

УДК 621.039.5

30-летие первого советского ядерного реактора

ГОНЧАРОВ В. В.

В 1943 г. по решению Партии и Правительства в Москве для решения атомной проблемы было организовано специальное научное учреждение — Лаборатория № 2 Академии наук СССР (ныне Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова). Ее научным руководителем назначили И. В. Курчатова. Основной задачей Лаборатории № 2 являлось проведение исследований, которые позволили бы осуществить цепную реакцию в ядерном реакторе. Реактор должен был представлять систему из урана и графита, замедляющего нейтроны, в которой самопроизвольно произойдет выделение ядерной энергии. Предполагалось, что графит обеспечит возможность применения природного урана (с содержанием делящегося ^{235}U всего 0,7%).

Еще в ноябре 1940 г. И. В. Курчатов выступил с докладом на Всесоюзном совещании по физике атомного ядра и опубликовал статью «Деление тяжелых ядер». Он пришел к оптимистическому выводу, что цепная реакция на медленных нейтронах вполне возможна. Реальной ее можно было считать после открытия в 1939 г. реакции деления урана под действием нейтронов. Однако в 1941 г. после начала Великой Отечественной войны работы в этом направлении в СССР полностью прекратились и возобновились только в 1943 г.

Грандиозная программа создания реактора и осуществления управляемой цепной реакции могла быть выполнена только при решении трех основных проблем: 1) разработки детальной теории реактора с последующей экспериментальной проверкой теоретических данных; 2) получения графита высокой степени чистоты в количестве сотен тонн и 3) десятков тонн чистого металлического урана. Такой графит и уран в Советском Союзе никогда не производились.

В Лаборатории № 2 развернулись теоретические и экспериментальные исследования физических констант, особенно сечения вредного захвата тепловых (замедленных) нейтронов в графите. Метод измерения сечения поглощения нейтронов был найден в результате теоретических работ Я. Б. Зельдовича, И. Я. Померанчука и И. И. Гуревича и проведенных И. В. Курчатовым совместно с И. С. Панасюком экспериментальных исследований замедления и диффузии нейтронов в графите. После разработки метода измерения столь малых сечений начались физические испытания на поглощение нейтронов в призмах массой по 5 т в различных партиях графита (графитированных электродов), вырабатываемых промышленностью.

Первые результаты оказались в 100 раз хуже ожидаемых и вызвали большое разочарование. Тогда для опытов были отобраны лучшие партии графита. Но и они оказались непригодными. Графит поглощал так много нейтронов, что осуществить цепную реакцию было невозможно. Затем установили в графите присутствием примесей, являющихся вредными поглотителями нейтронов. Содержание примесей, определявшееся по количеству золы, которая оставалась после сжигания образцов, достигало 1%.

И. В. Курчатов сам выезжал с сотрудниками Лаборатории № 2 на завод и добивался от его руководства получения чистейшего графита. Работники завода воспринимали это как совершенно неосуществимое желание ученых. Они утверждали, что изготавливать графитовые блоки, чистота которых должна быть значительно выше, чем у алмаза (тоже углерода), невозможно. И. В. Курчатов и его помощники не теряли уверенности в получении графита необ-

ходимой чистоты. Но для этого следовало бы существенно усовершенствовать технологический процесс изготовления графитовых блоков.

В результате физических исследований в Лаборатории № 2 в ноябре 1944 г. были составлены первые жесткие требования к реакторному графиту — содержание примесей, например бора, должно быть не более нескольких миллионных долей.

После детального анализа существующей технологии производства графитированных электродов на заводе и ознакомления с технической литературой в феврале 1945 г. были сформулированы технические условия и разработаны мероприятия, рекомендуемые Лабораторией № 2, для решения этой трудной и важной задачи.

С марта 1945 г. на заводе совместно с Лабораторией № 2 развернулись научно-исследовательские и опытно-заводские работы с целью пробного выпуска шести опытных партий чистых графитовых блоков по 5 т. Сложность задачи усугублялась тем, что процесс графитизации длится около двух недель, а продолжительность всего технологического цикла составляет примерно два месяца. В первое время физические испытания графитовых блоков (измерение сечения поглощения нейтронов) проводились в Лаборатории № 2, а затем они были организованы на заводе.

В результате интенсивной и самоотверженной работы завода совместно с Лабораторией № 2 при поддержке Наркомцветмета СССР к августу 1945 г. удалось разработать специальный технологический процесс и с октября начать производственный выпуск продукции необходимого качества. Таким образом, ответственное задание Государственного комитета обороны СССР было досрочно выполнено. Одновременно приступили к проектированию нового завода. Так впервые в СССР в исключительном коротком сроке разработали способ получения графитовых блоков для реакторов, принципиальной основой которого являлось применение мадозольного сырья и чистых материалов в электрических графитировочных печах и осуществление совмещенных процессов термического и газового рафинирования в графитировочных печах обычного типа, переоборудованных для этой цели.

