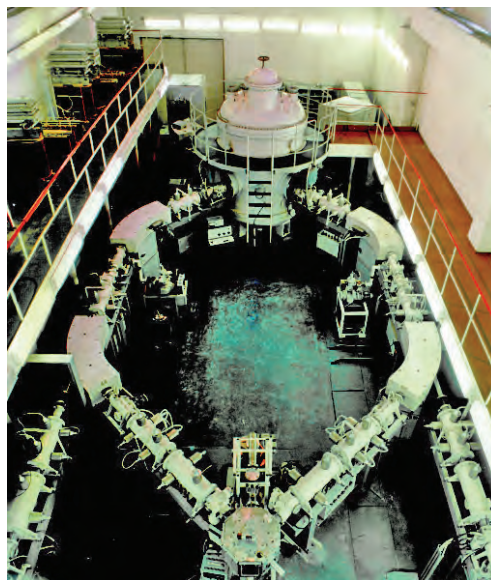
ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЧАСТИЦ

В числе первых научно-производственных организаций, созданных в середине 40-х годов для решения задач в области ядерной физики и физики высоких энергий, а позднее и управляемого термоядерного синтеза, был Научно-исследовательский институт электрофизической аппаратуры им. Д.В. Ефремова (тогда Особое конструкторское бюро «Электросила»).

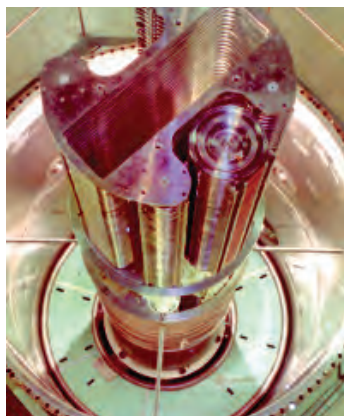
В конце 60-х годов в институте для проведения исследований в области ядерной физики и физики твердого тела была осуществлена разработка и изготовление целой серии электростатических ускорителей Ван-де-Граафа (серия ЭГ) и перезарядных ускорителей серии ЭГП с энергией протонов до 10 МэВ.

В последующие годы специалистами НИИЭФА были разработаны ускорители ионов дейтерия с энергией 150-300 кэВ и током пучка до 100 мА, являющиеся основным элементом нейтронных генераторов серии НГ. Шесть из 100 таких установок, широко применяемых для активационного анализа и радиационного материаловедения в исследовательских и заводских лабораториях, были поставлены в Германию, Болгарию, Ливию и Кубу.

В 1988 г. для Института ядерной физики (Казахстан) на базе каскадного генератора был разработан перезарядный ускоритель УКП-2-1. Он позволял одновременно ускорять легкие и тяжелые ионы и кроме исследовательских работ использовался для ионной имплантации.



*Перезарядный ускоритель
УКП-2-1 в г. Алма-Ата*



*Электростатический генератор
с перезарядкой ионов ЭГП-10-П,
Хельсинки, Финляндия*



*Нейтронный генератор
с повышенной интенсивностью
выхода нейтронов*

УСКОРИТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС НА ЭНЕРГИЮ 70 ГЭВ

Потребности теоретической ядерной физики и физики частиц высоких энергий поставили перед специалистами Минсредмаша задачу создания ускорителей протонов с большими энергиями. В качестве модели такого ускорителя в ИТЭФ в 1961 г. был введен в действие протонный синхротрон с жесткой фокусировкой протонов с энергией 7 млрд. эВ. Проведенные на нем исследования позволили специалистам ИТЭФ и НИИЭФА приступить к разработке ускорителя протонов У-70 с энергией 70 млрд. эВ. Сооружение крупнейшего в мире кольцевого ускорителя протонов было весьма сложным, поскольку опоры кольцевого магнита не должны были давать осадку (допускалось всего лишь 0,2 мм при весе магнита около 20 тыс. т).

Строительство уникального комплекса в приокском районе возглавил М.М. Царевский, которого в дальнейшем (из-за болезни) сменил С.Ф. Мальцев. В январе 1960 г. был вынут первый кубометр земли под котлован основного комплекса ускорителя. Кольцевой магнитный зал из сборных железобетонных элементов длиной по окружности около 1500 м располагался в среднем на 8 м ниже поверхности земли. При разработке котлована, соорудившегося открытым способом, было выбрано 384 тыс. куб. м грунта, а объем сборных железобетонных конструкций кольцевого зала составил 15560 куб. м. Верхней биологической защитой магнитного кольца служило пятиметровое обвалование из грунта.

При сооружении комплекса строителями было применено много новых инженерных решений. Так например, экспериментальный зал, длина которого составляла 156 м, а ширина 90 м, был перекрыт уникальным алюминиевым арочным перекрытием (для сравнения - перекрытия зимнего стадиона в Лужниках выполнены из углеродистой стали с пролетом 78 м). Всего было установлено 14 арочных пространственных ферм треугольного сечения и весом в 1985 кг каждая. По аркам укладывались кровельные панели из двух гофрированных алюминиевых листов с утеплителем между ними длиной 6 м, шириной 3 м и весом 400 кг.



*Макет размещения ускорительного комплекса
на энергию 70 ГЭВ*



*Обмоточный блок
сверхпроводящего диполя УНК*



Ускорительный комплекс на энергию 70 ГэВ

Весь монтаж перекрытия осуществлялся по поточной схеме, т.е. с подъемом конструкций в проектное положение с колес бригадой монтажников из 14 человек. 14 октября 1967 г. ускоритель У-70 был введен в действие. Его отличительной особенностью являлось использование метода жесткой фокусировки протонов для увеличения темпа ускорения и уменьшения потерь пучка и предварительное ускорение протонов до энергий примерно 1 млрд. эВ с помощью линейного ускорителя.

На ускорителе У-70 выполнено много оригинальных исследований и сделан ряд открытий в области физики частиц высоких энергий, среди которых следует отметить экспериментальное изучение природы ядерных сил, исследование свойств антивещества, поиск новых элементарных частиц и др. Исследования на ускорителе У-70 продолжаются и в настоящее время.

СЕРИЯ КЛАССИЧЕСКИХ ЦИКЛОТРОНОВ

Основное назначение циклотронов - проведение научных исследований в области физики элементарных частиц. Первый в мире циклотрон был изобретен Э. Лоуренсом в США в 1931 г. Первый советский циклотрон был построен в Радиовом институте (РИАНе), г. Ленинграде в 1937 г.

На фоне современных гигантских ускорителей частиц циклотроны выглядят как миниатюрные лаборатории. Однако их значение достаточно велико, поскольку только с их помощью могут быть получены так называемые нейтронно-дефицитные изотопы. Препараты циклотронных изотопов отличаются высокой удельной активностью и химической чистотой, они активно используются в медико-биологических исследованиях.

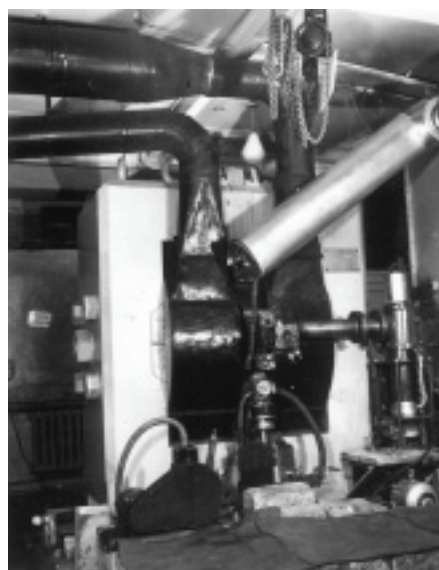
Основой для создания серии классических циклотронов послужило создание в 1951 г. циклотрона Р-7. Циклотроны этого типа были построены и введены в эксплуатацию в 1957 г. в МГУ и в 1959 г. в Томском политехническом институте. Эти циклотроны оснащались фазотронными приставками, позволявшими получить ускоренные протоны с энергией 20 МэВ.