Как видно из опубликованного в 1945 г. американского официального отчета, получение чистого графита в США считалось одной из важной и трудной задач, так как до 1940 г.

углерод (графит) никогда не производился в том количестве и с той степенью очистки, какие были необходимы для замедлителя в реакторе. В начале лета 1940 г. не было уверенности, что можно иметь графит такой чистоты и в нужном количестве. В начале 1942 г. положение было все еще неудовлетворительным. И только к середине 1942 г. проблема в основном разрешилась, и осенью 1942 г. в Чикаго получили достаточно графита, чтобы сделать попытку построить реактор. Таким образом, в США на разработку способа получения чистого графита потребовалось более двух лет (с начала лета 1940 г. до середины 1942 г.) и только после этого представилось возможным начать производство графита для первого реактора *CP-1*.

В Советском Союзе поставленная задача была успешно решена в чрезвычайно короткий срок — всего за шесть месяцев (с марта по август 1945 г.), что позволило организовать промышленный выпуск высококачественных графитовых блоков для реактора *Ф-1*.

В докладах, представленных США на Международную конференцию по мирному использованию атомной энергии в Женеве (1955 г.), были приведены данные о качестве американского графита. Оказалось, что содержание примесей (зола) в лучшем сорте ядерного графита AGOT было в 3,7 раза выше, чем в советском. Содержание и сечение вредного поглощения тепловых нейтронов в этом графите также оказалось выше, чем у советского. Таким образом, качество американского графита было существенно ниже нашего.

Наряду с исследованиями графита в Лаборатории № 2 началось изучение физических характеристик имевшегося в небольшом количестве урана. Исследования показали, что для осуществления данной реакции нужен только чистый уран, в котором содержание примесей (бора, кадмия, редкоземельных элементов) составляло бы ничтожные доли. Для производства урана были сформулированы физико-технические требования, предусматривающие обеспечение высокой химической чистоты и плотности, и установлено требование по сечению захвата, учитывающее поглощение нейтронов в самом уране и во всех примесях. Следовательно, первоочередной задачей явилась разработка технологии изготовления металлических блоков урана, не содержащих вредных примесей, сильно поглощающих нейтроны.

Задача получения урана решалась на многих предприятиях: в научно-исследовательских институтах, на рудниках, обогатительных

фабриках, химических производствах и заводах.

Вначале экспериментальные работы по получению урана проводились в Гиредмете Наркомцветмета СССР под руководством проф. Н. П. Сажина. И. В. Курчатов неоднократно выезжал в Гиредмет для оказания помощи и ускорения выполнения работ. В конце 1945 г. было принято решение об организации производства металлического урана на одном из заводов, но по другой технологии. Благодаря энергичным мерам и после преодоления многих трудностей удалось наладить производство металлических урановых блоков, в первую очередь для реактора Ф-1.

При проведении в Лаборатории № 2 ряда экспериментов в призмах с различными уран-графитовыми решетками обнаружилось, что некоторые партии урановых блоков, признанные хорошими по результатам химических и спектроскопических анализов, давали неудовлетворительный коэффициент размножения нейтронов. В связи с этим в Лаборатории № 2 организовали физический контроль качества всех партий урановых блоков, выпускаемых промышленностью.

Необходимо отметить весьма большое значение разработки методик химического анализа примесей в уране. Таких методик для большинства элементов не существовало и разработка их представляла трудную задачу в связи с ничтожно малым количеством примесей, которые требовалось определять. Эти аналитические методы создавались под руководством академика А. П. Виноградова.

После поступления графитовых и урановых блоков в Лаборатории № 2 резко расширилось проведение физических экспериментов. Днем и ночью в палатках, землянках собирались графитовые призмы с ураном, затем они разбирались и вновь собирались. Были выполнены десятки экспериментов, и по мере накопления экспериментальных данных уточнялись физические параметры и совершенствовалась теория реакторов. Определялись более точные сечения захвата тепловых нейтронов графита и урана. Изучались также некоторые физические характеристики урановых блоков, выбирались оптимальные диаметры, шаг расположения их в пространственной решетке в графите. Помимо этих многочисленных экспериментов после получения большого количества графита и урана и изучения их свойств были последовательно собраны, исследованы и разобраны четыре подкритические модели реактора. Расчеты поз-

волили оценить приблизительные критические размеры реактора и потребное число урановых (до 50 т) и графитовых блоков (примерно 500 т) для его сооружения.

Для реактора Ф-1 было спроектировано и построено специальное здание с бетонным котлованом глубиной 7 м и подземной лабораторией с пультом для дистанционного управления. Когда получили достаточное число урановых блоков и графита, качество которых было проконтролировано физическими методами, приступили к монтажу. Активная зона реактора Ф-1 представляла собой сферу диаметром 6 м, сложенную из графитовых блоков размером $100 \times 100 \times 600$ мм. Она была окружена отражателем толщиной 800 мм, выполненным также из графитовых блоков. В графитовых блоках просверлили около 30000 отверстий для урана с образованием пространственной решетки с определенным шагом. В реакторе предусматривалось три вертикальных канала для стержней системы управления, а также шесть горизонтальных экспериментальных каналов.