В дальнейшем специалистами НИИЭФА, головной организации России по проектированию лазерной и ускорительной техники, были разработаны проекты циклотронов серии «У» с диаметром полюсов 120, 150, 240 и 310 см. Первая серия циклотронов У-120 предназначалась для поставки на экспорт. Первый из циклотронов типа У-120 был собран для Китая и полностью смонтирован в производственных цехах Ижорского завода в Ленинграде в 1956 г.

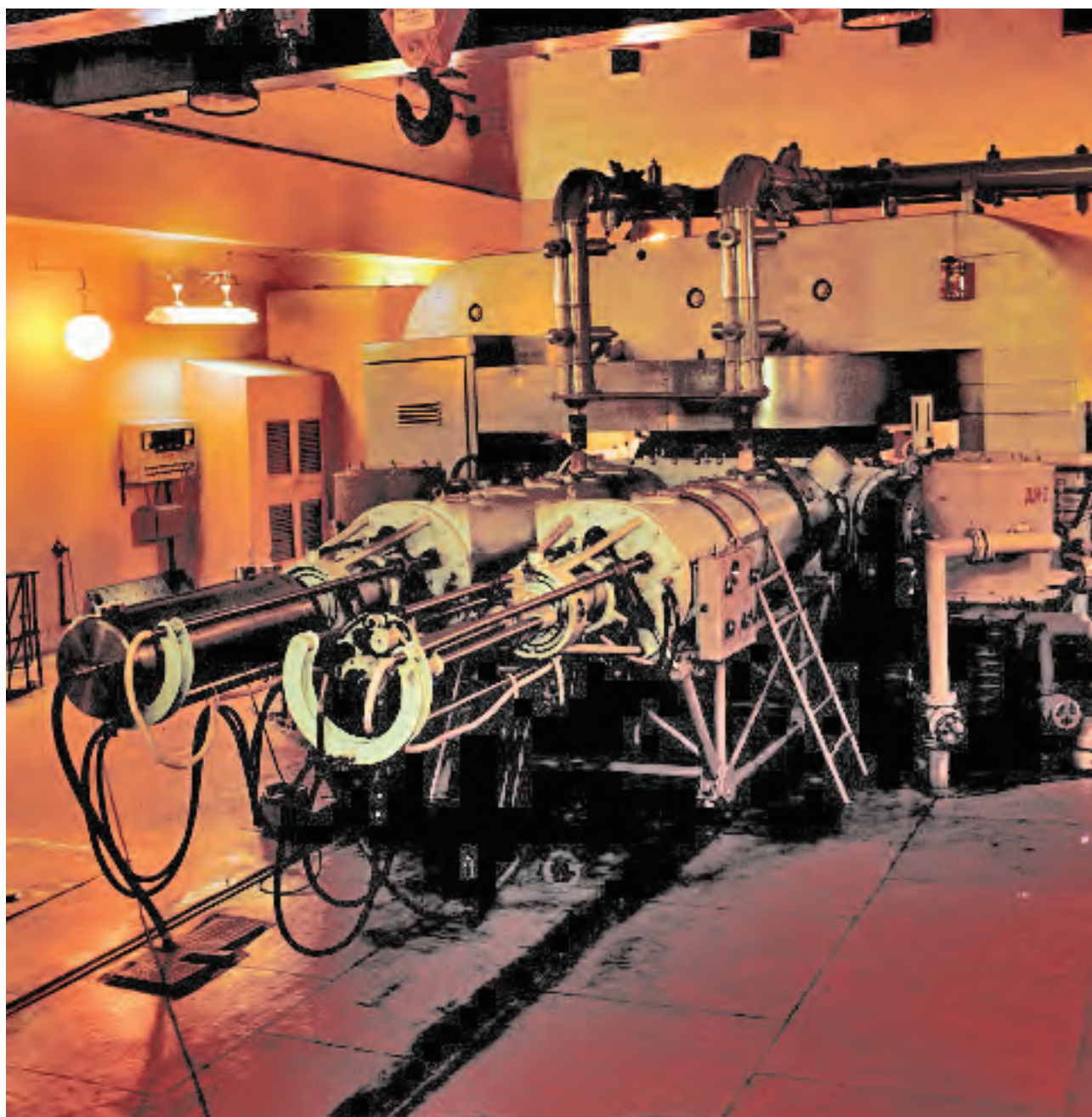
Сегодня циклотроны НИИЭФА успешно эксплуатируются во многих городах страны и мира. Циклотрон типа У-240 смонтирован в Киевском институте ядерных исследований, а циклотрон с диаметром полюсов 310 см, предназначенный для работ по синтезу трансурановых элементов, установлен в Дубне в Объединенном институте ядерных исследований. Энергия ускоренных на нем ионов аргона достигает 300 МэВ.



Циклотрон У-120



*Первый отечественный
циклотрон, РИАН, 1937г.*

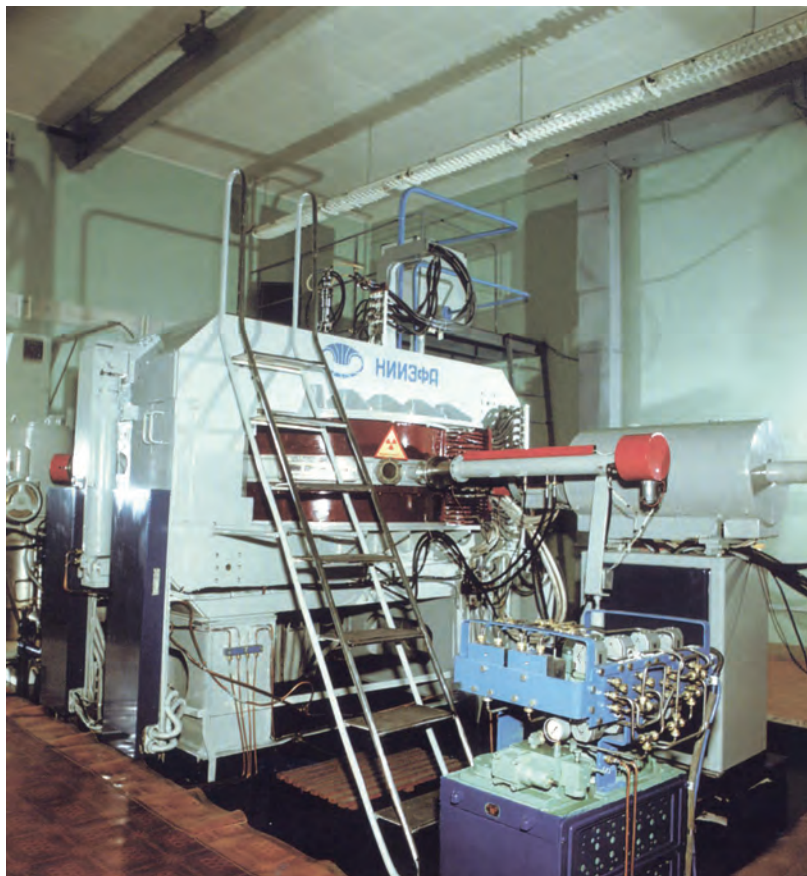


Циклотрон У-240

ИЗОХРОННЫЙ ЦИКЛОТРОН МГЦ-20

Особенностью изохронного циклотрона в отличие от классического является рост магнитного поля по радиусу для компенсации релятивистского возрастания массы ускоряемых частиц. При этом используется принцип сильной фокусировки частиц в постоянном магнитном поле. На полюса магнита изохронного циклотрона прикрепляются стальные шиммы особой конструкции. Ускоряемые частицы, пересекая спирали под малым углом, испытывают попеременно то фокусирующее, то дефокусирующее влияние в ускорителе. Среднее магнитное поле при этом возрастает пропорционально релятивистскому возрастанию массы частиц. Число радиальных бетатронных колебаний в изохронном циклотроне непосредственно связано с энергией ускоряемых частиц. Максимальная энергия, достижимая в изохронном циклотроне, составляет по протонам 1 ГэВ.