Реактор Ф-1 был пущен 25 декабря 1946 г. Пуск его производил сам И. В. Курчатов с участием помощников. Так 30 лет назад оказалась осуществленной управляемая цепная реакция деления урана. В 1958 г. И. В. Курчатов писал: «Вспоминаю волнение, с которым впервые на континенте Европы мне с группой сотрудников довелось осуществить цепную реакцию деления в Советском Союзе на уран-графитовом реакторе».

Создание под руководством И. В. Курчатова реактора Ф-1 — крупнейшее достижение советской науки и техники, первый этап в решении сложнейшей и труднейшей атомной проблемы. Работа проводилась в неизмеримо тяжелых условиях при крайнем напряжении сил и подлинном энтузиазме всех участников. Это был огромный трудовой подвиг советских ученых, инженеров, рабочих, создавших первый реактор, а также урановую и графитовую промышленность.

Пуск первого ядерного реактора в СССР обеспечил возможность получения многих очень важных теоретических, экспериментальных и методических результатов.

Выполненные на реакторе Ф-1 исследования имели огромное значение. Были измерены основные ядерные константы, определена оптимальная решетка для первого промышленного реактора и уточнены его расчетные характеристики, изучены вопросы управления и регулирования,

безопасности и средств защиты от излучений. Полученное в реакторе небольшое количество плутония позволило изучить его химические свойства и разработать технологию извлечения из облученного урана. Исследования на реакторе Ф-1 всемерно способствовали дальнейшему развитию теории реакторов.

С помощью реактора был разработан метод количественного контроля (по изменению реактивности) физических качеств урана, графита и уран-графитовых решеток. По этому методу проверялось качество урана, графита и других изделий, выпускавшихся для промышленных реакторов.

Исключительно ценный опыт, полученный на первом реакторе, и проведенные на нем исследования позволили перейти к проектированию и сооружению других реакторов, и в первую очередь к созданию промышленного реактора. Так пуск первого реактора Ф-1 послужил началом рождения атомной промышленности СССР.

Сравнивая историю создания ядерных реакторов, следует отметить, что в США урановый комитет приступил к работе в октябре 1939 г., первые эксперименты с углеродом (графитом) начались в апреле — мае 1940 г. в Колумбийском университете (с этого периода все работы по урановой проблеме засекретили). Цепная реакция в первом реакторе *CP-1* США была осуществлена в декабре 1942 г. В Советском Союзе первый реактор Ф-1, сооруженный в специальном здании, был создан быстрее, чем американский, и экспериментальные возможности его оказались значительно шире американского. Мощность Ф-1 достигала 4000 кВт, а американского не превышала 200 Вт. При этом следует отметить, что в СССР задача решалась во время войны и в первый год восстановления народного хозяйства, понесшего огромные материальные и людские потери. И была она решена у нас только своими силами. В США, стране, обладавшей высокоразвитой индустрией, не пострадавшей от войны, исследования и создание реактора выполнялись с участием

выдающихся ученых, эмигрировавших из Европы.

Реактор Ф-1 до сих пор действует в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова и представляет не только историческую ценность, но и обеспечивает проведение некоторых исследований, полезных и в настоящее время.

Как указывалось, в США первый реактор *CP-1* был пущен в декабре 1942 г. До пуска первого промышленного реактора в Ханфорде соорудили еще три исследовательских: *CP-2* в Аргонне мощностью 20 кВт (март 1943 г.), Клинтонский, 1000 кВт (ноябрь 1943 г.) и *X-10* в Ок-Ридже, 3800 кВт (ноябрь 1943 г.).

После пуска первого советского реактора Ф-1 в рекордный срок был построен и успешно введен в эксплуатацию в 1948 г. первый промышленный реактор, минуя стадию строительства промежуточных дорогостоящих установок.

Как писали сами американцы, с момента решающих экспериментов по цепной реакции США потребовалось 3,5 г. на сооружение плутониевого реактора в Ханфорде. В СССР эта задача была решена за 2,5 г.

Создание реактора Ф-1 послужило началом генерального развития работ по мирному использованию атомной энергии. В СССР была пущена (в апреле 1954 г.) первая в мире атомная электростанция. Затем построены реакторы единичной мощностью от 240 тыс. кВт до 1 млн. кВт для АЭС, реакторы для ледоколов и др. У нас эксплуатируются атомные электростанции и продолжается наращивающимися темпами строительство новых. Среди них АЭС с реакторами большой мощности: Ленинградская, Нововоронежская, Курская, Чернобыльская, Смоленская, Игналинская, Ровенская, Кольская, Армянская и др. С помощью Советского Союза построены и продолжают сооружаться АЭС в странах СЭВ и Финляндии. В десятой пятилетке ввод в действие мощностей АЭС в СССР увеличится по сравнению с предыдущей пятилеткой почти в четыре раза.

Поступила в Редакцию 13/XII 1976 г.