В 1969-1970 гг. в СССР был разработан малогабаритный изохронный циклотрон универсального назначения МГЦ-20, который предназначался в основном для проведения исследований в области ядерной физики, активационного анализа и производства радионуклидов. В настоящее время практически все введенные в эксплуатацию циклотроны МГЦ-20 ориентированы на наработку короткоживущих и ультракороткоживущих изотопов, используемых в медицинской диагностике с помощью гамма-камер и ПЕТ-томографов.



Изохронный циклотрон МГЦ-20

ЛИНЕЙНЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ МЕДИЦИНСКИХ ЦЕЛЕЙ

Идея о создании линейного ускорителя с бегущей волной принадлежит шведскому конструктору Изингу и была высказана им еще в 1924 г. Первые советские линейные ускорители электронов (ЛУЭ) были разработаны в НИИЭФА в конце 50-х годов и предназначались для проведения физических исследований. Установки на 400 МэВ и 2 ГэВ были смонтированы на Украине в Харьковском физико-техническом институте. Почти одновременно с этими ускорителями в институте началась разработка линейных ускорителей для лучевой терапии на энергию 5 и 25 МэВ. Линейные ускорители оказались достаточно просты в эксплуатации. Имея ничтожно малые потери энергии на излучение, они позволяют выводить пучок ускоренных электронов в атмосферу через фольгу, разворачивать пучок в двух плоскостях, переворачивать его на угол до 80 градусов.

В 1980 г. НИИЭФА начал поставлять в клиники ускорители второго поколения с максимальной энергией электронов 18,5 МэВ, которые предназначались как для электронной, так и фотонной терапии. В 1990 г. специалистами института был создан опытный образец компьютерного ускорителя для лучевой терапии третьего поколения ЛУЭР-20МТ, а в 1991 г. начаты работы по созданию рентгеновского компьютерного томографа-симулятора для предлучевой подготовки больных.



*Линейный ускоритель ЛУЭР-20МТ
для лучевой терапии*



Радиоизотопная установка «Вольфрам»

ЛИНЕЙНЫЕ УСКОРИТЕЛИ ЭЛЕКТРОНОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В середине 60-х годов в НИИЭФА была начата разработка технологических ЛУЭ на энергию от 5 до 15 МэВ. Появление ускорителей вместо радионуклидных источников излучения стимулировало развитие новых экологически чистых, энергосберегающих технологий. Так ускорители ЛУЭВ-5-500Д и ЛУЭ-15-15000Д позволили широко внедрить в нашей стране радиационный контроль качества сварки и литья наиболее ответственных изделий атомного машиностроения и судостроения. Оснащенные мишенными устройствами для генерирования мощных пучков тормозного излучения, модификации ЛУЭ на 8 и 15 МэВ позволили впервые в мировой практике внедрить на ряде рудников высокоэффективный метод фотоактивационного экспресс-анализа рудных проб на золото и сопутствующие элементы.

В конце 70-х годов в НИИЭФА было начато проектирование линейных ускорителей, работающих на новых низковольтных клистродах и отличающихся более высокими эксплуатационными характеристиками. Был создан целый ряд ускорителей для радиационной дефектоскопии и промышленной томографии, в том числе вариант ускорителя УЭЛВ-10-2Д-40 для таможенного контроля грузовых контейнеров.

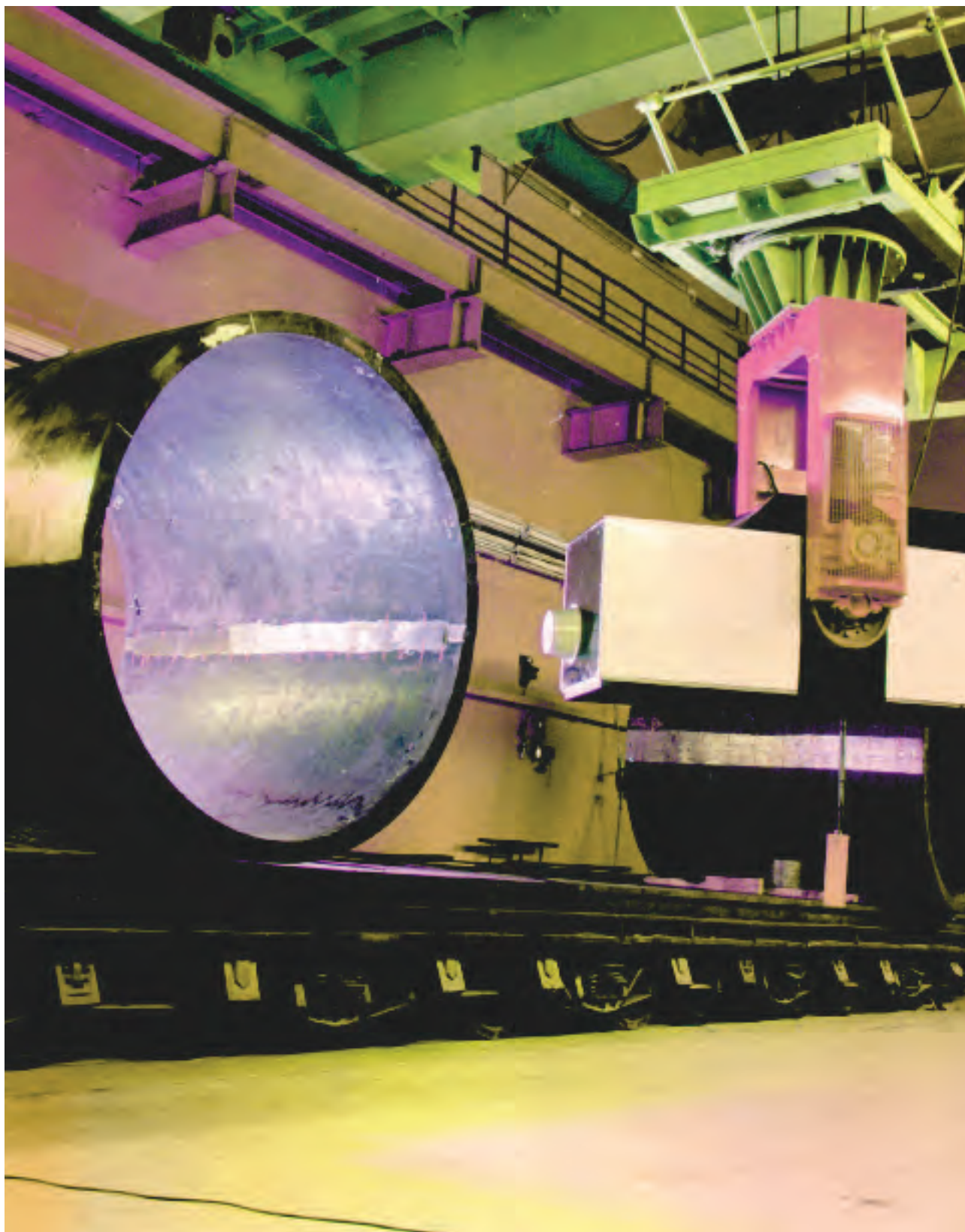
В НИИЭФА постоянно ведутся работы по выявлению новых направлений использования ускорителей, которые могут применяться при радиационной стерилизации медицинских изделий, обработке пищевых продуктов, облучении пластмассовых и резинотехнических изделий сложной формы, обработке сточных вод и различных инфицированных отходов перед их захоронением и т.д.

В Московском инженерно-физическом институте (МИФИ) на протяжении нескольких десятилетий ведутся работы по созданию и исследованию линейных электронных ускорителей. Разработано несколько различных серий ЛУЭ.

Основная часть ускорителей длительное время эксплуатируется в различных радиационных лабораториях страны.



Линейный ускоритель электронов УЛВ-10-2Д-40 для таможенного контроля



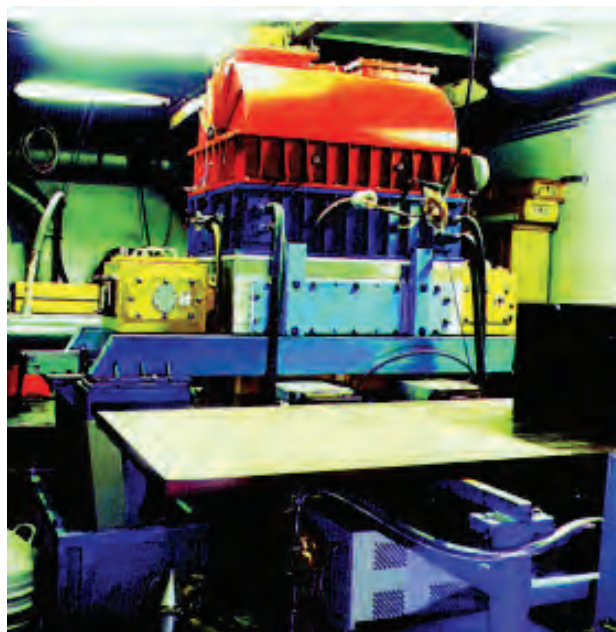
Линейный ускоритель электронов ЛУЭВ-5-500Д для дефектоскопии

Для этого разработаны радиационные технологии улучшения таких важных характеристик эластомерных и полимерных материалов как износостойкость и термостойкость, а также получения различного цвета и его насыщенности у полудрагоценных и поделочных камней. ЛУЭ нашли широкое применение для повышения термостойкости радиотехнических кабелей, получения металлов повышенной чистоты. Помимо ЛУЭ с бегущей волной в МИФИ были разработаны ускорители на стоячей волне - РЭЛУС. Они отличаются высокой компактностью и применяются для дефектоскопии, томографии, радиобиологии и в медицине.

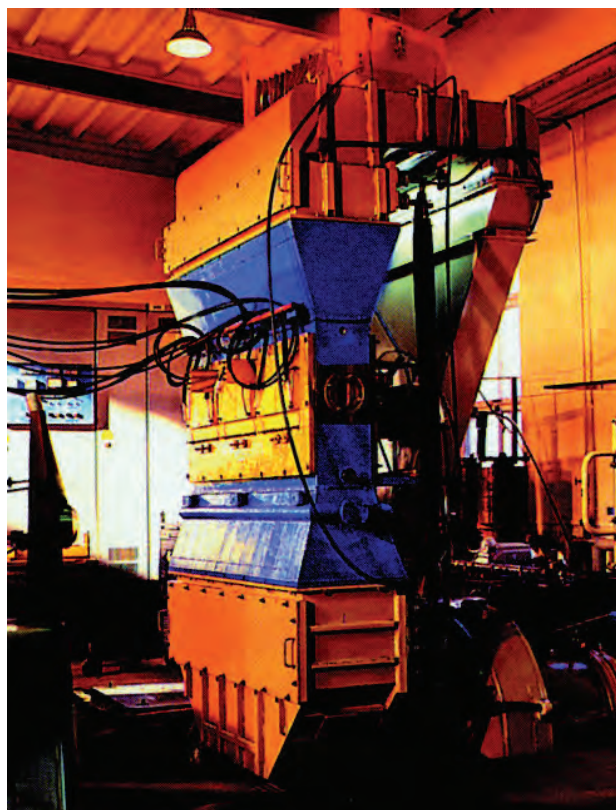
ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

В середине 70-х годов в Минсредмаше были развернуты работы по созданию технологических лазерных комплексов мощностью излучения до 15 кВт («Гибрид», «Славянка», «Максим», «Спектр» и др.). Основу лазерных комплексов составляет импульсно-периодический CO₂ - лазер. Установки CO₂ предназначались для сварки сталей, цветных металлов и сплавов, размерной и разделительной резки металлических и неметаллических материалов, термоупрочнения и наплавки высоколегированных сталей на низкосортную основу. С помощью лазерных комплексов можно осуществлять ряд технологических операций, таких как сварку стыков стальных и титановых листов толщиной до 12 мм, меди с медью толщиной до 6 мм, а также меди с нержавеющей сталью толщиной до 10 мм. Кроме того, лазерами производят резку стали толщиной до 60 мм и мрамора толщиной до 20 мм и т.д.

В 1976 г. специалистами НИИЭФА и ТРИНИТИ был разработан импульсно-периодический CO₂ - лазер атмосферного давления с открытым контуром прокачки рабочей среды мощностью 100 кВт.



CO₂-лазер «ГИБРИД», НИИЭФА



Импульсно-периодический CO₂-лазер
«Спектр», НИИЭФА

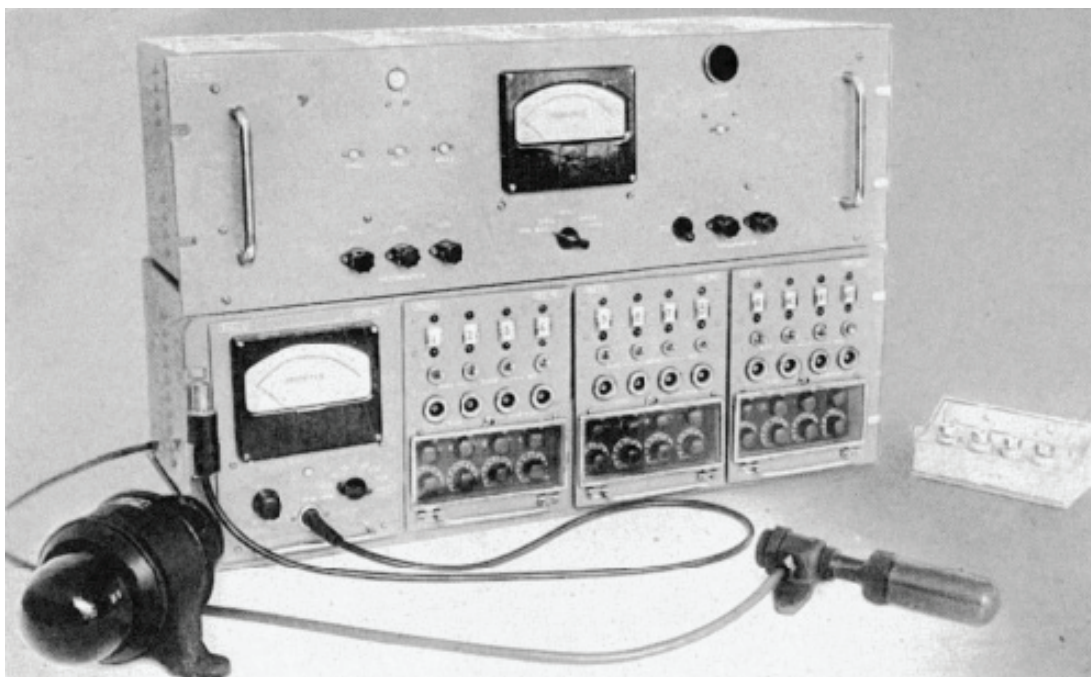
ЯДЕРНОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ

С началом работ по военному, а затем и мирному, использованию ядерной энергии и развертыванию широкомасштабных исследований в области ядерной физики возникла потребность в аппаратуре, работающей в производственных и полевых условиях. Разработкой первых приборов для измерения ионизирующих излучений и электронной-физической аппаратуры ядерного назначения начали заниматься специалисты Московского приборостроительного завода №696 и Московского радиозавода №528 Министерства промышленности средств связи. Первыми приборами стали импульсные усилители с ионизационными камерами для исследования альфа - и бета-излучений.

Все возрастающие потребности в разработке и серийном выпуске различных типов приборов ядерного профиля привели в 1948 г. к созданию специального конструкторского бюро при заводе №696, где были разработаны свыше 30 приборов и установок различного назначения, в том числе для анализа урановых руд по гамма-излучению и автоматической сортировки руды на вагонетках по процентному содержанию урана в руде, индивидуальный дозиметр «Сосна», интегральный бета-гамма-дозиметр «Чинара», дозиметр «Бук» для контроля альфа - и бета-загрязненности одежды и др.



Переносной радиометр



Сигнально-измерительная дозиметрическая установка «УСИД-1»

В 1952 г. на базе ОКБ для создания технологической, дозиметрической, радиометрической аппаратуры и медицинских терапевтических приборов для измерения ионизирующих излучений было создано ЦКБ-1 (начальник С.В. Мамиконян), преобразованное в 1957 г. в Союзный научно-исследовательский институт №1 (СНИИП). Вскоре СНИИП начал разрабатывать системы централизованного управления и контроля за режимами работы атомных энергетических и силовых установок.

Был создан целый ряд малогабаритных дозиметрических и радиометрических приборов на полупроводниках для атомной промышленности и обороны. В 1959 и 1960 гг. большая группа специалистов СНИИПа была награждена орденами и медалями за создание сложной аппаратуры для атомного ледокола «Ленин».

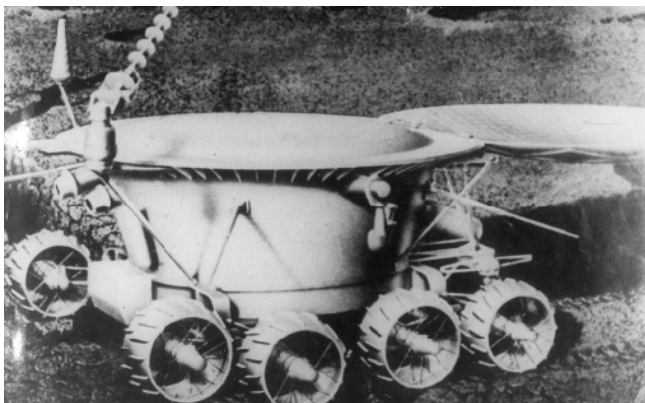
В последующие годы в Минсредмаше для разработки и выпуска различных типов приборов были созданы Всесоюзный научно-исследовательский институт радиационной техники (Москва), Научно-исследовательский институт радиоизотопного приборостроения в Риге, Пензенский приборостроительный завод (г. Заречный), приборный завод «Сигнал» в г. Обнинске и др.

БЛОКИ ОБОГРЕВА ДЛЯ ЛУНОХОДОВ

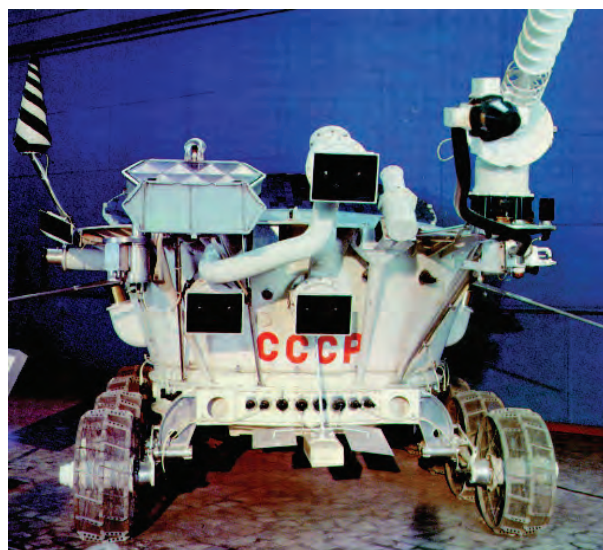
В 1946 г. на реакторе Ф-1 началось облучение металлического висмута для накопления в нем продукта нейтронной реакции, полония-210. Создание технологии выделения полония из облученного висмута проходило в соревновании ученых Радиового института и НИИ-9 (ВНИИНМ им. Бочвара). В 1949-1951 гг. в НИИ-9 была создана первая производственная установка (начальник Г.П. Новоселов) для получения весомых количеств полония-210. Технология была основана на азотнокислом растворении облученного висмута, концентрировании полония на медном порошке путем его спонтанного электрохимического осаждения и последующей вакуумной возгонке полония. Комплекс работ по созданию, совершенствованию и научно-техническому обоснованию радиохимической технологии получения полония проводили З.В. Ершова, Г.П. Новоселов, Е.В. Гришберг, М.И. Бродская, К.Г. Швельблит и др.

В 60-х годах была установлена целесообразность использования полония как генератора тепловой энергии, а при использовании преобразователей - и генератора электрической энергии. В 1963 г. на заводе «Авангард» был изготовлен демонстрационный блок «Лимон» с электропреобразователем, а в 1965 г. при участии ВНИИНМ были изготовлены два тепловых блока «Орион», которые были использованы в космической системе на спутниках «Космос-84» и «Космос-90». Почти 8-месячная эксплуатация блоков в космосе подтвердила надежность их работы.

В середине 60-х годов под руководством З.В. Ершовой был разработан усовершенствованный технологический процесс выделения полония, не содержащий водных радиоактивных растворов. На базе этих исследований в 1968 г. на заводе «Авангард» была внедрена дисцилляционно-металлургическая технология получения полония и изделий на его основе. В 1968, 1970 и 1972 гг. на заводе «Авангард» в содружестве с учеными ВНИИНМ были выпущены 3 блока обогрева, два из которых были использованы для обогрева самоходных станций «Луноход-1» и «Луноход-2». Во время длинных лунных ночей заданный ресурс (105 суток) был превышен почти втрое.



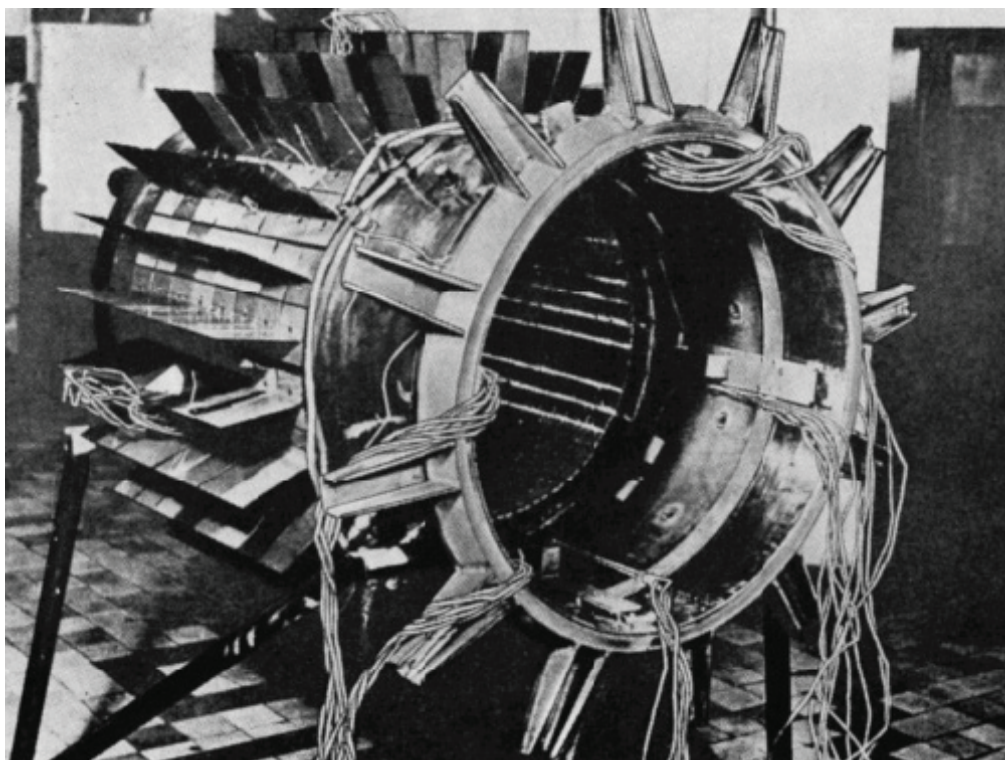
Самоходная станция «Луноход»



ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ УСТАНОВКА «РОМАШКА»

В обычных атомных электростанциях электрический ток вырабатывается так же, как и в тепловых, только вместо котла, питаемого углем и нефтью, тепло дает атомный «котел» - реактор. Путь же превращения тепла в электрический ток традиционный и сложный: пар - турбина - генератор. Возник вопрос о превращении тепла ядерного реактора сразу и непосредственно в электрический ток, отказа от турбин и генераторов, движущихся частей и механизмов, требующих обслуживания, от изнашивающихся деталей. Первая в мире экспериментальная установка «Ромашка» с прямым преобразованием ядерной энергии в электрическую была введена в строй 14 августа 1964 г. в Москве в Институте атомной энергии им. И.В. Курчатова. Установка состояла из двух основных узлов: высокотемпературного реактора на быстрых нейтронах и термоэлектрического преобразователя с излучателем. Они были объединены в достаточно простую и надежную схему без каких-либо теплоносителей и движущихся механизмов. Тепло ядерного реактора передавалось за счет теплопроводности материалов термоэлектрическому преобразователю, расположенному на внешней поверхности реактора, и дальше ребрам излучателя. Преобразователь состоял из нескольких тысяч кремний-германиевых термоэлементов. С одной стороны они нагревались от тепла реактора, а с другой, внешней, стороны охлаждались ребрами излучателя. За счет разницы температур возникала электродвижущая сила.

Первая энергоустановка имела электрическую мощность 0,5-0,8 кВт. Рабочая температура в центральной части составляла 1770 °С, а на внешней поверхности - 1000 °С. Ядерным топливом реактора являлся обогащенный дикарбид урана в количестве 49 кг.

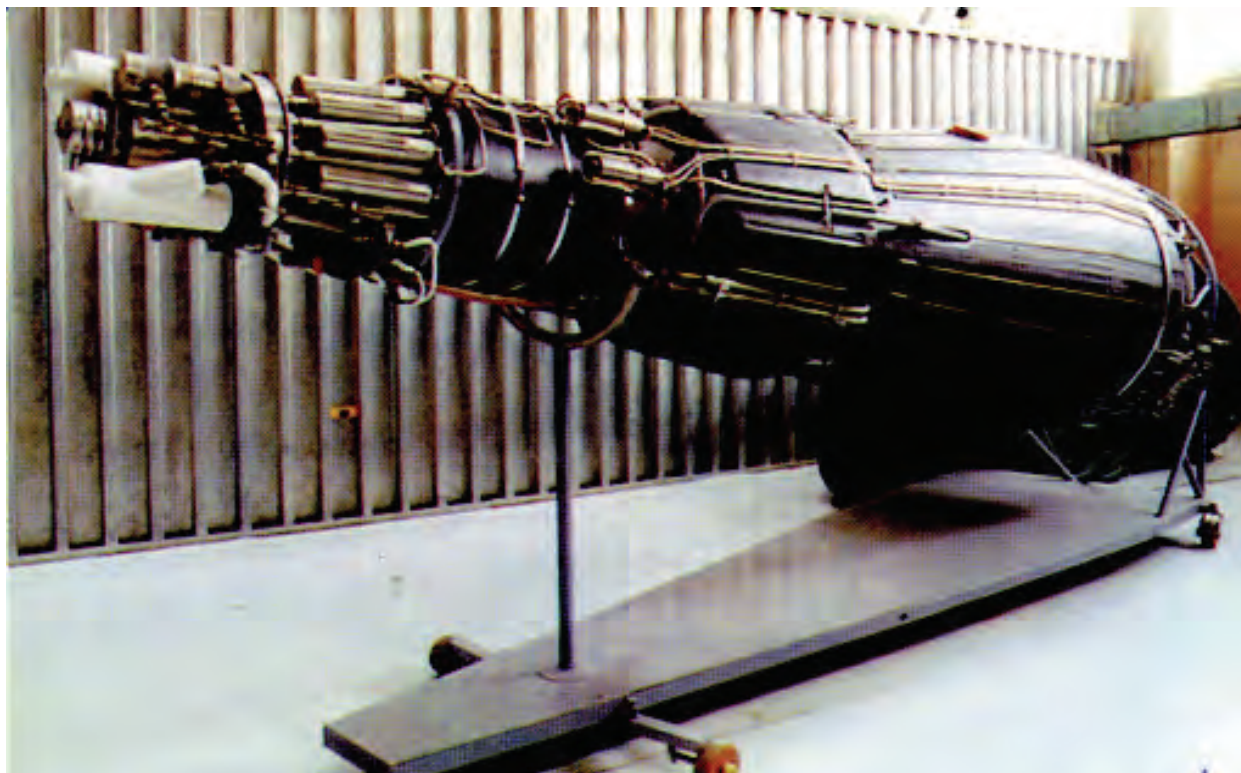


Термоэлектрический преобразователь установки «Ромашка»

ЯДЕРНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

В Советском Союзе была разработана и изготовлена серия ядерно-энергетических установок (ЯЭУ) для применения в космических аппаратах (КА). Основанием для производства таких работ послужили сравнительные исследования характеристик ядерного источника энергии и солнечных батарей с перспективными фотоэлектрическими преобразователями. В результате оказалось, что ядерные источники, во-первых, не зависят от положения КА по отношению к Солнцу, а во-вторых, имеют лучшие массогабаритные характеристики, начиная с уровня электрической мощности 15-20 кВт. На начальных стадиях при запусках КА были использованы ЯЭУ с термоэлектрическим преобразованием энергии. Было изготовлено и запущено за 2 десятилетия свыше 30 таких ЯЭУ.

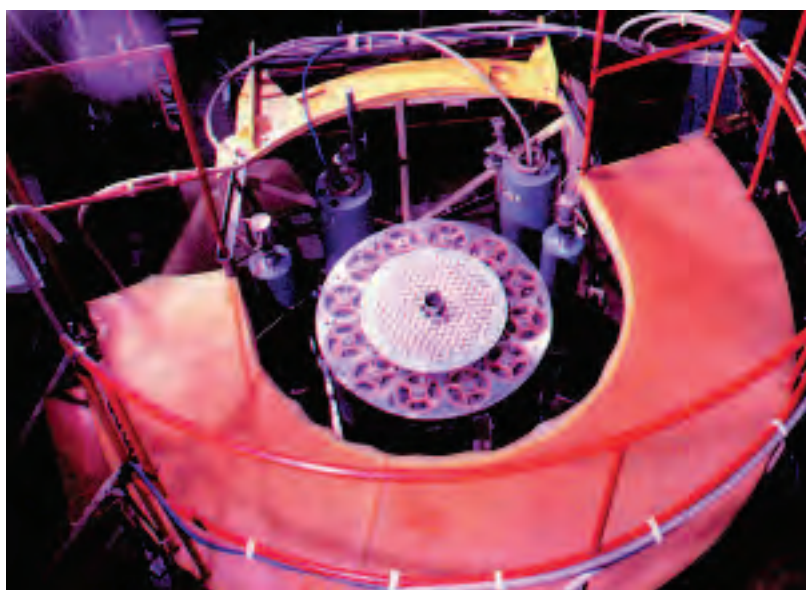
В дальнейшем, в связи с необходимостью увеличения энерговооруженности ресурса КА было принято решение о разработке ЯЭУ типа «Топаз» с термоэмиссионным реактором-преобразователем (РП) при условии обеспечения высокой надежности, минимума массы и внешних размеров. С этой целью в Минсредмаше было создано научно-производственное объединение «Красная Звезда». Под научным руководством Физико-энергетического института и при участии ряда других организаций была разработана конструкция малогабаритного ядерного реактора на промежуточных нейтронах с натрий-калиевым теплоносителем, проведены многочисленные стендовые испытания отдельных узлов и наземного образца ЯЭУ «Топаз».



Термоэмиссионная ядерно-энергетическая установка «Топаз-1»



Критическая сборка для исследования реакторно-лазерных систем с ядерной накачкой



Критическая сборка для исследования нейтронно-физических характеристик высокотемпературных реакторов космического назначения

В феврале 1987 г. КА «Космос-1818» был запущен с ЯЭУ «Топаз-1» со следующими характеристиками: объем активной зоны - 22 л, загрузка урана-235 - 12 кг, полезная электрическая мощность - 6 кВт, напряжение на клеммах РП - 32В, длина - 4,7 м, диаметр - 1,2 м, масса - 1200 кг. В июне 1987 г. был выведен на орбиту КА с ЯЭУ «Топаз-1». ЯЭУ «Топаз-1» проработал на орбите один год, что является мировым достижением.

Коллективом ученых и конструкторов ЦКБМ, НИЦ «Курчатовский институт» и НИИ НПО «ЛУЧ» в это же время была разработана и прошла успешные наземные испытания ЯЭУ «Енисей» («Топаз-2»),

В последующие годы предприятиями Минсредмаша проводилась разработка ЯЭУ типа «Топаз» второго поколения с электрической мощностью до 100 кВт и ресурсом 5-7 лет.

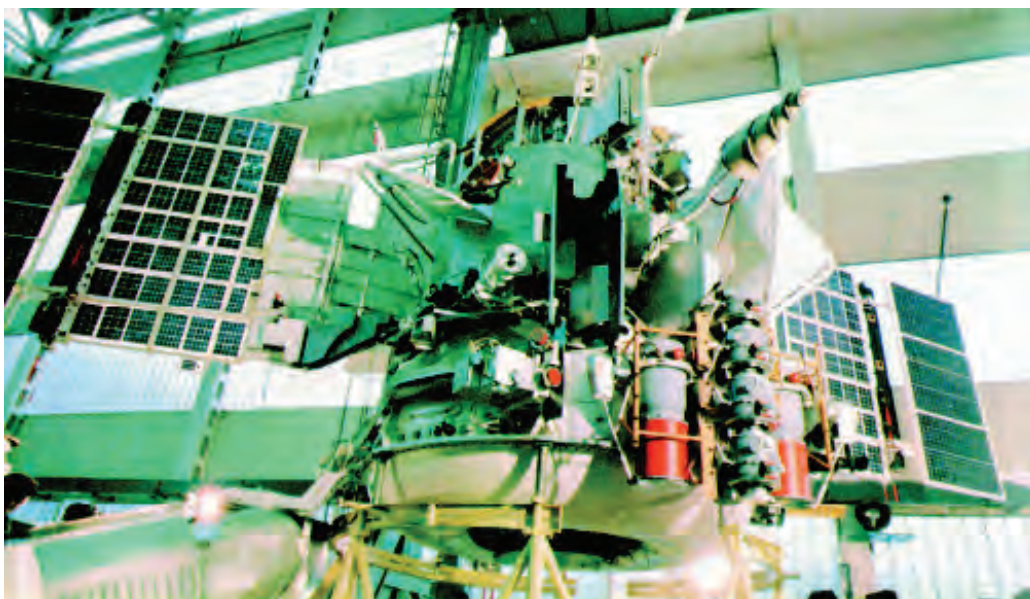
КОСМИЧЕСКИЙ ЭКСПЕРИМЕНТ «ВЕГА»

Один раз в 76 лет, в результате гравитационного маневра в поле тяготения планеты Венера, представляется уникальная возможность совмещения полета к планете Венера с последующим выводом космического аппарата на траекторию полета кометы Галлея. В декабре 1984 г. в целях изучения планеты Венера и кометы Галлея в Советском Союзе были запущены два космических аппарата «Вега-1» и «Вега-2». Космические аппараты состояли из двух частей: спускаемого и пролетного аппаратов. Спускаемый аппарат предназначался для исследования планеты Венера, а пролетный - для исследования кометы Галлея.

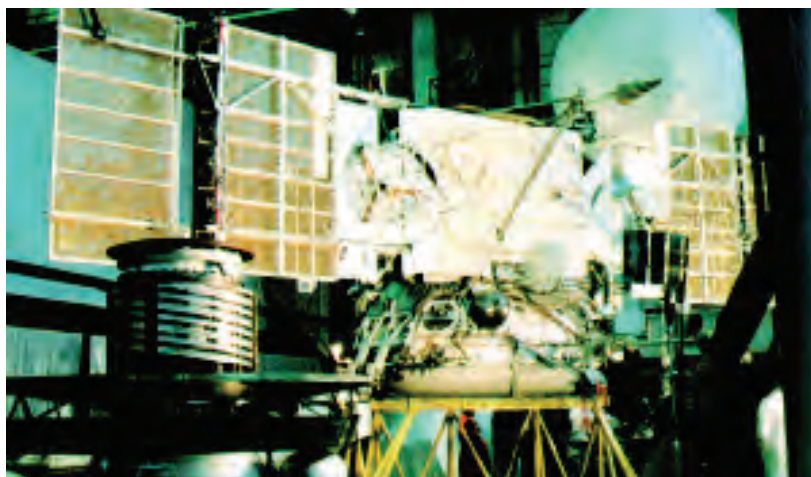
Для космических аппаратов на предприятиях Минсредмаша на основе интерметаллического соединения плутония и бериллия ($PuBe_{13}$), были разработаны нейтронные источники, которые вошли в состав научной аппаратуры, установленной на борту космического корабля. Из двух десятков научных приборов, участвовавших в эксперименте, четыре прибора были разработаны и поставлены Союзным НИИ приборостроения (СНИИПом).

Для спускаемых аппаратов была разработана спектрометрическая аппаратура БРДП-АМ25, предназначенная для рентгенофлуоресцентного анализа состава пород на Венере, и ГС-15СЦВ-АМ25, предназначенная для определения содержания в породе естественных радиоактивных элементов. Для пролетных аппаратов были разработаны счетчик пылевых частиц кометы Галлея СП-1 и блок детектирования БД-3 для измерения низкочастотных колебаний волн в потоке плазмы.

11 и 15 июня 1985 г. с помощью спектрометрической аппаратуры, установленной на борту спускаемых аппаратов, был проведен рентгенофлуоресцентный анализ проб грунта планеты Венера, а также измерены гамма-спектры естественных радиоактивных элементов планеты. В результате эксперимента были впервые обнаружены крайне редкие для Земли магматические породы типа анортозит-троктолита, из которых состоит первичная материковая кора Луны и Марса.



Сборка космических аппаратов «Вега -1» и «Вега -2»



Сборка космических аппаратов «Вега -1» и «Вега -2»



Эмблема космического эксперимента «Вега»

В конце февраля - начале марта 1986 г. пролетные аппараты «Вега-1» и «Вега-2», пролетев более 1.2 млрд. км, приблизились к комете Галлея. Состоявшиеся 6 и 9 марта сеансы связи с космическими аппаратами при минимальном (около 10 тыс. км) их приближении к ядру кометы, позволили получить уникальную информацию о распределении концентрации кометных ионов в плазменной оболочке кометы Галлея, определить поток энергичных (более 150 эВ) электронов, отождествить положение головной (кометной) ударной волны, возникающей при встрече потока солнечного ветра кометными ионами.

В ходе эксперимента были получены и другие результаты, имеющие большое значение для сравнительной планетологии и более глубокого понимания происхождения и развития всей Солнечной системы и, прежде всего, планеты Земля.

ИЗОТОПНЫЕ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

Разработка источников тепловой и электрической энергии на основе радиоактивных изотопов как в нашей стране, так и за рубежом, была начата с источников малой мощности около одного милливатта. Атомные батареи начали использоваться для питания сеточных цепей радиоаппаратуры, эталонов напряжения, для зарядки дозиметров и автоматического завода часов, то есть в тех случаях, когда требовалась высокая стабильность параметров при незначительном потреблении энергии.

Развитие методов прямого преобразования тепловой энергии в электрическую, позволили СССР в начале 60-х годов перейти к созданию автономных источников тепловой и электрической энергии с использованием изотопов мощностью до нескольких сот ватт. Конструктивно изотопные генераторы выполнялись таким образом, чтобы практически весь тепловой поток проходил через электрический преобразователь. С целью уменьшения тепловых потерь термоэлектрический преобразователь размещался на возможно большей площади теплового блока, при этом свободная площадь окружалась тепловой изоляцией.

В целях обеспечения полной безопасности, оболочки блоков изготавливались из механически прочных и коррозионностойких материалов, способных сохранять герметичность в течение десятков лет. Первые изотопные источники тока предназначались для питания таких автономных потребителей энергии, как метеостанции, световые и радиомаяки, навигационные буи. В течение 1963-1967 гг. генераторы типа «Бета-С» были установлены на высотной метеостанции под Иркутском, в геомагнитном пункте наблюдения за уровнем космического излучения Сибирского института земного магнетизма, и других районах страны.



Установка «Бета-С»



Космический корабль «Буран»



Генератор «Фотон»

В 1973 г. в составе Таллиннского маяка были введены в опытную эксплуатацию РИТЭГ типа «Реут-1» и «Яшма». С использованием радиоизотопных источников тока специалистами атомной промышленности были созданы уникальные приборы для исследований в космосе и на других планетах («Ворон», «Вьюрок», «Кукушка», «Вальдшнеп», «Филин», «Лебедь», «Малиновка», «Зуек» и др.).

Наряду с разработкой радиоизотопных генераторов, в отрасли активно велись работы и по созданию электрохимических генераторов тока на водородно-кислородных топливных элементах. В середине 80-х годов на Уральском электрохимическом комбинате для многоразового космического корабля «Буран», первый и единственный полет которого в беспилотном варианте состоялся 15 ноября 1988 г., был создан электрохимический генератор тока (ЭХГ) «Фотон». Генератор обладал высокой эффективностью преобразования химической энергии в электрическую. Разработчики генератора сумели придать своему «детисцу» и целый ряд других достоинств: нечувствительность к пространственному положению, сохранение работоспособности при больших перегрузках (до 10g - линейные нагрузки и до 100g - ударные), идеальную экологическую чистоту (продукт реакции - вода - чище, чем родниковая) и т.д.

Помимо космических систем, генератор «Фотон» и более поздние разработки, в основу конструкции которых были заложены надежно зарекомендовавшие себя технические решения, использованные в ЭХГ «Фотон», могут использоваться в энергоустановках подводных аппаратов различных классов, робототехнических комплексов, а также электромобилях и самолетах, использующих водородное топливо.

АТОМГРАДЫ

С первых дней существования атомной промышленности ни в одной отрасли народного хозяйства не строилось столько новых объектов. Требования к строительству были очень высокими, а сроки выполнения работ предельно сжатыми.

На первом этапе - с 1942 по 1955 гг. - проектные и строительно-монтажные работы выполнялись организациями НКВД-МВД СССР с использованием труда заключенных. С середины 1953 г. в отрасли начала формироваться собственная строительная индустрия, в состав которой входили заводы и комбинаты по производству строительных материалов, проектные институты, строительно-монтажные тресты и управления.

За прошедшие годы строителями атомной промышленности воздвигнуто 10 закрытых городов: Заречный, Северск, Саров, Озерск, Снежинок, Железногорск, Лесной, Трехгорный, Новоуральск, Зеленогорск, где проживает более 730 тыс. человек. Специалисты отрасли участвовали в строительстве таких городов: Снежкус, Навои, Чкаловск, Степногорск, Актау, Дубна, Обнинск, Сосновый Бор, Дмитровград, Протвино, Гатчина, Лыткарино, Нововоронеж, Уч-Кудук, Краснокаменск, Кирово-Чепецк, Ангарск, Усть-Каменогорск, больших жилых районов в Москве, Санкт-Петербурге, Новосибирске, Горьком, Подольске, кварталов жилых домов в Красноярске, Хабаровске, Владивостоке.



г. Сосновый Бор



г. Заречный

Строители и монтажники Минатома, используя накопленный производственный потенциал, участвовали в работах Минрадиопрома, Минобщемаша и других министерств. Ими сооружались пусковые шахты ракетных установок, радиолокационные станции, центральные и местные пункты контроля и управления противоракетной обороны. Минатомом были построены крупные объекты промышленного назначения: Томский и Зиминский нефтеперерабатывающие предприятия, Сибирский филиал Академии наук, Ульяновский авиационный комплекс, радиозавод в Серпухове, Институт медицинской радиологии в Обнинске, завод телевизионной аппаратуры в Запрудне и многие другие.

Огромный вклад в создание строительной индустрии атомпрома внесли А.П. Завенягин, Е.П. Славский, А.Н. Комаровский, А.И. Гутов, Ф.З. Ширяев, М.М. Царевский, И.С. Любый, А.Н. Усанов, В.И. Рудаков, А.В. Коротков, В.А. Сапрыкин, Д.С. Захаров, А.С. Пономарев, Н.Н. Волгин, П.К. Георгиевский, В.А. Гвоздевский, И.А. Горбатов.

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

В середине 1948 г. Правительство СССР приняло решение о прекращении всех работ по строительству здания Дворца Советов на месте взорванного храма Христа Спасителя и переориентации Управления строительством Дворца Советов на сооружение Московского государственного университета на Воробьевых (Ленинских) горах, а в дальнейшем и высотного административного здания в Зарядье (на его фундаменте впоследствии был построен гостиничный комплекс «Россия»). Ответственность за выполнение работ по проектированию и строительству комплекса зданий Московского государственного университета была возложена на заместителя начальника Первого главного управления при Совете Министров СССР - начальника Главпромстроя СССР А.Н. Комаровского. Для выполнения строительно-монтажных работ было создано Управление строительства МГУ, которое возглавили А.В. Воронков (начальник) и С.И. Балашов (главный инженер).

Несмотря на то, что к началу строительных работ Советом Министров СССР уже была утверждена схема архитектурного решения комплекса зданий МГУ, строительство учебно-лабораторных и жилых корпусов, как и многих строящихся в то время объектов атомной индустрии, осуществлялось одновременно с дальнейшей работой по проектированию. Чертежи прямо на ватмане шли на производство, так как правительство доверяло «атомщикам» утверждение всех технических решений и проектов без промежуточных инстанций. Высокая квалификация коллектива архитекторов, проектировщиков, а также строителей и монтажников, вносивших свои предложения и коррективы в процессе производства работ, помогла избежать существенных конструктивных ошибок и обеспечить проектирование и строительство громадного комплекса сооружений с многочисленными весьма сложными коммуникациями в небывало короткий срок - менее чем за четыре с половиной года. Летом 1953 г. комплекс зданий и сооружений МГУ, включающий также агроботанический сад, 20 экспериментальных прудов для рыбного хозяйства, 2 спортивных, 11 санитарно-технических и много других сооружений, с отметкой отлично был принят Государственной комиссией. 1 сентября 1953 г. на площади перед главным зданием МГУ состоялся торжественный митинг и начались занятия на всех факультетах в главном храме науки страны.

Авторы проекта Л.В. Руднев, С.Е. Чернышев, П.В. Абросимов и А.В. Хряков в 1949 г. были удостоены Государственной премии СССР.

*Московский государственный
университет им. М.В. Ломоносова*



Материал подготовил Главный архивист ЧУ «Центратомархив» В.В. Пичугин

